

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Sampah plastik masih menjadi isu global yang belum terselesaikan, dengan hampir seperempat dari total sampah plastik di dunia, sekitar 82 juta ton, yang tidak dikelola dengan baik. Sampah ini tidak disimpan di tempat pembuangan yang aman, tidak didaur ulang, maupun dibakar. Berdasarkan jumlah tersebut, sekitar 19 juta ton tersebar ke lingkungan, dengan 13 juta ton mencemari daratan dan 6 juta ton masuk ke sungai atau garis pantai. Sebanyak 1,7 juta ton dari sampah plastik ini akhirnya mencapai laut, dengan 1,4 juta ton berasal dari sungai dan 0,3 juta ton dari garis pantai. Sebagian besar sampah plastik yang mencemari lingkungan perairan tetap terakumulasi di sungai dan danau, sehingga diperkirakan hanya sekitar 0,5% dari total sampah plastik dunia yang berakhir di lautan (Hannah Ritchie, 2023).

Indonesia masuk dalam peringkat kedua di dunia sebagai penghasil sampah plastik ke laut. Total sampah Indonesia tahun 2019 mencapai 68 juta ton dan sampah plastik diperkirakan mencapai 9,52 juta ton atau 14% dari total sampah yang ada (Aviandharie et al., 2020). Menurut Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional [SISPN] dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan [KLHK], volume sampah nasional mengalami penurunan dari 31,13 juta ton pada 2021 menjadi 19,45 juta ton pada 2022. Sampah jenis plastik menjadi terbanyak kedua sebesar 18,5 persen (Riski, 2023).

Plastik dibagi menjadi dua jenis, yaitu *thermoplastic* dan *thermosetting*. *Thermoplastic* memiliki sifat yang dapat dibentuk ulang (*reversible*), sehingga jenis plastik ini dapat didaur ulang dan dibentuk kembali sesuai keinginan. Contoh bahan termoplastik antara lain polietilena (PE), polistirena (PS), akrilonitril butadiena stirena (ABS), dan polikarbonat (PC) (Shofiyah & Irawati, 2024).

Salah satu jenis plastik yang paling umum digunakan antara lain adalah polietilena (PE). Plastik polietilena (PE) terbagi menjadi tiga jenis berdasarkan tekanan produksinya (tinggi, menengah, dan rendah) yang dibuat melalui polimerisasi gas etilena yang diperoleh dari hidrogenasi gas minyak bumi, gas alam, atau asetilena. Polietilena termasuk dalam kelompok parafin dengan berat molekul tinggi, mudah terbakar, dan mencair saat dipanaskan (Susilo, 2016).

Polietilena (PE) yang mencakup sekitar 30% dari total produksi plastik, dikenal sebagai salah satu jenis plastik dengan ketahanan yang sangat tinggi. Ketahanan ini menjadi salah satu penyebab utama masalah sampah plastik, karena penumpukan bahan dan produk plastik yang dibuang setelah tidak terpakai (Bertocchini & Arias, 2023). Di antara semua jenis *thermoplastic*, PE adalah yang paling banyak dimanfaatkan, terutama dalam peralatan dapur, kemasan, dan gelas minuman sekali pakai, sehingga memiliki potensi lebih besar untuk mencemari lingkungan (Huang et al., 2021). Penggunaan plastik

jenis ini secara berulang tidak disarankan karena dapat melepaskan senyawa antimon trioksida secara terus-menerus. Plastik PE diketahui mengandung senyawa aktif estrogenik yang berpotensi menimbulkan masalah kesehatan, terutama pada janin dan anak-anak. Paparan senyawa ini dapat menyebabkan perubahan pada struktur sel manusia (Arwini, 2022).

Sampah plastik yang masuk ke sungai dapat terbawa arus hingga ke laut, meningkatkan pencemaran setiap tahunnya. Pada tahun 2050, jumlah plastik di lautan diprediksi akan melebihi jumlah ikan. Akumulasi zat berbahaya dalam organisme laut dapat memengaruhi kesehatan manusia melalui konsumsi *seafood* yang terkontaminasi (Rahmayani & Aminah, 2021).

Keberadaan sampah anorganik seperti plastik di lingkungan memiliki berbagai dampak negatif. Salah satu dampaknya adalah menimbulkan bau tidak sedap dan merusak keindahan lingkungan. Selain itu, pengelolaan sampah anorganik yang tidak efektif dapat berdampak pada penurunan kesehatan masyarakat, yang pada akhirnya memengaruhi produktivitas mereka. Dampak lainnya adalah kebiasaan membuang sampah sembarangan akibat kurangnya sistem pengelolaan yang baik, seperti pembuangan sampah ke sungai yang berpotensi menyebabkan banjir dan mengganggu fungsi fasilitas umum seperti jalan serta sistem drainase (Harimurti et al., 2020).

Sampah plastik sulit terurai dan memerlukan waktu 100–500 tahun untuk terdekomposisi sempurna di tanah. Pembakaran sampah plastik secara terbuka hanya dapat mengurangi volume sampah dan menghasilkan abu dan emisi beracun seperti *polychlorinated dibenzo-p-dioxins* (PCDDs). Pembakaran sampah plastik yang tidak efektif dan berisiko, dapat menghasilkan polutan berupa emisi gas buang seperti CO₂, CO, NO_x, dan SO_x, yang dapat membahayakan kesehatan (Anom & Lombok, 2020).

Plastik yang dibakar, dibuang sembarangan, atau terurai dapat menghasilkan zat-zat kimia beracun yang kemudian mencemari tanah, air, dan udara. Jika senyawa berbahaya ini masuk ke lingkungan tempat makhluk hidup berada, dampaknya bisa sangat serius, seperti menyebabkan kelainan bawaan, gangguan hormonal, hingga kanker. Bahkan fasilitas pembuangan sampah yang modern sekalipun tidak sepenuhnya efektif, karena zat-zat beracun tersebut tetap dapat menyusup ke dalam biosfer dan membahayakan kehidupan, terutama bagi manusia (Nirmalasari et al., 2021).

Masalah pencemaran udara yang semakin serius, terutama akibat pembakaran sampah, dapat dikurangi melalui penerapan gaya hidup *zero waste*. Pendekatan ini bertujuan untuk mengurangi dan meminimalkan sampah yang dihasilkan dalam aktivitas sehari-hari. Prinsip-prinsip *zero waste* memiliki dampak yang signifikan terhadap lingkungan dan ekosistem. Inti dari gaya hidup ini adalah menghindari produksi sampah semaksimal mungkin dengan meningkatkan kesadaran terhadap pola konsumsi serta mengurangi penggunaan produk sekali pakai, seperti plastik (Permata et al., 2024).

Adapun upaya lain untuk mengurangi sampah plastik telah dilakukan melalui kampanye 3R yaitu *Reduce* (mengurangi), *Reuse* (menggunkan

kembali), dan *Recycle* (mendaur ulang). Namun, hasil dari upaya ini masih belum sebanding dengan peningkatan konsumsi plastik yang terus bertambah setiap harinya. Fokus saat ini bukanlah memusuhi plastik, melainkan menemukan formula yang efektif untuk mempercepat proses penguraian plastik agar dapat kembali ke alam dengan lebih ramah lingkungan. Selain itu, sampah plastik yang dihasilkan dari rumah tangga juga menjadi masalah serius karena plastik merupakan material yang tidak dapat terurai oleh bakteri secara alami. Oleh karena itu, pengolahan sampah plastik menjadi bahan bakar alternatif dapat menjadi solusi yang berkelanjutan untuk mengurangi sampah plastik sekaligus mengembangkan produk inovatif yang bermanfaat bagi lingkungan (Bratha & Putri, 2023).

Selain itu, alternatif yang telah dikembangkan untuk mengolah sampah plastik adalah metode daur ulang yang terbagi menjadi secara mekanis dan kimia. Metode daur ulang secara mekanis memiliki beberapa kekurangan antara lain memerlukan biaya tenaga kerja yang tinggi untuk proses pemisahan serta menyebabkan kontaminasi air. Alternatif pengelolaan sampah plastik lainnya adalah metode pemanfaatan sampah plastik sebagai sumber energi alternatif pengganti minyak bumi yang semakin menipis (Aviandharie et al., 2020).

Secara umum, termolisis adalah proses penguraian atau pemecahan bahan dengan menggunakan pemanasan pada suhu tinggi, baik dengan atau tanpa oksigen, untuk menghasilkan produk yang lebih sederhana atau berguna. Proses ini terjadi melalui reaksi kimia yang melibatkan pemanasan bahan baku, yang dapat menghasilkan berbagai produk seperti gas, cairan, atau padatan, tergantung pada teknik dan kondisi yang digunakan. Salah satu metode daur ulang sampah plastik secara kimia adalah dengan mengubah sampah plastik menjadi bahan bakar melalui proses termolisis, yang dikenal sebagai teknologi *plastic-to-fuels* (OECD, 2022).

Termolisis mencakup berbagai metode, seperti pirolisis, gasifikasi, pencairan hidrotermal, dan depolimerisasi. Setiap metode termolisis memiliki tingkat dampak lingkungan yang bervariasi (OECD, 2022). Salah satu metode termolisis yang terkenal adalah metode pirolisis. Melalui metode pirolisis, sampah plastik dapat diolah menjadi bahan bakar minyak alternatif. Pirolisis merupakan metode pemecahan termal material berbasis karbon dengan menggunakan sumber panas eksternal secara tidak langsung. Proses ini dilakukan menggunakan alat yang disebut pirolisator. Pembakaran berlangsung selama 4 jam pada suhu 300°C untuk memaksimalkan produksi minyak (Bahri et al., 2024).

Menurut Nofendri (2021), pirolisis yang dilakukan hingga hanya menyisakan senyawa karbon sebagai residu dikenal sebagai proses karbonisasi. Metode pirolisis dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan senyawa berbentuk cair yang berpotensi digunakan sebagai sumber bahan bakar. Konversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak termasuk dalam kategori daur ulang tersier, yang dilakukan melalui proses perengkahan (*cracking*).

Cracking merupakan proses pemutusan rantai polimer menjadi senyawa-senyawa dengan berat molekul lebih rendah (Nofendri, 2021).

Berdasarkan hasil analisis siklus hidup (LCA) oleh Demetrious dan Crossin (2019) dalam laporan publikasi milik OECD atau *Organisation for Economic Co-operation and Development* (2022), metode pirolisis dan gasifikasi menunjukkan dampak lingkungan yang lebih rendah dibandingkan dengan pembuangan di TPA, namun setara dengan insinerasi dengan pemulihan energi. Sementara itu, Khoo (2019) dalam laporan publikasi milik OECD juga menemukan bahwa meskipun pirolisis dan gasifikasi memiliki dampak yang lebih rendah terhadap perubahan iklim, keduanya memiliki dampak yang lebih tinggi pada asamifikasi daratan dan pembentukan partikel udara (OECD, 2022). Meskipun begitu, bahan bakar yang dihasilkan melalui proses pirolisis memiliki karakteristik fisik dan kimia yang hampir sama dengan bahan bakar dari minyak bumi (fosil) (Nofendri & Haryanto, 2021).

Salah satu tantangan utama terkait regulasi pirolisis adalah bahwa saat ini, menurut legislasi Uni Eropa, pirolisis belum dianggap sebagai metode daur ulang jika hasil akhirnya digunakan untuk menghasilkan energi, seperti listrik, panas, atau bahan bakar kendaraan. Tidak ada perbedaan dalam aturan antara penggunaannya untuk bahan bakar transportasi atau untuk energi lainnya. Agar pirolisis sampah plastik bisa berkembang menjadi bisnis yang menguntungkan, status ini perlu diubah. Selain itu, menurut standar internasional ISO 15270:2008, pirolisis diakui sebagai bentuk daur ulang bahan baku jika hasilnya digunakan untuk memproduksi bahan bakar atau bahan mentah industri, bukan untuk dibakar langsung guna menghasilkan energi. Jika digunakan untuk pembakaran energi, maka pirolisis dianggap sebagai proses mengubah sampah menjadi energi (*waste-to-energy*), bukan daur ulang (Qureshi et al., 2020).

Berdasarkan uraian tersebut, maka sangat penting untuk memperhatikan lebih dalam terkait mekanisme pengolahan sampah plastik, misalnya dengan metode pirolisis. Salah satu cara untuk mengetahui keamanan metode pengolahan tersebut saat diaplikasikan yaitu dengan melihat hasil produk, seperti gas, residu padatan berbentuk *char* (arang), dan minyak yang dihasilkan oleh pengolahan sampah plastik berjenis PE. Hal ini penting untuk meminimalisir risiko timbulnya permasalahan kesehatan dan lingkungan yang dihasilkan dari metode pengolahan sampah plastik tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang masalah, maka penelitian ini merumuskan pertanyaan berikut, “Bagaimana pengolahan sampah plastik jenis *polyethylene* (PE) dengan menggunakan metode pirolisis?”.

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan Umum

Tujuan umum dalam penelitian ini adalah untuk menganalisis produk hasil (gas buang, residu padatan, dan produk cair) pengolahan sampah plastik jenis *polyethylene* (PE) dengan metode pirolisis.

1.3.2 Tujuan Khusus

- a. Untuk menganalisis kandungan gas buang karbon monoksida (CO) yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah plastik jenis *polyethylene* (PE).
- b. Untuk menganalisis kandungan gas buang nitrogen oksida (NO_x) yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah plastik jenis *polyethylene* (PE).
- c. Untuk menganalisis kandungan gas buang nitrogen dioksida (NO₂) yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah plastik jenis *polyethylene* (PE).
- d. Untuk menganalisis kandungan gas buang sulfur dioksida (SO₂) yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah plastik jenis *polyethylene* (PE).
- e. Untuk menganalisis berat massa residu padatan (arang/*char*) sampah plastik jenis *polyethylene* (PE) setelah proses pirolisis.
- f. Untuk menganalisis volume produk cair yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah plastik jenis *polyethylene* (PE).

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat Ilmiah

Hasil penelitian ini diharapkan menjadi acuan dalam pengembangan parameter operasional yang optimal pada alat maupun pada proses pirolisis.

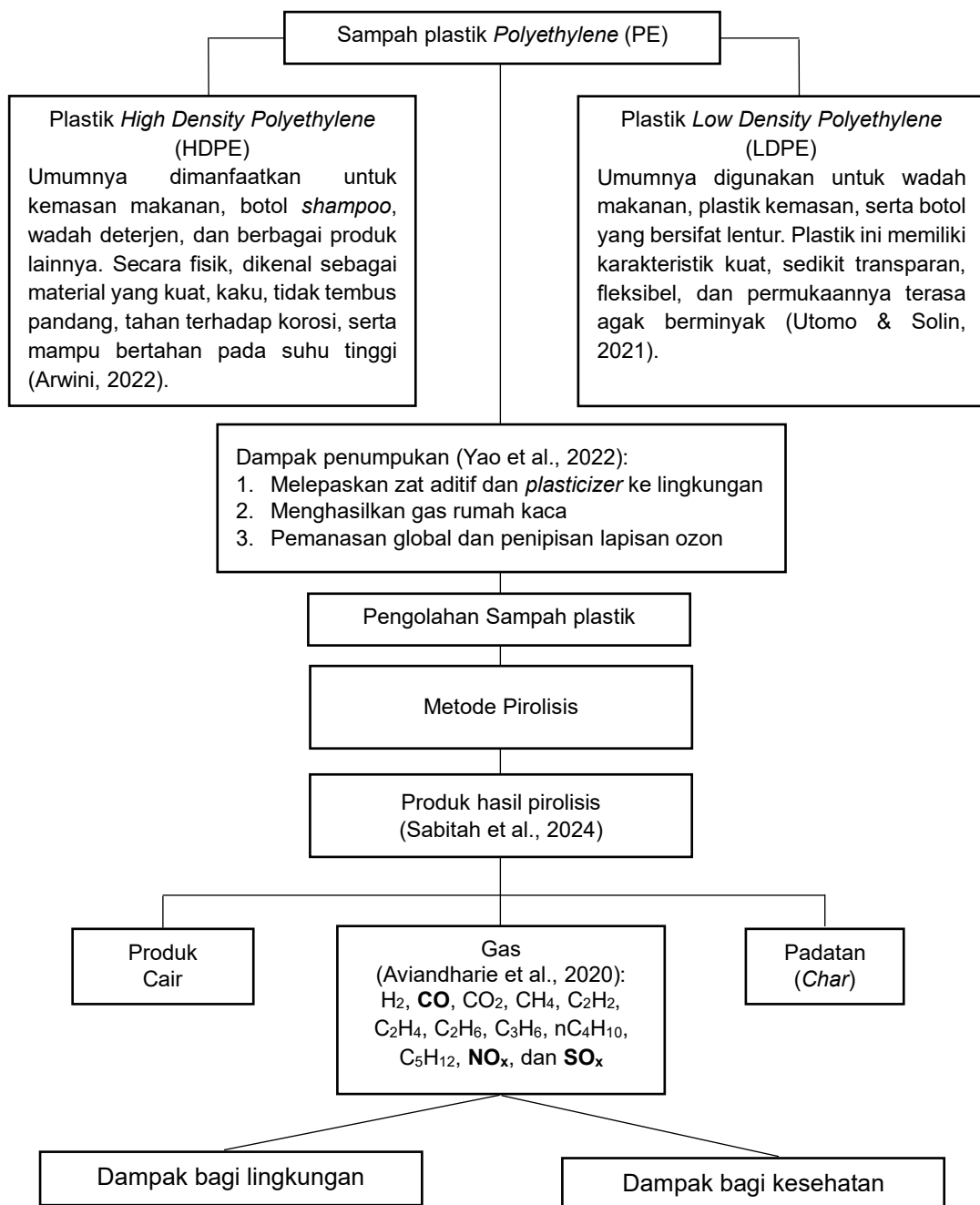
1.4.2 Manfaat Institusi

Hasil penelitian ini diharapkan dapat mendorong institusi untuk terus mendukung penelitian-penelitian inovatif yang berfokus pada isu lingkungan dan teknologi berkelanjutan.

1.4.3 Manfaat Praktis

Hasil penelitian ini diharapkan meningkatkan kesadaran peneliti tentang pentingnya teknologi ramah lingkungan dalam mengelola sampah plastik dan mengurangi dampak emisi gas buang.

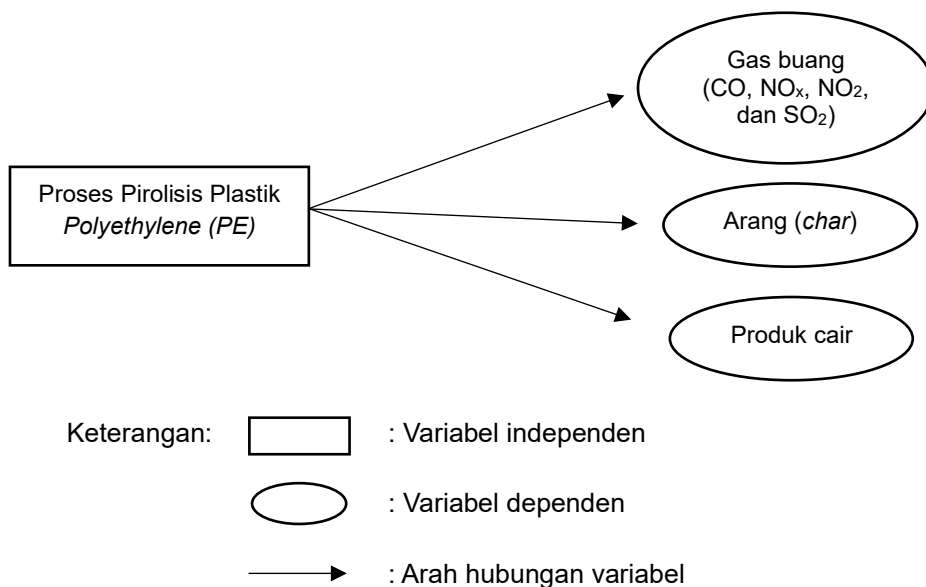
1.5 Kerangka Teori



Gambar 1.1 Kerangka teori

Sumber: Dimodifikasi dari Arwini, (2022), Utomo & Solin, (2021), Yao et al., (2022), Sabitah et al., (2024), Aviandharie et al., (2020))

1.6 Kerangka Konsep Penelitian



Gambar 1.2 Kerangka konsep

1.7 Definisi Operasional dan Kriteria Objektif

Tabel 1.1 Definisi operasional dan kriteria objektif

Variabel	Definisi Operasional	Alat Ukur	Kriteria Objektif	Skala Pengukuran
Sampah plastik <i>poly-ethylene</i> (PE)	Sampah plastik berjenis PE yang merupakan campuran dari plastik <i>high density polyethylene</i> (HDPE) dan plastik <i>low density polyethylene</i> (LDPE) dengan rasio 50:50 dari total berat sebanyak 500 gram yang	Timbangan duduk	<i>Resin Identification Code</i> (RIC) angka 2 untuk HDPE dan angka 4 untuk LDPE	Rasio

Variabel	Definisi Operasional	Alat Ukur	Kriteria Objektif	Skala Pengukuran
	dikumpulkan dari Bank Sampah Kota Makassar. Karakteristik sampah plastik HDPE yang digunakan berupa botol obat, botol cairan pembersih. Sedangkan, plastik LDPE yang digunakan berupa kantong plastik.			
Gas buang NO _x	Gas buang NO _x yang dihasilkan oleh plastik PE melalui metode pirolisis selama periode waktu tertentu.	Spektrofotometer	a. Memenuhi standar: ≤ 470 mg/Nm ³ b. Tidak memenuhi standar: > 470 mg/Nm ³ (Lampiran I Baku Mutu Emisi Usaha dan/atau Kegiatan Pengolahan Sampah Secara Termal Permen LHK	Rasio

Variabel	Definisi Operasional	Alat Ukur	Kriteria Objektif	Skala Pengukuran
			Nomor 70 Tahun 2016)	
Gas buang NO ₂	Gas buang NO ₂ yang dihasilkan oleh plastik PE melalui metode pirolisis selama periode waktu tertentu.	Spektrofotometer	a. Memenuhi standar: $\leq 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ b. Tidak memenuhi standar: $> 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Lampiran VII Baku Mutu Udara Ambien Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021)	Rasio
Gas buang CO	Gas buang CO yang dihasilkan oleh plastik PE melalui metode pirolisis selama periode waktu tertentu.	CO analyzer	a. Memenuhi standar: $\leq 10.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ b. Tidak memenuhi standar: $> 10.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Lampiran VII Baku Mutu Udara Ambien Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021)	Rasio
Gas buang SO ₂	Gas buang SO ₂ yang dihasilkan oleh plastik PE melalui	Spektrofotometer	a. Memenuhi standar: $\leq 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Rasio

Variabel	Definisi Operasional	Alat Ukur	Kriteria Objektif	Skala Pengukuran
	metode pirolisis selama periode waktu tertentu.		b. Tidak memenuhi standar: $> 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Lampiran VII Baku Mutu Udara Ambien Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021)	
Residu padatan (<i>char</i>)	Total residu sampah plastik berbentuk padatan (<i>char</i>) yang dihasilkan setelah proses pirolisis berlangsung di dalam reaktor. Residu padatan diukur dengan satuan gram (g).	Timbangan duduk	-	Rasio
Produk cair (minyak)	Total volume produk cair (minyak) yang ditampung setelah melalui proses	Gelas ukur	-	Rasio

Variabel	Definisi Operasional	Alat Ukur	Kriteria Objektif	Skala Pengukuran
	pirolisis selama 4 jam			

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Metode dan Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan jenis metode eksperimental dan desain penelitian quasi-eksperimental. Quasi-eksperimen atau eksperimen semu adalah desain penelitian yang melibatkan intervensi atau perlakuan terhadap suatu kelompok, namun tidak disertai dengan pembagian kelompok secara acak. Desain ini dapat melibatkan kelompok kontrol, tetapi tidak memiliki kontrol penuh terhadap variabel luar yang mungkin memengaruhi hasil. Berbeda dengan eksperimen murni yang menerapkan randomisasi dan pengelompokan ketat, quasi-eksperimen lebih fleksibel dan sesuai digunakan ketika kondisi penelitian tidak memungkinkan adanya randomisasi.

Hal ini didukung oleh Anantasia & Rindrayani (2025) yang menjelaskan bahwa metode quasi-eksperimen memungkinkan peneliti menilai hubungan sebab-akibat antar variabel meskipun tidak semua faktor dapat dikendalikan atau subjek tidak dapat diacak sepenuhnya. Oleh karena itu, quasi eksperimen sangat cocok digunakan dalam kondisi di mana eksperimen murni sulit dilakukan karena kendala logistik, pertimbangan etika, atau keterbatasan sumber daya. Desain ini dipilih karena peneliti ingin menerapkan perlakuan pirolisis terhadap satu kelompok bahan, yaitu plastik PE.

2.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Kota Makassar. Pemeriksaan sampel dilaksanakan di Balai Laboratorium Kesehatan Masyarakat Makassar, yang beralamat di Jl. Wijaya Kusuma Raya No. 29-31, Kelurahan Banta-Bantaeng, Kecamatan Rappocini, Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Mei – Juli 2025 atau dalam waktu tiga bulan.

2.3 Populasi dan Sampel

2.3.1 Populasi

Populasi dalam penelitian ini adalah plastik jenis *polyethylene* (PE). Adapun karakteristik plastik PE terdiri atas dua jenis, yaitu plastik HDPE dengan kode RIC (*Resin Identification Code*) angka 2 dan angka 4 untuk plastik LDPE.

2.3.2 Sampel

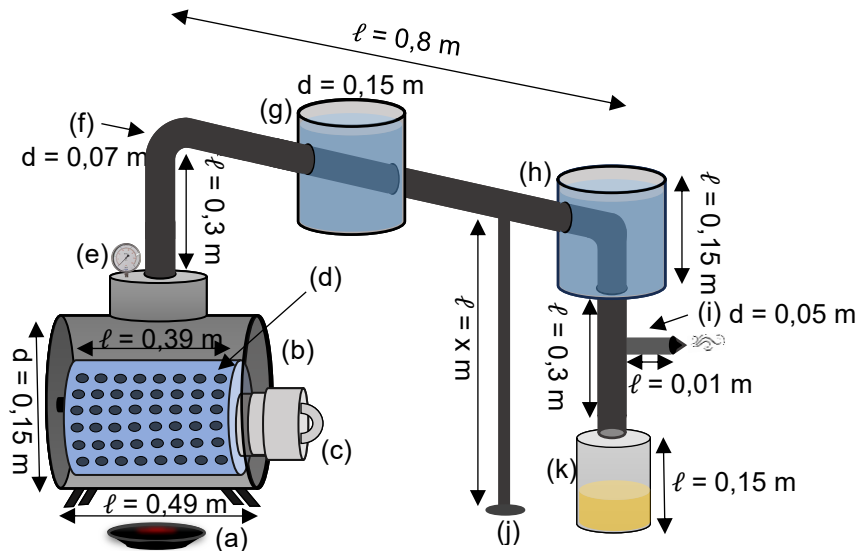
Sampel dalam penelitian ini adalah gas buang (CO, NO_x, NO₂, dan SO₂), arang, dan minyak yang dihasilkan oleh pengolahan sampah plastik berjenis PE (HDPE dan LDPE) melalui metode pirolisis.

2.4 Alat, Bahan, dan Cara Kerja

2.4.1 Alat

Alat pirolisis yang dibuat terdiri atas beberapa komponen, yaitu cerobong asap, kondensor air 2 buah, termometer bimetal, penampung minyak, pipa penghubung, reaktor, tabung penggiling, tabung gas, selang gas, termometer dan tungku pembakaran. Bahan alat pirolisis

terbuat dari baja karbon/baja tahan panas, pipa galvanis, inci, dan tembaga atau *stainless steel* dan air yang digunakan pada kondensor. Rangkaian dan cara kerja alat dijelaskan pada **Gambar 4.1**.



Gambar 2.1 Desain alat pirolisis

Sumber: Dimodifikasi dari (Kholili & Hindratmo, 2023;
Wijayanto et al., 2024)

Keterangan gambar:

Tungku pembakaran (a), reaktor (b), pintu reaktor (c), tabung penggiling (d), termometer (e), pipa penghubung (f), kondensor 1 (g), kondensor 2 (h), cerobong asap (i), tiang penyangga (j), dan penampung minyak (k).

Adapun alur mekanisme kerja alat pirolisis tersebut, yaitu:

1. Disiapkan bahan sampah plastik dalam keadaan bersih dan kering lalu dimasukan bahan sampah plastik ke dalam reaktor lalu ditutup pintu reaktor hingga kedap udara.
2. Dipanaskan reaktor melalui tungku pembakaran yang diletakkan di bawah reaktor dengan bantuan sumber panas dari tabung LPG hingga mencapai suhu titik leleh plastik kurang lebih 270°C – 330°C selama empat jam.
3. Dinyalakan mesin dinamo dengan listrik untuk memutar tabung penggiling reaktor.
4. Dipertahankan suhu pembakaran selama waktu yang telah ditentukan dengan memantau termometer suhu pada reaktor. Reaktor dibuat dengan tahan suhu panas yang tinggi dan tanpa kehadiran oksigen sehingga proses pirolisis dapat berlangsung.
5. Dialirkan gas hasil pirolisis yang terbentuk melalui pipa penghubung ke kondensor.
6. Didinginkan gas panas di dalam kondensor 1. Pada bagian ini, sebagian besar uap air dan minyak mengembun dan terpisah dari

- gas. Proses ini memisahkan produk cair dari gas yang tidak terpakai.
7. Dialirkan gas yang belum sepenuhnya terkondensasi ke kondensor 2. Proses pendinginan dilanjutkan untuk menghasilkan lebih banyak minyak dari gas yang tersisa, sehingga meningkatkan efisiensi pemisahan produk.
 8. Diukur kandungan gas buang yang keluar pada cerobong asap sesuai dengan gas yang diperiksa. Gas buang yang keluar merupakan gas yang tidak dapat terkondensasi.
 9. Ditunggu proses pirolisis sesuai waktu yang ditentukan lalu dimatikan tungku pembakaran.
 10. Dilihat residu yang ditinggalkan pada reaktor dan dikeluarkan dan dicatat hasil yang didapatkan lalu alat dibersihkan.

Alat pirolisis yang digunakan dalam percobaan pengolahan sampah plastik PE merupakan hasil modifikasi dari penelitian milik Kholili & Hindratmo (2023) dan Wijayanto et al. (2024). Bagian reaktor pada alat tersebut, ditambahkan tabung berbentuk silinder dengan banyak lubang kecil di sekelilingnya. Tabung ini merupakan tempat penampungan sampah plastik yang berputar didalam reaktor dan digerakkan oleh mesin dinamo. Biaya pembuatan alat dapat ditekan jika memanfaatkan material besi bekas yang masih layak pakai, serta perawatannya pun lebih mudah dilakukan karena suku cadangnya tersedia di toko peralatan teknik. Berikut ini alat pirolisis yang digunakan berdasarkan rancangan desain.



Gambar 2.2 Alat pirolisis

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025

Alat pirolisis yang menguraikan (dekomposisi) plastik ini menghasilkan tiga jenis produk, yaitu fase cair berupa minyak, fase padat berupa residu berbentuk *char*, serta fase gas yang terdiri dari campuran gas yang bersifat tidak terkondensasi. Penelitian ini menggunakan rentang suhu 270°C–330°C pada alat pirolisis dengan waktu pemanasan selama empat jam dengan bantuan tabung LPG sebagai sumber energi panas.

2.4.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu plastik jenis PE (campuran HDPE dan LDPE) yang telah dicuci bersih, dikeringkan, dan dicacah agar tidak mengganggu proses pembakaran sampah plastik. Karakteristik plastik *Polyethylene* (PE) yang digunakan memiliki ciri-ciri antara lain yaitu berkode RIC (*Resin Identification Code*) angka 4 untuk plastik *Low-Density Polyethylene* (LDPE), lentur, ringan, relatif tipis dan tembus pandang; dan plastik *High-Density Polyethylene* (HDPE) dengan ciri-ciri berkode RIC angka 2, keras, relatif tebal dan cenderung tidak tembus pandang. Contoh plastik jenis LDPE yang umum didapatkan yaitu kantong belanja kresek, tutup botol, plastik pembungkus seperti bubble wrap, dan lainnya. Contoh plastik jenis HDPE yaitu botol obat, botol minuman tempat makan, galon air minum, botol cairan pembersih, dan jerigen. Berat sampah plastik PE yang digunakan sebanyak 500 gram dengan rasio plastik HDPE dan LDPE sebanyak 50:50 atau HDPE sebanyak 250 gram dan LDPE sebanyak 250 gram.

2.4.3 Cara kerja

Prosedur atau cara kerja penelitian ini terbagi atas empat pengukuran, yaitu pengukuran sampel gas buang karbon dioksida (CO), nitrogen oksida (NO_x), nitrogen dioksida (NO₂), dan sulfur dioksida (SO₂).

- a. **Pengambilan sampel gas buang.** Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan alat *Air Sampler Implinger* untuk mengumpulkan gas yang keluar dari cerobong asap ke dalam kantong pengumpul (*Tedlar bag*). Cara kerja alat ini dimulai dengan menghubungkannya ke sumber listrik, lalu selang hisap dimasukkan ke bagian *impinger fritted bubbler*. Setelah mesin diaktifkan, udara yang tersedot melewati larutan penangkap, dan hasilnya kemudian dianalisis di laboratorium untuk mengetahui kadar gas yang terkandung (Giantara et al., 2021).



Gambar 2.3 Air sampler implinger

Sumber: Internet, 2025

- b. Pengukuran sampel gas buang karbon monoksida (CO).**
Pengukuran sampel di laboratorium dilakukan dengan menggunakan alat spektrofotometer dan metode *Non Dispersive Infra Red* (NDIR). Langkah-langkah pengukuran sampel gas buang karbon monoksida (CO) dilakukan menurut standar yang ditetapkan Kementerian Lingkungan Hidup yaitu SNI 19-7119.10-2011.
- c. Pengukuran sampel gas buang nitrogen oksida (NO_x).**
Pengukuran sampel dilakukan di laboratorium dengan menggunakan alat spektrofotometer dan metode *Phenol Disulphonic Acid* (PDS). Langkah-langkah pengukuran sampel gas buang nitrogen oksida (NO_x) dilakukan menurut standar yang ditetapkan Kementerian Lingkungan Hidup yaitu SNI 19-7117.5-2005.
- d. Pengukuran sampel gas buang nitrogen dioksida (NO₂).**
Pengukuran sampel dilakukan di laboratorium dengan menggunakan alat spektrofotometer dan metode *Griess Saltzman*. Langkah-langkah pengukuran sampel gas buang nitrogen dioksida (NO₂) menurut standar yang ditetapkan Kementerian Lingkungan Hidup yaitu SNI 19-7119.2-2005.
- e. Pengukuran sampel gas buang sulfur dioksida (SO₂).**
Pengukuran sampel dilakukan dengan menggunakan alat spektrofotometer dan metode pararosanilin. Langkah-langkah pengukuran sampel gas buang sulfur dioksida (SO₂) dilakukan menurut standar yang ditetapkan Kementerian Lingkungan Hidup yaitu SNI 19-7119.7-2005.
- f. Pengukuran berat massa residu padat (arang/char).**

1. Rumus persentase residu padat yang dihasilkan

$$\% \text{Residu padat} = \left(\frac{W_1}{W_0} \right) \times 100\%$$

2. Rumus efisiensi penurunan berat sampah

$$\eta = \frac{(W_0 - W_1)}{W_0} \times 100\%$$

Keterangan:

- η : Efisiensi penurunan berat
 W_0 : Berat sebelum proses pirolisis
 W_1 : Berat setelah proses pirolisis

- g. Pengukuran volume produk cair**

Pengukuran volume cairan dilakukan dengan mengobservasi produk cair hasil pirolisis yang dituangkan ke dalam gelas ukur.

2.5 Pengumpulan Data

2.5.1 Data primer

Data primer merupakan data yang diperoleh peneliti secara langsung. Data primer yang dikumpulkan dari hasil pengujian laboratorium sampel gas buang yang diambil pada proses pirolisis

plastik PE di setiap satu jam dengan total empat jam. Data sampel gas buang diambil dan diuji oleh Balai Laboratorium Kesehatan Masyarakat Makassar. Adapun data primer untuk arang (*char*) dan minyak diukur dan dicatat oleh peneliti.

2.5.2 Data sekunder

Data sekunder yang diperoleh peneliti berasal dari sumber lain seperti jurnal, artikel, buku, atau literatur lain yang berkaitan dengan penelitian.

2.6 Pengolahan dan Analisis Data

2.6.1 Pengolahan data

1. *Editing*

Editing atau penyuntingan bertujuan untuk memilah data hasil uji laboratorium jika terdapat data yang tidak lengkap atau tidak valid dengan mengidentifikasinya terlebih dahulu.

2. Klasifikasi data

Klasifikasi data dilakukan untuk mengelompokkan data berdasarkan kategorinya. Misalnya, pengambilan sampel gas buang dikelompokkan berdasarkan jenis gas (CO, NO_x, NO₂, dan SO₂).

2.6.2 Analisis data

Analisis data dilakukan menggunakan analisis statistik deskriptif. Analisis ini digunakan untuk menyajikan, merangkum, dan menggambarkan data hasil pengukuran secara sistematis dan informatif. Uji ini tidak digunakan untuk menguji hipotesis atau mencari hubungan antar variabel, tetapi hanya untuk memberikan gambaran umum mengenai karakteristik data yang dimiliki.

2.7 Penyajian Data

Data yang telah diolah dan dianalisis selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel, diagram, dan narasi.