

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan sampah plastik telah menjadi isu krusial yang melanda wilayah perkotaan di Indonesia maupun berbagai negara di seluruh dunia. Besarnya skala masalah ini tercermin dari potensi produksi sampah plastik global yang mencapai 1,3 miliar ton per tahun di kota-kota dunia, suatu angka yang mengkhawatirkan mengingat sifat plastik yang sulit terurai secara alami dan dapat mengancam kelestarian lingkungan tanpa pengelolaan yang tepat (Yusari & Purwohandoyo, 2024). Tren peningkatan sampah plastik ini telah berkembang menjadi krisis lingkungan global yang memerlukan penanganan segera dengan berbagai dampak negatif yang ditimbulkannya. Proyeksi masa depan menunjukkan eskalasi yang semakin mengkhawatirkan, dimana data *What a Waste 2.0* dari *World Bank* memperkirakan produksi sampah dunia akan melonjak drastis dari 2,01 miliar ton pada tahun 2016 menjadi 3,40 miliar ton pada tahun 2050. Kondisi ini diperparah dengan fakta bahwa sekitar 33% dari total limbah tersebut masih dikelola secara tidak tepat melalui praktik pembuangan terbuka atau pembakaran yang tidak terkontrol (Nugraha et al., 2024).

Data dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN, 2023) yang berfokus pada data timbulan sampah di Indonesia untuk tahun 2023, menunjukkan total timbulan sampah nasional mencapai sekitar 37 juta ton. Timbulan sampah per provinsi, dengan provinsi-provinsi di Pulau Jawa seperti Jawa Timur, Jawa Barat, dan DKI Jakarta memiliki timbulan sampah tertinggi, masing-masing mencapai sekitar 5 – 6 juta ton/tahun. Provinsi-provinsi lain di luar Jawa umumnya memiliki timbulan sampah yang jauh lebih rendah, kebanyakan di bawah 1 juta ton/tahun. Sampah plastik merupakan komponen kedua terbesar dalam komposisi sampah, dengan persentase mencapai 19,21% dari total timbulan sampah.

Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) tahun 2023 juga menunjukkan komposisi sampah di Provinsi Sulawesi Selatan pada tahun 2023. Di Provinsi Sulawesi Selatan, komposisi sampah menunjukkan bahwa sampah plastik menyumbang sebesar 16,19% dari total timbulan sampah. Timbulan sampah di Kota Makassar memiliki timbulan sampah tertinggi, jauh melebihi kabupaten/kota lainnya dengan jumlah sekitar 370.000 ton. Total timbulan sampah untuk seluruh Sulawesi Selatan mencapai sekitar 1.400.000 ton.

Kemajuan teknologi turut menyebabkan peningkatan penggunaan plastik yang berdampak negatif terhadap lingkungan. Plastik memiliki keunggulan karena kuat, ringan, murah, tahan korosi, dan mudah dibentuk. Indonesia menempati peringkat kedua sebagai penghasil sampah plastik terbesar di dunia, dengan jumlah mencapai 85.000 ton per tahun. Dari total tersebut, hanya 2%

yang dapat didaur ulang secara efektif, 14% dibakar, 40% dikubur di tempat pemrosesan akhir (TPA), dan 30% mencemari lingkungan, sementara 16% lainnya masuk kategori sampah yang didaur ulang. Karakteristik sampah seperti nilai kalor, kadar air, serta kandungan unsur C, H, O, N, S, dan Cl sangat berpengaruh terhadap proses pembakaran dan jenis polutan yang dihasilkan dalam gas buang maupun abu (Rudend & Hermana, 2021).

Pembakaran terbuka telah menjadi salah satu penyebab utama polusi udara yang mengancam kesehatan dan kualitas hidup manusia secara langsung. Praktik ini melepaskan berbagai zat pencemar berbahaya ke atmosfer, seperti partikel halus (PM_{2.5} dan PM₁₀), karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO₂), nitrogen dioksida (NO₂), ozon (O₃), dan senyawa organik volatil (VOC). Aktivitas pembakaran sampah di area terbuka secara terus-menerus mencemari udara yang dihirup sehari-hari oleh masyarakat. Intensitas pembakaran terbuka yang tidak terkontrol semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk dan percepatan urbanisasi, diperburuk oleh lemahnya pengawasan dan penegakan regulasi lingkungan. Akibatnya, praktik pembakaran terbuka ini menyebabkan degradasi kualitas udara yang signifikan dan memberikan dampak negatif yang luas terhadap kesehatan masyarakat serta keseimbangan ekosistem (Haya et al., 2025).

Indeks Kualitas Udara (AQI) tahun 2023 di Indonesia tercatat di angka 74 AQI-US, yang menunjukkan kualitas udara berada dalam kategori "sedang" di seluruh provinsi. Namun, situasi memburuk pada 22 Agustus 2023, ketika Jakarta mencapai 161 AQI, yang dikategorikan sebagai tidak sehat (Situmeang et al., 2023). Hal ini menjadi perhatian, terutama mengingat laporan dari Indeks Kualitas Udara (AQI) dari *Energy Policy Institute* (EPIC) Universitas Chicago pada September 2021, yang menyebutkan bahwa rata-rata masyarakat Indonesia berisiko kehilangan sekitar 2,5 tahun dari harapan hidup mereka akibat kualitas udara yang tidak memenuhi standar aman (Candrasari et al., 2023). Di antara penyebab pencemaran udara, pembakaran yang tidak sempurna pada plastik *Polystyrene* (PS) dapat menghasilkan karbon monoksida (CO) dan gas beracun lain, seperti nitrogen oksida (NO_x), nitrogen dioksida (NO₂), dan sulfur dioksida (SO₂), dalam konsentrasi signifikan. Jika pembakaran dilakukan secara terbuka, hal ini dapat meningkatkan emisi gas jejak seperti ozon, metana, serta polutan organik persisten yang berdampak buruk bagi lingkungan (Wulandari, 2023).

Jenis plastik *Polystyrene* (PS), yang umumnya dikenal *styrofoam*, merupakan salah satu sampah plastik yang paling sulit terurai secara alami. Proses dekomposisinya di dalam tanah dapat berlangsung sangat lama, mulai dari 500 tahun hingga 1 juta tahun. Dari berbagai jenis sampah yang ada, *styrofoam* menjadi penyumbang limbah terbesar kelima di dunia. Pada 18 kota di Indonesia, timbunan sampah *styrofoam* diperkirakan mencapai 270.000 hingga 590.000 ton, melebihi jumlah sampah plastik lainnya (Hendratta et al., 2024). Dalam acara Hari Peduli Sampah di Pantai Losari, Kota Makassar pada 23 Februari 2020, terkumpul total 8,81 ton sampah yang didominasi oleh plastik

sebanyak 5,6 ton, diikuti oleh pecahan kaca 117 kg, logam 90 kg, *styrofoam* 263 kg, dan jenis sampah lainnya 1,9 ton (Ramlah et al., 2022).

Dalam mengurangi emisi gas beracun dari pembakaran sampah, diperlukan metode pengolahan yang lebih efektif demi menjaga kualitas udara. Salah satu pendekatan dalam pengelolaan sampah plastik adalah mendaur ulangnya menjadi produk plastik baru. Namun, proses daur ulang hanya mengubah bentuk plastik tanpa benar-benar mengurangi *volume* total sampah. Ketika produk hasil daur ulang tidak lagi digunakan, limbah plastik akan tetap menjadi permasalahan lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan alternatif lain seperti pirolisis, yaitu proses penguraian termal plastik pada suhu tinggi tanpa kehadiran oksigen untuk menghasilkan bahan bakar alternatif (Riandis et al., 2021).

Teknologi pirolisis telah digunakan untuk mengolah sampah di berbagai wilayah Indonesia pada tahun 2021 – 2023, dengan fasilitas yang tersebar di provinsi seperti Bengkulu, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Kalimantan Selatan, Papua Selatan, dan Sulawesi Selatan. Kapasitas pengolahan dari fasilitas-fasilitas tersebut bervariasi, mulai dari 0,90 ton/hari hingga lebih dari 8.000 ton/hari, dan sebagian besar dikelola oleh pemerintah daerah atau melalui kerja sama dengan pihak swasta. Lokasi fasilitas umumnya berada di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) atau kawasan administratif seperti kampung dan kelurahan, sebagai bagian dari strategi lokal dalam mengatasi masalah sampah secara lebih ramah lingkungan. Meskipun teknologi pirolisis menunjukkan potensi besar untuk diterapkan secara luas, penerapannya masih memerlukan optimasi, terutama untuk plastik jenis *polystyrene* (PS) yang memiliki karakteristik khusus dalam proses pirolisis. Oleh karena itu, dibutuhkan penelitian lebih lanjut untuk menyesuaikan parameter proses dengan jenis plastik tertentu agar hasil dan efisiensinya dapat dimaksimalkan (SIPSN, 2023).

Proses pirolisis merupakan penguraian bahan organik pada suhu tinggi dalam ruang tertutup tanpa oksigen, yang menghasilkan tiga fraksi utama: gas, cairan, dan padatan (*char*) yang dapat dipisahkan. Pada limbah plastik, pirolisis mampu mengubah sampah menjadi minyak yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan bakar setelah pemrosesan lanjutan. Penelitian dengan sampel plastik bekas kemasan seberat 150 gram dan variasi suhu 350°C, 400°C, dan 450°C menunjukkan bahwa peningkatan suhu memengaruhi densitas produk secara berbeda tergantung jenis plastik; pada plastik tunggal, densitas meningkat, sedangkan pada plastik campuran justru menurun. Pirolisis PS menghasilkan minyak berwarna bening keruh dengan aroma menyerupai minyak tanah serta residu berupa arang. Hasil pirolisis PS menunjukkan komposisi 88,687% produk minyak, 10,513% residu padat, dan 0,799% massa yang hilang (Setiawati et al., 2024).

Keberagaman jenis sampah plastik yang dapat diolah melalui pirolisis menjadikan metode ini sebagai solusi yang lebih bersih, efisien, dan berpotensi secara komersial dalam menangani sampah plastik, termasuk *Polystyrene* (PS). Pirolisis PS secara khusus menunjukkan potensi besar karena mampu

mengubah sampah yang sulit terdegradasi ini menjadi produk bernilai ekonomi seperti minyak pirolisis yang mendekati karakteristik bensin atau solar. Selain membantu mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil utama, pirolisis juga dapat menurunkan dampak lingkungan dan pengurasan sumber daya alam. Ketertarikan terhadap metode ini terus meningkat seiring dengan adanya kebijakan pelarangan plastik di berbagai negara, namun tantangan teknis masih dihadapi. Optimasi parameter proses seperti suhu, waktu tinggal, dan tekanan, serta permasalahan dalam pengumpulan, pemisahan, pembersihan sampah, dan biaya operasional menjadi hambatan utama dalam implementasi pirolisis secara luas (Kabeyi & Olanrewaju, 2023).

Permasalahan sampah plastik, khususnya jenis *Polystyrene* (PS), mendorong perlunya pengolahan yang lebih efektif dan ramah lingkungan. Pirolisis menjadi salah satu solusi yang potensial karena dapat mengubah sampah plastik menjadi tiga produk utama, yaitu gas (CO, NO_x, NO₂, SO₂), produk cair berupa minyak pirolisis, dan residu padat (*char*). Minyak hasil pirolisis PS memiliki karakteristik menyerupai bahan bakar minyak dan berpotensi dimanfaatkan sebagai energi alternatif. Sementara itu, *char* dapat digunakan kembali sebagai material karbon, dan emisi gas perlu dikendalikan karena mengandung senyawa beracun yang berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan. Oleh karena itu, penelitian mengenai pengolahan sampah plastik dengan metode pirolisis penting dilakukan untuk meningkatkan efisiensi produk bernilai guna serta meminimalkan dampak pencemaran udara.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka peneliti merumuskan masalah, sebagai berikut: “Bagaimana karakteristik alat pirolisis dan produk yang dihasilkan dalam penerapan teknologi pirolisis sebagai metode pengolahan sampah plastik jenis *Polystyrene* (PS) di Kota Makassar tahun 2025?”

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini dapat dijabarkan sebagai berikut:

1.3.1 Tujuan Umum

Merancang dan membuat alat pirolisis, serta menganalisis produk hasil pengolahan sampah plastik jenis *Polystyrene* (PS) dengan metode pirolisis di Kota Makassar tahun 2025.

1.3.2 Tujuan Khusus

Adapun tujuan khusus yang ingin dicapai adalah sebagai berikut:

- a. Merancang dan membuat alat pirolisis untuk pengolahan sampah plastik jenis *Polystyrene* (PS) di Kota Makassar tahun 2025.
- b. Menganalisis kandungan gas buang Karbon Monoksida (CO) yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah plastik jenis *Polystyrene* (PS) di Kota Makassar tahun 2025.

- c. Menganalisis kandungan gas buang Nitrogen Oksida (NO_x) yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah plastik jenis *Polystyrene* (PS) di Kota Makassar tahun 2025.
- d. Menganalisis kandungan gas buang Nitrogen Dioksida (NO_2) yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah plastik jenis *Polystyrene* (PS) di Kota Makassar tahun 2025.
- e. Menganalisis kandungan gas buang Sulfur Dioksida (SO_2) yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah plastik jenis *Polystyrene* (PS) di Kota Makassar tahun 2025.
- f. Menganalisis massa *char* sampah plastik jenis *Polystyrene* (PS) yang dihasilkan dari proses pirolisis di Kota Makassar tahun 2025.
- g. Menganalisis *volume* produk cair yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah plastik jenis *Polystyrene* (PS) di Kota Makassar tahun 2025.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1.4.1 Manfaat Ilmiah

Penelitian ini berkontribusi dalam memperluas pemahaman ilmiah mengenai parameter optimal pirolisis untuk sampah plastik jenis *Polystyrene* (PS), seperti suhu, waktu tinggal, dan kondisi operasi yang memengaruhi hasil produk. Selain itu, penelitian ini juga menyajikan karakterisasi menyeluruh terhadap produk pirolisis PS, termasuk minyak, gas, dan *char*. Hasilnya diharapkan dapat menjadi rujukan bagi penelitian lanjutan dalam pengolahan sampah plastik menjadi produk bernilai ekonomi dan pengembangan teori terkait konversi termal plastik aromatik.

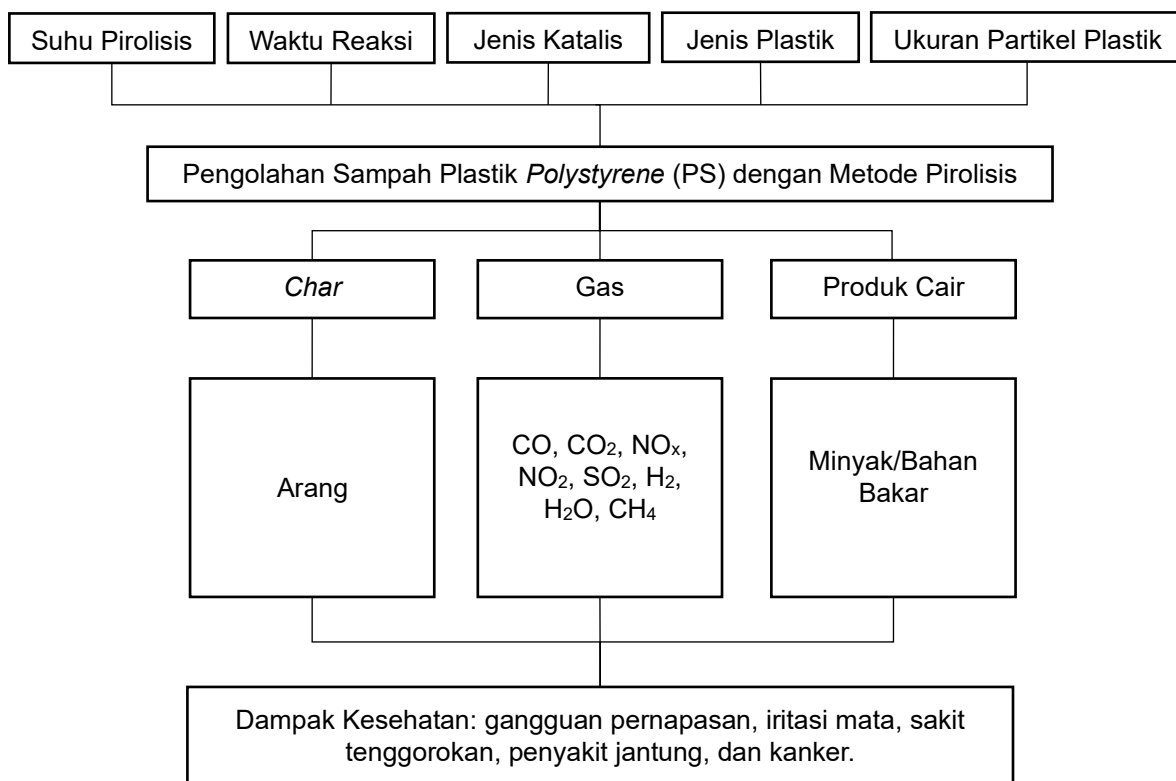
1.4.2 Manfaat Bagi Institusi

Penelitian ini dapat dimanfaatkan untuk mengoptimalkan proses pirolisis sampah plastik PS di tingkat institusi guna meningkatkan efisiensi konversi dan kualitas produk. Selain itu, hasil penelitian ini mendukung pengembangan teknologi pengolahan sampah yang lebih berkelanjutan dan ekonomis. Temuan ini juga dapat mendorong inovasi dalam pemanfaatan sampah plastik sebagai sumber energi alternatif, sehingga dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil.

1.4.3 Manfaat Bagi Praktis

Penelitian ini dapat menjadi panduan praktis bagi pengelola sampah dalam menerapkan teknologi pirolisis untuk mengolah sampah plastik PS secara efisien dan bernilai ekonomi. Selain itu, penelitian ini berperan dalam meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap potensi sampah plastik sebagai sumber energi alternatif. Temuan ini juga dapat memberikan informasi penting bagi industri dalam merancang sistem pengolahan sampah yang menghasilkan produk bernilai tambah sekaligus menekan dampak lingkungan.

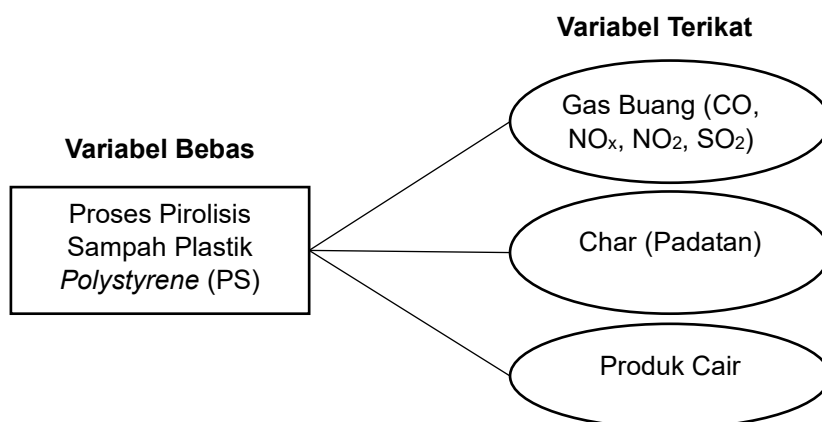
1.5 Kerangka Teori



Gambar 1. 1 Kerangka Teori

Sumber: Dimodifikasi dari (Megaprastio et al., 2023); (Selpiana et al., 2021); (Wulandari, 2023)

1.6 Kerangka Konsep



Gambar 1. 2 Kerangka Konsep

1.7 Definisi Operasional dan Kriteria Objektif

Tabel 1. 1 Definisi Operasional dan Kriteria Objektif Penelitian

No	Variabel	Definisi Operasional	Alat Ukur	Kriteria Objektif	Skala Pengukuran
1.	Polystyrene (PS)	Sampah plastik jenis <i>Polystyrene</i> (PS) mudah dibentuk pada suhu tinggi dan memiliki sifat kaku saat berada pada suhu ruangan. PS digunakan sebagai wadah berbahan <i>styrofoam</i> , gelas plastik, dan <i>casing</i> CD/DVD. Plastik PS dikumpulkan dengan berat ± 500 gram dari Bank Sampah Unit di Kota Makassar.	Timbangan duduk	-	Rasio
2.	Karbon Monoksida (CO)	Jumlah gas Karbon Monoksida (CO) yang diukur dalam satuan ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$) selama proses pirolisis. CO terbentuk di atmosfer melalui reaksi radikal hidroksil dengan metana dan hidrokarbon, serta dari	<i>Carbon monoxide analyzer</i>	Permen LHK RI No.70 Tahun 2016, dengan batas maksimum usulan $625 \text{ mg}/\text{Nm}^3$	Rasio

No	Variabel	Definisi Operasional	Alat Ukur	Kriteria Objektif	Skala Pengukuran
		reaksi alkena dengan ozon, sering kali dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar hidrokarbon yang bereaksi dengan oksigen.			
3.	Nitrogen Oksida (NO_x)	Jumlah gas Nitrogen Oksida (NO_x) yang diukur dalam satuan ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$) selama proses pirolisis. NO_x terbentuk ketika udara mengalami suhu dan tekanan tinggi selama proses pembakaran, di mana nitrogen dan oksigen di udara bergabung menjadi NO_x .	Spektrofotometer	Permen LHK RI No.70 Tahun 2016, dengan batas maksimum usulan $470 \text{ mg}/\text{Nm}^3$	Rasio
4.	Nitrogen Dioksida (NO_2)	Jumlah gas Nitrogen Dioksida (NO_2) yang diukur dalam satuan ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$) selama proses pirolisis. NO_2 merupakan salah satu bentuk utama dari nitrogen oksida yang terbentuk sebagai hasil oksidasi lanjutan dari gas NO ketika nitrogen dan oksigen bereaksi pada suhu tinggi di dalam reaktor pirolisis.	Spektrofotometer	PP RI No.22 Tahun 2021 a. 1 jam : $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ b. 24 jam : $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ c. 1 tahun : $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Rasio
5.	Sulfur Dioksida (SO_2)	Jumlah gas Sulfur Dioksida (SO_2) yang diukur dalam satuan ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$) selama proses pirolisis. SO_2 terbentuk dari pembakaran senyawa yang mengandung sulfur	Spektrofotometer	Permen LHK RI No.70 Tahun 2016, dengan batas maksimum usulan $210 \text{ mg}/\text{Nm}^3$	Rasio

No	Variabel	Definisi Operasional	Alat Ukur	Kriteria Objektif	Skala Pengukuran
		pada suhu tinggi, terutama dari bahan bakar fosil atau plastik yang mengandung unsur sulfur.			
6.	<i>Char</i>	<i>Char</i> adalah residu padat yang dihasilkan selama proses pirolisis plastik, yang diukur berdasarkan massa (gram) setelah proses selesai. <i>Char</i> terbentuk dari bagian plastik yang tidak terurai sepenuhnya menjadi gas atau cairan, terutama terdiri dari karbon dengan sedikit kandungan hidrogen, nitrogen, dan abu mineral.	Timbangan duduk	-	Rasio
7.	Produk Cair	Produk cair adalah fraksi kental berbentuk minyak yang dihasilkan selama proses pirolisis plastik, diukur berdasarkan <i>volume</i> (mL) setelah proses kondensasi selesai. Produk cair terbentuk dari dekomposisi termal senyawa hidrokarbon dalam plastik dan terdiri atas campuran kompleks senyawa aromatik dan alifatik.	Gelas ukur	-	Rasio

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuasi-eksperimental dengan desain *Single-Group Interrupted Time-Series*, di mana sampah plastik *Polystyrene* (PS) sebagai variabel independen diproses melalui pirolisis untuk menganalisis produk yang dihasilkan. Pengukuran dilakukan pada berbagai tahap proses pirolisis untuk menganalisis karakteristik produk hasil pirolisis berupa *char* (residu padat) dan produk cair (minyak pirolisis), serta emisi gas buang yang dilepaskan. Parameter yang diamati meliputi massa *char* yang diukur setelah proses pirolisis selesai, *volume* produk cair yang diukur sepanjang proses pirolisis berlangsung, dan kandungan emisi gas buang seperti CO, NO_x, NO₂, dan SO₂ yang diukur pada beberapa titik waktu berbeda selama proses berlangsung. Desain *Single-Group Interrupted Time-Series* dipilih untuk melihat konsistensi dan pola perubahan produk pirolisis berdasarkan perlakuan suhu dan waktu yang diberikan, terutama dalam monitoring kontinyu produk cair dan emisi gas sepanjang proses. Penelitian ini tidak menggunakan kelompok kontrol karena fokus utamanya adalah mengkarakterisasi produk dan emisi dari proses pirolisis sampah PS melalui pengukuran pada waktu yang berbeda untuk memastikan keandalan dan stabilitas hasil yang diperoleh dari perlakuan pirolisis yang diberikan (Isnawan, 2020).

2.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada Bulan Mei – Juli 2025 di Kota Makassar. Pemeriksaan sampel dilakukan di Balai Laboratorium Kesehatan Masyarakat, Makassar.

2.3 Populasi dan Sampel

2.3.1 Populasi

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh proses pengolahan sampah plastik jenis *Polystyrene* (PS) dengan metode pirolisis yang menghasilkan produk berupa gas buang, *char*, dan produk cair.

2.3.2 Sampel

Sampel dalam penelitian ini adalah sampah plastik jenis *Polystyrene* (PS) dengan berat 500 gram yang akan diproses melalui pirolisis, serta pengukuran gas buang yang dihasilkan meliputi Karbon Monoksida (CO), Nitrogen Oksida (NO_x), Nitrogen Dioksida (NO₂), dan Sulfur Dioksida (SO₂). Pengambilan sampel dilakukan secara temporal pada berbagai waktu selama proses pirolisis untuk memahami fluktuasi emisi, disertai dengan pengukuran massa *char* setelah proses pirolisis, serta *volume* produk cair yang dihasilkan.

1. Pengujian *Polystyrene* (PS) untuk gas buang CO, NO_x, NO₂, SO₂
 - a. Fase Pemanasan: 10:00 – 14:00
 - b. Waktu Pengambilan Sampel:
 - 1) Sampel 1: 11:00 (1 jam pemanasan)
 - 2) Sampel 2: 12:00 (2 jam pemanasan)
 - 3) Sampel 3: 13:00 (3 jam pemanasan)
 - 4) Sampel 4: 14:00 (4 jam pemanasan)

2.4 Alat, Bahan dan Cara Kerja

Dalam penelitian ini, peralatan dan bahan yang digunakan, yaitu sebagai berikut:

1. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain:

- a. Alat
 - 1) Reaktor
 - 2) Tabung berlubang
 - 3) Tungku pembakaran
 - 4) Pipa penghubung
 - 5) Kondensor air 2 buah (pendingin)
 - 6) Wadah penampungan minyak
 - 7) *Thermometer*
 - 8) Cerobong asap
 - 9) Tabung gas
 - 10) Dinamo
 - 11) *Speed reducer*
- b. Bahan
 - 1) Baja karbon/baja tahan panas
 - 2) Pipa galvanis $\frac{3}{4}$ inch
 - 3) Tembaga/*stainless steel*
 - 4) Sampah plastik (PS) yang telah dicacah $\pm 2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$
 - 5) Es batu/air dingin

- f. Gas panas pertama kali masuk ke Kondensor 1, di mana ia mulai mendingin dengan bantuan es batu/air dingin. Di sini, sebagian besar uap air dan produk cair akan mengembun dan terpisah dari gas. Proses ini memisahkan produk cair dari gas yang tidak terpakai.
 - g. Gas yang belum sepenuhnya terkondensasi kemudian dialirkan ke Kondensor 2 dengan bantuan es batu/air dingin. Di kondensor ini, proses pendinginan dilanjutkan untuk menghasilkan lebih banyak produk cair dari gas yang tersisa, sehingga meningkatkan efisiensi pemisahan produk.
 - h. Setelah melalui kedua kondensor dengan pendinginan es batu/air dingin, produk cair yang dihasilkan dikumpulkan di penampung. Produk ini yang kemudian dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif.
3. Prosedur Pengambilan dan Pengukuran Sampel
- a. Pengambilan sampel gas karbon monoksida (CO) dilakukan menggunakan kantong pengumpul (*tedlar bag*) atau tabung pengumpul (*glass container/metal container*) dengan *sampling pump* melalui penerapan metode *Non-Dispersive Infrared* (NDIR). Pengambilan sampel dilakukan oleh teknisi laboratorium BLKM (Balai Laboratorium Kesehatan Makassar) dengan mengacu pada standar yang telah ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup, yaitu standar SNI 19-7119.10-2011 Udara ambien Bagian 10: Cara uji kadar karbon monoksida (CO). Pengujian sampel selanjutnya dilakukan di laboratorium BLKM menggunakan *carbon monoxide analyzer* dengan metode *Non-Dispersive Infrared* (NDIR).
 - b. Pengambilan sampel gas nitrogen oksida (NO_x) dilakukan menggunakan larutan penjerap dengan labu vakum dan *sampling pump* melalui penerapan metode *Phenol Disulphonic Acid* (PDS). Pengambilan sampel dilakukan oleh petugas laboratorium BLKM dengan mengacu pada standar yang telah ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup, yaitu standar SNI 19-7117.5-2005 Emisi gas buang Sumber tidak bergerak Bagian 5: Cara uji oksida-oksida nitrogen. Analisis sampel dilakukan di laboratorium BLKM menggunakan spektrofotometer dengan metode *Phenol Disulphonic Acid* (PDS).
 - c. Pengambilan sampel gas nitrogen dioksida (NO₂) dilakukan menggunakan larutan penjerap dengan *impinger* dan *air sampling pump* melalui penerapan metode *Griess Saltzman*. Pengambilan sampel dilakukan oleh teknisi BLKM dengan mengacu pada standar yang telah ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup, yaitu standar SNI 19-7119.2-2005 Udara ambien Bagian 2: Cara uji kadar nitrogen dioksida (NO₂). Pemeriksaan sampel selanjutnya dilakukan di laboratorium BLKM menggunakan spektrofotometer dengan metode *Griess Saltzman*.
 - d. Pengambilan sampel gas sulfur dioksida (SO₂) dilaksanakan menggunakan larutan penjerap dengan *impinger* dan *vacuum pump* melalui penerapan metode *pararosanilin*. Pengambilan sampel

dilakukan oleh petugas BLKM dengan mengacu pada standar yang telah ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup, yaitu standar SNI 19-7119.7-2005 Udara ambien Bagian 7: Cara uji kadar sulfur dioksida (SO_2). Pengujian sampel dilakukan di laboratorium BLKM menggunakan spektrofotometer dengan metode pararosanilin.

- e. Pengambilan produk padat (*char*) dilakukan setelah reaktor pirolisis mengalami pendinginan. Peneliti mengambil *char* berupa sisa sampah plastik atau residu padat yang tersisa dengan bantuan spatula *stainless steel*. Padatan selanjutnya ditampung dalam wadah dan ditimbang menggunakan timbangan duduk dengan ketelitian yang sesuai untuk memperoleh data massa produk padat yang akurat.
- f. Pengambilan produk cair dari proses kondensasi dilakukan setelah alat pirolisis mencapai suhu ruang. Peneliti mengambil sampel kemudian dipindahkan ke dalam botol yang tertutup rapat untuk penyimpanan. Pengukuran *volume* produk cair dilakukan oleh peneliti sendiri di laboratorium kimia biofisik FKM Unhas menggunakan gelas ukur dengan ketelitian hingga 0,1 mL, dan hasilnya dicatat dalam satuan mililiter (mL).

2.5 Pengumpulan Data

Data dalam penelitian ini dikumpulkan melalui dua cara, yaitu pengambilan data primer dan data sekunder:

1. Data Primer

Data primer dalam penelitian ini diperoleh secara langsung melalui pengambilan sampel gas buang selama proses pirolisis sampah plastik jenis Polystyrene (PS). Sampel diambil pada fase pemanasan untuk mengukur konsentrasi gas seperti Karbon Monoksida (CO), Nitrogen Oksida (NO_x), Nitrogen Dioksida (NO_2), dan Sulfur Dioksida (SO_2). Selain itu, data primer juga mencakup pencatatan massa *char* setelah proses pirolisis, *volume* produk cair yang dihasilkan, serta parameter operasional seperti suhu dan waktu proses pemanasan. Pengujian dilakukan berdasarkan SNI yang berlaku dengan menggunakan metode dan peralatan analisis yang sesuai standar laboratorium.

2. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh melalui penelusuran literatur seperti jurnal, artikel, buku, terkait proses pirolisis sampah plastik jenis Polystyrene (PS) dan produk yang dihasilkan (gas buang, *char*, produk cair). Selain itu, data sekunder juga mencakup informasi yang diambil dari instansi terkait, seperti Balai Laboratorium Kesehatan Masyarakat Makassar, yang dapat memberikan konteks tambahan mengenai standar emisi gas buang, metode analisis, dan praktik pengolahan sampah plastik.

2.6 Pengolahan dan Analisis Data

2.6.1 Pengolahan dan Penyajian Data

1. Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari pengukuran gas buang CO, NO_x, NO₂, dan SO₂ dari sampel plastik *Polystyrene* (PS) akan dilakukan pencatatan dalam tabel. Tabel ini akan mencakup informasi seperti waktu pengambilan sampel selama fase pemanasan, konsentrasi masing-masing gas buang dalam satuan (μg/Nm³) atau (ppm), suhu dalam derajat celsius, massa *char* setelah proses pirolisis, serta *volume* produk cair yang dihasilkan selama proses pirolisis.

2. Penyajian Data

Data hasil pengukuran gas buang (CO, NO_x, NO₂, SO₂) akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik yang menunjukkan konsentrasi setiap gas pada waktu pengambilan sampel yang berbeda selama proses pirolisis sampah plastik *Polystyrene* (PS). Massa *char* setelah proses pirolisis akan disajikan dalam bentuk diagram untuk memberikan visualisasi yang jelas mengenai pengurangan massa akibat proses pirolisis dan menunjukkan efisiensi konversi material. Data *volume* produk cair yang dihasilkan akan disajikan sebagai hasil pengukuran kuantitatif untuk menggambarkan produktivitas proses pirolisis secara keseluruhan.

2.6.2 Analisis Data

Penelitian ini menggunakan analisis deskriptif, merupakan penelitian kuantitatif yang memanfaatkan metode numerik dan grafis untuk mengidentifikasi pola dalam data serta merangkum dan menyajikan informasi secara efektif. Analisis deskriptif akan dilakukan terhadap data konsentrasi gas buang (CO, NO_x, NO₂, SO₂) yang diperoleh dari proses pirolisis sampah plastik *Polystyrene* (PS) untuk mengetahui karakteristik emisi yang dihasilkan. Data massa sampah plastik sebelum dan setelah proses pirolisis akan dianalisis untuk menghitung persentase pengurangan massa dan efisiensi konversi material. Selain itu, analisis juga mencakup *volume* produk cair yang dihasilkan untuk menentukan produktivitas proses pirolisis. Hasil analisis akan dipresentasikan dalam bentuk tabel distribusi, diagram, dan deskripsi statistik sederhana seperti nilai rata-rata, minimum, dan maksimum untuk memberikan gambaran yang komprehensif mengenai kinerja proses pirolisis sampah plastik *Polystyrene* (PS).