

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan sampah plastik merupakan salah satu isu lingkungan yang paling mendesak saat ini, terutama karena penggunaannya yang meluas dalam berbagai aspek kehidupan. Peningkatan produksi dan konsumsi plastik berkontribusi pada arus sampah domestik di tingkat internasional. Produksi plastik global pada tahun 2021 diperkirakan mencapai 367 juta ton dan terus meningkat menjadi 590 juta ton pada tahun 2050 (Macheca *et al.*, 2024). Sebesar 76% dari seluruh jumlah plastik yang diproduksi berakhir menjadi sampah dengan Persentase daur ulang hanya sebesar 9%, pembakaran 12%, dan 79% dibuang langsung ke lingkungan (Gilani *et al.*, 2023). Laporan *plastic waste markers index* yang dirilis oleh Minderoo Foundation pada tahun 2023 mengungkapkan bahwa jumlah sampah plastik global mencapai 138 juta ton pada tahun 2021. Jumlah sampah plastik meningkat sebesar 6 juta dari tahun sebelumnya (Foundation, 2023).

Rekapitulasi data pada Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) yang dikelola oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) melaporkan bahwa total jumlah sampah plastik yang tercatat di Indonesia pada tahun 2023 menyentuh angka 7,63 juta ton atau setara 19,21% dari total sampah yang tercatat merupakan sampah plastik (KLHK, 2024). Peningkatan jumlah timbulan sampah plastik menyebabkan berbagai risiko lingkungan. Lebih dari satu juta sampah plastik digunakan setiap menit dan sebesar 50% merupakan plastik sekali pakai sehingga berakhir langsung dibuang dengan persentase daur ulang hanya sekitar 5% (Aviandharie *et al.*, 2020).

Peningkatan jumlah sampah plastik disebabkan oleh berbagai faktor seperti pertumbuhan populasi, urbanisasi, serta perubahan gaya hidup dan konsumsi. Pengelolaan sampah yang tidak efektif dan minimnya upaya daur ulang berkontribusi terhadap peningkatan jumlah konsumsi plastik (Andini *et al.*, 2025). Provinsi Sulawesi Selatan berdasarkan laporan SIPSN pada tahun 2023 tercatat menyumbang 252 ribu ton atau sekitar 15,97% timbulan sampah plastik. Kota Makassar menjadi penghasil sampah plastik terbesar di Sulawesi Selatan dengan total timbulan sampah mencapai 115 ribu ton atau sekitar 45,71%. Sektor rumah tangga menjadi sumber utama yang berkontribusi dalam peningkatan jumlah sampah plastik (KLHK, 2024).

Low Density Polyethylene (LDPE) menjadi jenis plastik yang paling dominan digunakan dan diproduksi secara massal. Sifat plastik yang kuat, ringan, fleksibel, dan tahan terhadap kelembapan menyebabkan penggunaan plastik LDPE semakin meningkat (Suryono, 2019). Plastik LDPE merupakan golongan plastik *polietilena* karena merupakan jenis polimer yang dihasilkan dari monomer *etilena*. Permintaan pasar yang terus melonjak untuk produk berbasis plastik, ditambah ketersediaan bahan baku *etilena* yang melimpah semakin memperkuat posisinya sebagai salah satu jenis plastik yang paling banyak digunakan di dunia (Nelfia *et al.*, 2023).

Jenis plastik LDPE menyumbang 22% dari konsumsi *polietilena* pada tahun 2022 dengan tingkat pertumbuhan global tahunan rata-rata mencapai 2% - 3%. Salah satu jenis plastik LDPE yang sering digunakan yaitu kantong plastik. (Nazarloo *et al.*, 2024). *Making Oceans Plastic Free* pada tahun 2017 menyatakan bahwa Indonesia menyumbang 182,7 miliar kantong plastik setiap tahunnya dengan bobot total sampah yang dihasilkan mencapai 1,2 juta ton. Ketersediaan plastik LDPE yang tinggi namun nilai ekonomi yang rendah dalam sistem daur ulang konvensional menjadi faktor penyebab LDPE berkontribusi sebagai sumber pencemar lingkungan (Free, 2017).

Jutaan ton plastik setiap tahunnya akan berakhir di sungai, lautan, dan tempat pembuangan akhir (Muliawati *et al.*, 2024). Keberadaan plastik di lingkungan menyebabkan berbagai dampak dan meningkatkan risiko pencemaran udara, air, dan tanah. Komponen plastik yang tersebar di udara berkontribusi terhadap kejadian penyakit pernapasan. Pencemaran udara akibat sampah plastik bersumber dari proses pembakaran yang dapat menghasilkan berbagai emisi dioksin yang bersifat karsinogenik. Mikroplastik sebagai hasil dari pembakaran atau penguraian plastik dapat terbang ke udara kemudian terhirup dan masuk ke dalam sistem pernapasan sehingga menyebabkan masalah kesehatan (Bahtiar *et al.*, 2022). Udara yang tercemar dalam jangka waktu yang lama dapat mengakibatkan terjadinya pemanasan global pada atmosfer bumi (Sariyah *et al.*, 2023).

Karakteristik plastik yang ringan dan sulit terdegradasi menyebabkannya mudah terbawa angin dan gelombang laut sehingga masuk dalam perairan. Sumber pencemaran plastik di daerah pesisir disebabkan oleh aktivitas transportasi laut, limpasan dari daratan, serta kurangnya kesadaran masyarakat yang membuang sampah di sekitar pesisir dan laut. Keberadaan plastik akan menjadi ancaman pada biota perairan seperti ikan, penyu, dan mamalia laut (Alamsyah & Fadli, 2023). Sampah plastik menyumbang sekitar 90% sampah di lautan sehingga merusak ekosistem pantai dan menyebabkan terjadinya degradasi di sekitar wilayah pesisir (Jariyanti *et al.*, 2022). Plastik pada lingkungan perairan dapat melepaskan berbagai senyawa kimia berbahaya (Rahayu *et al.*, 2022).

Dampak lain yang ditimbulkan dari sampah plastik yaitu menyebabkan terbunuhnya hewan pengurai tanah akibat zat berbahaya yang dilepas sehingga merusak kualitas tanah serta mengganggu pertumbuhan tanaman. Sampah plastik yang sulit terurai dapat menimbulkan bau yang tidak sedap serta menjadi sumber perkembangbiakan vektor dan perantara berbagai penyakit. Pencemaran sampah plastik pada lingkungan disebabkan oleh jumlah plastik yang telah melebihi kapasitas Tempat Pembuangan Akhir (TPA) dan waktu terurai yang lebih dari 500 tahun. Sampah plastik yang menumpuk atau dibuang sembarangan ke kawasan terbuka berpotensi menyebabkan banjir serta berdampak pada saluran air tanah. Pencemaran tanah tidak hanya berdampak pada ekosistem lokal tetapi turut mempengaruhi kualitas pangan, sumber daya air, dan rantai makanan (Irwanto & Wibowo, 2023). Sampah plastik juga dapat mencemari lingkungan dalam bentuk mikroplastik. Keberadaan mikroplastik pada sumber air dapat membahayakan kesehatan jika dikonsumsi karena dapat masuk ke jaringan tubuh melalui proses asopsi sehingga dapat mempengaruhi sistem kekebalan tubuh (Natsir *et al.*, 2021).

Pengolahan sampah plastik yang tepat dan efektif sangat diperlukan sebagai upaya untuk mengurangi jumlah timbulan plastik. Metode pengolahan sampah plastik yang umum diterapkan adalah metode pembakaran terbuka atau *open burning*. Metode pembakaran ini masih umum dilakukan oleh masyarakat karena biaya yang cukup murah dan tidak membutuhkan waktu lama untuk memusnahkan sampah. Pembakaran secara terbuka merupakan proses membakar sampah di ruang terbuka dengan kondisi proses rendah oksigen serta tanpa adanya kontrol gas dan partikulat. Proses pembakaran tanpa pengendalian emisi menyebabkan gas dan partikulat langsung terlepas ke udara sehingga berkontribusi terhadap pencemaran udara. Berbagai gas yang dihasilkan dalam proses pembakaran sampah terbuka yaitu karbon monoksida (CO), gas nitrogen oksida (NO_x), Sulfur dioksida (SO_2), nitrogen dioksida (NO_2), hidrogen klorida (HCl), karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan berbagai gas lainnya. Gas yang terlepas dari proses pembakaran terutama (Anifah *et al.*, 2021).

Pelepasan zat organik, anorganik, dan senyawa polutan lainnya akibat proses pembakaran dapat mengakibatkan pencemaran udara akibat partikel tersuspensi dari sampah yang terdekomposisi (Sukarmawati *et al.*, 2023). Keberadaan gas buang seperti CO di udara dapat menyebabkan keracunan yang bersifat kronik setelah terpapar berulang-ulang pada kadar rendah dan sedang. Paparan CO dapat mengganggu sistem pernapasan, sakit kepala, dan kerusakan organ tubuh. Selain itu, gas CO dengan kadar tinggi di udara berpotensi menyebabkan kerusakan otak dan kematian (Anggelina *et al.*, 2022). Emisi gas buang seperti NO_x juga menjadi salah satu polutan udara yang menjadi prekursor utama partikulat dan ozon sehingga dapat meningkatkan pembentukan kabut asap, hujan asam, penipisan ozon, dan perubahan iklim. Paparan polutan gas NO_x dalam jangka waktu yang panjang mengakibatkan gangguan sistem pernapasan hingga kematian (Alvarez, 2021).

Gas buang lainnya yang dapat menyebabkan pencemaran pada lingkungan dan berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan yaitu gas NO_2 dan SO_2 . Emisi senyawa nitrogen di udara bertanggung jawab terhadap kejadian penurunan kualitas udara, hujan asam, kerusakan tanaman, dan perubahan iklim (de Vries, 2021). Keberadaan gas SO_2 di udara yang bereaksi dengan uap air akan menghasilkan asam sulfat (H_2SO_4) dan menimbulkan hujan asam (Sari *et al.*, 2021). Selain dampak lingkungan, kadar gas buang NO_2 dan SO_2 yang tinggi dapat mengakibatkan berbagai masalah kesehatan seperti sesak napas, iritasi mata, sakit kepala, rusaknya paru-paru, dan *bronkhitis*. Gas NO_2 dan SO_2 sebagai gas pencemar di udara dalam jangka waktu yang pendek dapat menimbulkan berbagai gejala gangguan pernapasan seperti batuk, lemas, edema paru, *bronkopneumonia*, *methemoglobinemia*, dan sianosis (Maherdyta *et al.*, 2022).

Pendekatan alternatif melalui penerapan teknologi yang efisien dan mudah diterapkan menjadi pilihan yang diperlukan untuk menangani permasalahan sampah plastik, salah satunya dengan menerapkan metode pirolisis (Restanti & Mirwan, 2023). Metode pirolisis adalah metode termal potensial dalam mengolah sampah plastik melalui proses pemanasan pada suhu tinggi dengan kondisi oksigen yang minim untuk memecah molekul plastik (Mitan *et al.*, 2022). Senyawa organik dalam plastik dipecah menggunakan sistem kerja tabung reaktor yang menghasilkan asap

cair dan dapat digunakan sebagai bahan bakar (Salsabila *et al.*, 2023). Produk yang dihasilkan dari metode pirolisis berupa gas, padatan (*char*), dan produk cair berupa minyak. Penguraian struktur kimia dari bahan mentah menjadi gas pada proses pirolisis akan menghasilkan gas buang yang lebih aman untuk lingkungan (Riandis *et al.*, 2021). Terdapat tiga jenis pirolisis yang umum digunakan yaitu *slow pyrolysis* (pirolisis lambat), *flash pyrolysis* (pirolisis kilat), dan *fast pyrolysis* (pirolisis cepat) (Simbolon & Setia, 2022).

Pirolisis dapat membantu mengurangi volume timbunan sampah plastik secara signifikan serta produk yang dihasilkan dapat dimanfaatkan kembali dengan penanganan lebih mudah. Produk pirolisis yaitu minyak dan arang dapat memiliki nilai ekonomis. Proses pirolisis dilakukan dalam kondisi minim oksigen sehingga mengurangi risiko pembentukan polutan berbahaya dibandingkan dengan metode pembakaran secara konvensional. Proses pirolisis dapat mereduksi gas buang hingga 20 kali lipat jika dibandingkan dengan metode pembakaran secara konvensional (Arini & Lovisia, 2020). Kelemahan dari metode pirolisis yaitu proses pembakaran yang sangat dipengaruhi oleh suhu sehingga memicu timbulnya gas buang dan mempengaruhi efisiensi dan kualitas produk. Pirolisis juga menghasilkan residu yang memerlukan pengolahan lanjutan. Proses pirolisis biasanya dilakukan pada suhu 300 – 900°C (Salsabila *et al.*, 2023).

Studi dan penelitian terkait metode pirolisis dalam pengolahan sampah telah banyak dilakukan. Penelitian oleh Yadav *et al* (2020) mengungkapkan bahwa pirolisis plastik menghasilkan campuran gas dan minyak serta arang dalam jumlah yang sedikit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses pirolisis plastik menghasilkan emisi gas CO sebesar 2,40%, bahan bakar diesel sebanyak 600 – 750 ml, serta *char* dalam jumlah yang sedikit. Produk dari proses pirolisis plastik dapat digunakan sebagai bahan bakar dan menjadi alternatif sumber bahan bakar baru. Penerapan pirolisis plastik juga mampu mengurangi masalah dekomposisi sampah plastik dan menjadi solusi yang baik untuk mengendalikan sampah plastik (Yadav *et al.*, 2020). Penelitian lain oleh Wijayanti *et al* (2022) menyatakan bahwa proses konversi sampah plastik LDPE menjadi bahan bakar minyak sangat menjanjikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses pirolisis hampir mengkonversi 90% plastik LDPE menjadi bahan bakar minyak. Proses konversi sampah plastik menjadi minyak tidak memerlukan suhu pemanasan yang besar sehingga sangat potensial untuk diterapkan (Wijayanti *et al.*, 2022).

Penelitian oleh Restanti dan Mirwan (2023) menyatakan bahwa proses pirolisis menjadi metode pengolahan plastik yang dapat mengurangi jumlah sampah plastik secara signifikan. Efektivitas proses pirolisis sangat mempengaruhi jenis produk yang dihasilkan. Hasil minyak pirolisis dari plastik LDPE pada penelitian ini memiliki densitas dan viskositas yang hampir mendekati standar bahan baku Pertamina. Penelitian ini juga mengungkapkan bahwa gas buang dari proses pirolisis berupa gas CO masih belum memenuhi standar baku mutu kualitas lingkungan yaitu sebesar 910 mg/Nm³ dan >1000 mg/Nm³. Pengembangan dan peningkatan proses pirolisis untuk meminimalkan berbagai dampak negatif seperti gas buang berbahaya perlu dilakukan untuk menjadikan teknologi pirolisis lebih efisien dan ramah lingkungan (Restanti & Mirwan, 2023).

Penerapan pirolisis plastik LDPE menjadi penting untuk diteliti karena beberapa alasan mendasar. Struktur plastik LDPE yang bercabang dan densitas rendah membuatnya lebih mudah terurai dibandingkan dengan plastik densitas tinggi sehingga produk yang dihasilkan lebih optimal. Plastik LDPE dapat diproduksi menjadi minyak dengan efisiensi tinggi pada suhu yang relatif rendah. Selain itu, plastik LDPE merupakan polimer berbasis hidrokarbon yang memiliki sifat serupa dengan bahan bakar hidrokarbon dengan nilai kalor yang mendekati kalor gas minyak cair, bensin, dan solar. Hal tersebut menjadikan plastik LDPE memiliki potensi besar untuk diolah menjadi produk bernilai melalui penerapan teknologi pirolisis (Gebre et al., 2021). Analisis produk hasil berupa gas buang, padatan, dan produk cair dalam proses pirolisis sangat penting dilakukan karena akan memberikan gambaran atau informasi terkait efisiensi, optimasi proses, dan dampak lingkungan dari proses yang dilakukan. Oleh karena itu, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “Analisis Produk Pengolahan Sampah Plastik Jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE) dengan Teknologi Pirolisis di Kota Makassar Tahun 2025”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dirumuskan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut: “Bagaimana karakteristik alat dan produk yang dihasilkan dalam penerapan teknologi pirolisis sebagai metode pengolahan sampah plastik jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE)?”.

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan Umum

Untuk membuat alat pirolisis serta menganalisis produk hasil (gas buang, padatan (*char*), dan produk cair) dari pengolahan sampah plastik jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE) dengan metode pirolisis.

1.3.2 Tujuan Khusus

- Untuk merancang dan membuat alat pirolisis sebagai teknologi pengolahan sampah plastik jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE).
- Untuk menganalisis kandungan gas buang Karbon Monoksida (CO) yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah plastik jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE).
- Untuk menganalisis kandungan gas buang Nitrogen Dioksida (NO₂) yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah plastik jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE).
- Untuk menganalisis kandungan gas buang Nitrogen Oksida (NO_x) yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah plastik jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE).
- Untuk menganalisis kandungan gas buang Sulfur Dioksida (SO₂) yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah plastik jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE).
- Untuk menganalisis massa padatan (*char*) yang dihasilkan sampah plastik jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE) setelah proses pirolisis.
- Untuk menganalisis volume produk cair yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah plastik jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE).

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat Ilmiah

Penelitian ini diharapkan dapat menambah khazanah ilmu pengetahuan terkait pengolahan sampah plastik serta menjadi bahan bacaan maupun pedoman bagi penelitian berikutnya.

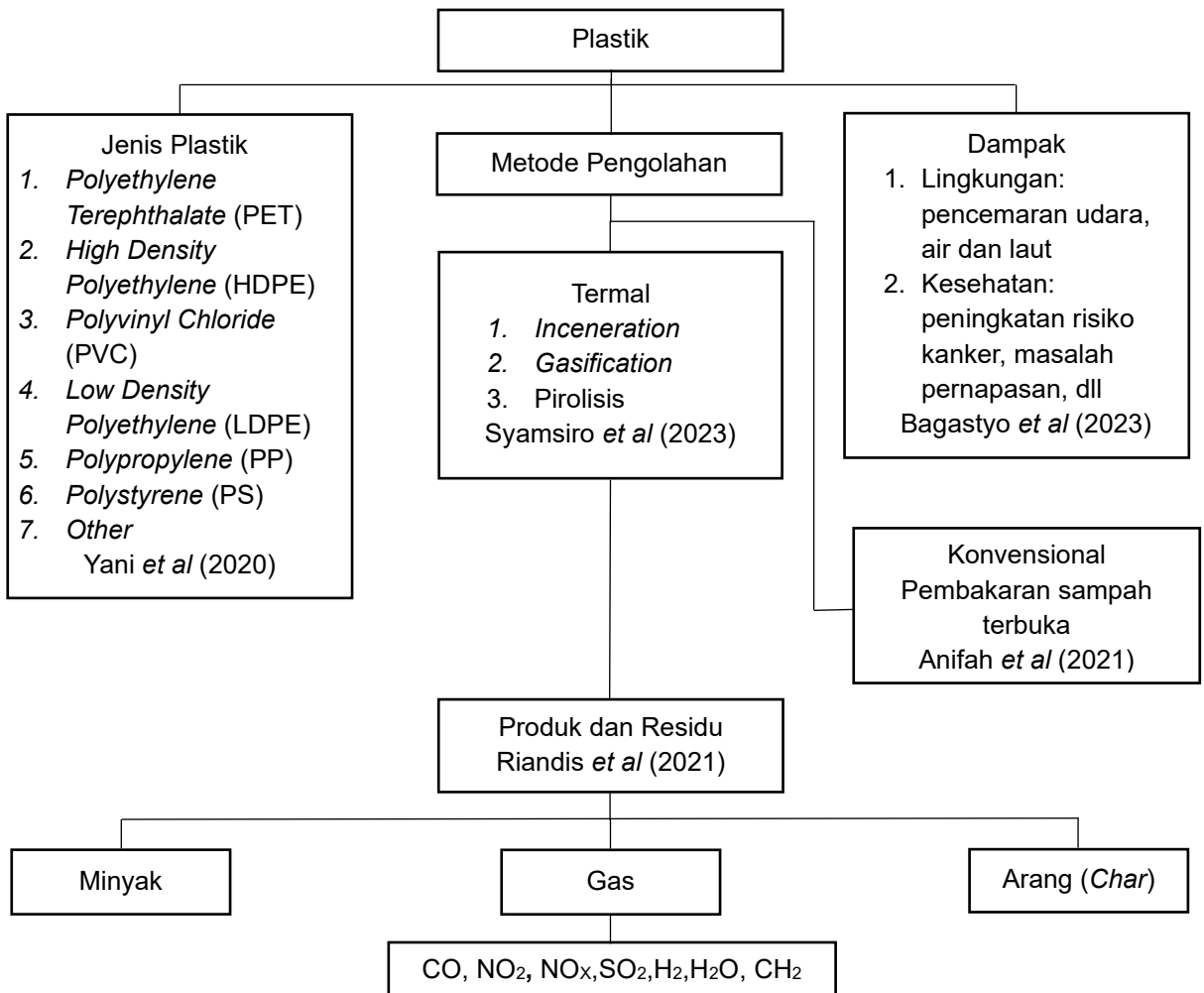
1.4.2 Manfaat Institusi

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber informasi dan masukan dalam upaya penelitian dan pengembangan teknologi pengolahan sampah plastik yang lebih ramah lingkungan.

1.4.3 Manfaat Praktis

Penelitian ini diharapkan memberikan pengalaman yang sangat berharga serta menambah wawasan dan pengetahuan peneliti dalam menerapkan ilmu pengetahuan yang diperoleh selama proses perkuliahan.

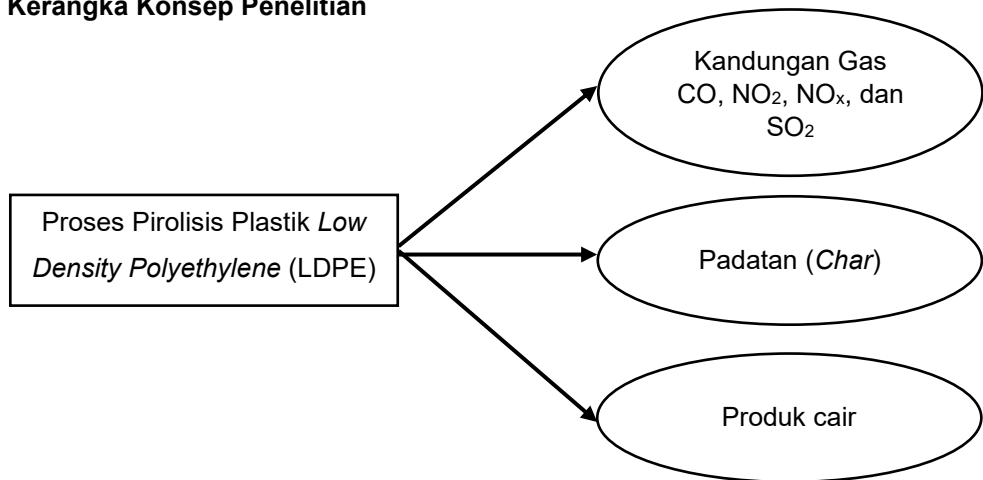
1.5 Kerangka Teori

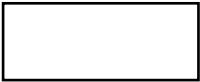


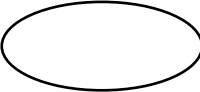
Gambar 1. 1 Kerangka Teori

Dimodifikasi dari (Yani *et al.*, 2020), (Syamsiro *et al.*, 2024), (Bagastyo *et al.*, 2023), dan (Riandis *et al.*, 2021)

1.6 Kerangka Konsep Penelitian



Keterangan:  : Variabel Bebas (Independen)

 : Variabel Terikat (Dependen)

 : Arah Hubungan Variabel

Gambar 1. 2 Kerangka Konsep Penelitian

1.7 Definisi Operasional dan Kriteria Objektif

Tabel 1. 1 Definisi operasional dan kriteria objektif

Variabel	Definisi Operasional	Alat Ukur	Kriteria Objektif	Skala Pengukuran
Plastik <i>Low Density Polyethylene</i> (LDPE)	Sampah plastik jenis LDPE ditandai dengan kode RIC angka 4, ringan, lentur, relatif tipis, dan tembus pandang dengan berat 500 gram yang disesuaikan dengan kapasitas pirolisis yang dikumpulkan dari bank sampah Unit di kota Makassar.	Timbangan Duduk	-	Rasio
Gas Buang Karbon Monoksida (CO)	Jumlah gas CO yang dihasilkan selama proses pirolisis 500 gram sampah plastik jenis LDPE.	Spektrofotometer	Berdasarkan Permen LHK RI Nomor 70 Tahun 2016, batas maksimum usulan gas CO sebesar 625 mg/Nm ³	Rasio
Gas Buang Nitrogen Dioksida (NO ₂)	Jumlah gas NO ₂ yang dihasilkan selama proses pirolisis 500 gram sampah plastik jenis LDPE.	Spektrofotometer	Berdasarkan Permen LHK RI Nomor 70 Tahun 2016, batas maksimum usulan gas NO ₂ sebesar 200 µg/Nm ³	Rasio
Gas Buang Nitrogen Oksida (NO _x)	Jumlah gas NO _x yang dihasilkan selama proses pirolisis 500 gram sampah	Spektrofotometer	Berdasarkan Permen LHK RI Nomor 70 Tahun 2016, batas maksimum usulan gas	Rasio

Variabel	Definisi Operasional	Alat Ukur	Kriteria Objektif	Skala Pengukuran
	plastik jenis LDPE.		NO _x sebesar 470 mg/Nm ³	
Gas Buang Sulfur Dioksida (SO ₂)	Jumlah gas SO ₂ yang dihasilkan selama proses pirolisis 500 gram sampah plastik jenis LDPE.	Spektrofotometer	Berdasarkan Permen LHK RI Nomor 70 Tahun 2016, batas maksimum usulan gas SO ₂ sebesar 210 mg/ Nm ³	Rasio
<i>Char</i>	Jumlah produk padat yang dihasilkan dari proses pirolisis 500 gram sampah plastik LDPE.	Timbangan duduk	-	Rasio
Produk Cair	Jumlah uap panas yang terkondensasi menjadi produk cair berupa minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis 500 gram sampah plastik LDPE.	Gelas Ukur 100 mL	-	Rasio

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Metode, Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dengan metode experimental. Desain penelitian experimental yang digunakan merupakan desain eksperimen semu (*Quasy Experimental Design*) untuk menganalisis dan mendeskripsikan karakteristik produk pirolisis plastik LDPE meliputi kandungan gas buang (CO , NO_2 , NO_x , dan SO_2), padatan (*char*), dan produk cair yang dihasilkan dari proses pirolisis. Eksperimen dalam penelitian dilakukan dengan memberikan perlakuan tertentu pada objek penelitian sebagai upaya untuk mengetahui akibat atau dampak yang ditimbulkan (Pertiwi *et al.*, 2023). *Quasy experimental design* adalah metode eksperimen yang digunakan ketika randomisasi tidak memungkinkan dan dikembangkan karena adanya kesulitan dalam mendapatkan kelompok kontrol untuk mengontrol variabel luar yang dapat mempengaruhi eksperimen (Akbar *et al.*, 2023).

2.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei sampai Juli 2025 di Kota Makassar, Sulawesi Selatan. Pengukuran sampel dilakukan di Balai Laboratorium Kesehatan Masyarakat (BLKM) Makassar.

2.3 Populasi dan Sampel

2.3.1 Populasi

Populasi dalam penelitian ini mencakup seluruh produk dan seluruh gas buang yang dihasilkan dari pirolisis sampah plastik LDPE.

2.3.2 Sampel

Sampel dalam penelitian ini terdiri dari tiga produk hasil pirolisis sampah plastik jenis LDPE, yaitu gas buang (CO , NO_2 , NO_x , SO_2), padatan (*char*), dan produk cair. Pengambilan sampel gas buang dilakukan secara berkala setiap satu jam selama proses pirolisis berlangsung dengan total sampel yang diperoleh sebanyak 16 sampel selama empat jam proses pirolisis berlangsung. Sementara itu, sampel padatan dan produk cair diambil dan diukur setelah proses pirolisis berakhir oleh peneliti. Pengambilan dan pemeriksaan sampel gas buang dilakukan oleh petugas Balai Laboratorium Kesehatan Masyarakat (BLKM) Makassar. Fase pemanasan berlangsung pada pukul 10.00 – 14.00 WITA dengan waktu pengambilan sampel gas buang dilakukan pada durasi pemanasan 60 menit, 120 menit, 180 menit, dan 240 menit. Pengambilan sampel pada durasi yang berbeda bertujuan untuk melihat perubahan komposisi dan konsentrasi gas buang selama proses pirolisis plastik jenis LDPE berlangsung.

2.4 Alat, Bahan, dan Cara Kerja

2.4.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah pirolisis sebagai alat untuk proses pembakaran sampah plastik secara termal yang terdiri dari cerobong asap, kondensor 2 buah, termometer, mesin penggerak (dinamo dan *speed reducer*), penampung minyak, pipa penghubung, reaktor, tabung berlubang, dan tungku pembakaran. Terdapat alat tambahan yang digunakan berupa tabung gas, selang gas, dan kompor *high pressure*.

2.4.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampah plastik jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE) yang telah dicuci bersih, dikeringkan, dan dicacah menjadi potongan berukuran $\pm 2 \times 2$ cm guna memudahkan proses pembakaran. Total massa plastik LDPE yang digunakan adalah 500 gram dengan karakteristik fisik berkode RIC (*Resin Identification Code*) angka 4, bertekstur ringan dan lentur, serta memiliki ketebalan yang relatif tipis. Jenis plastik LDPE yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari campuran kantong kresek, label botol minuman, dan kemasan makanan ringan.

2.4.3 Cara Kerja

a. Cara Kerja Alat Pirolisis

- 1) Disiapkan bahan plastik dalam keadaan bersih, kering, dan telah dicacah lalu dimasukkan bahan sampah plastik ke dalam reaktor lalu ditutup pintu reaktor hingga kedap udara.
- 2) Dipanaskan tungku pembakaran hingga suhu di dalam reaktor meningkat hingga mencapai 300 – 600°C.
- 3) Dipertahankan suhu pembakaran selama waktu yang ditentukan dengan menggunakan termometer. Reaktor dibuat dengan tahan suhu panas yang tinggi dan tanpa kehadiran oksigen sehingga proses pirolisis dapat berlangsung.
- 4) Dialirkan gas hasil pirolisis yang terbentuk melalui pipa penghubung ke kondensor.
- 5) Didinginkan gas panas di dalam kondensor 1. Pada bagian ini, sebagian besar uap air dan minyak akan mengembun dan terpisah dari gas. Proses ini memisahkan produk cair dari gas yang tidak terpakai.
- 6) Dialirkan gas yang belum sepenuhnya terkondensasi di kondensor 2. Proses pendinginan dilanjutkan untuk menghasilkan lebih banyak minyak dari gas yang tersisa, sehingga meningkatkan efisiensi pemisahan produk.
- 7) Diukur kandungan gas buang yang keluar pada cerobong asap sesuai dengan gas yang diperiksa. Gas buang yang keluar merupakan gas yang tidak dapat terkondensasi.
- 8) Ditunggu proses pirolisis sesuai waktu yang ditentukan lalu dimatikan tungku pembakaran. Selanjutnya, minyak yang telah terkumpul dimasukkan ke dalam botol dan *char* yang dihasilkan dikeluarkan dari reaktor dan disimpan pada wadah kedap udara.

b. Cara Pengambilan dan Pengukuran Sampel

1) Prosedur sampel Gas Buang CO

Pengambilan sampel gas CO dilakukan menggunakan kantong pengumpul (*Tedlar Bag*) atau tabung pengumpul (*glass container, metal container*). Sedangkan proses pengukuran kadar CO menggunakan metode *Non Dispersive InfraRed* (NDIR) yang dilakukan dengan standar yang ditetapkan Kementerian Lingkungan Hidup yaitu

standar SNI 7119.10.2011 Udara Ambien – bagian 10: Cara uji kadar karbon monoksida (CO) menggunakan metode *Non Dispersive InfraRed* (NDIR).

2) Prosedur Sampel Gas Buang NO₂

Pengambilan gas NO₂ dilakukan dengan larutan penjerap dan pengukuran kadar NO₂ menggunakan metode *Griess Saltz* dengan spektrofotometer. Pengukuran dilakukan dengan standar yang ditetapkan Kementerian Lingkungan Hidup yaitu standar SNI 19-71119.1.2005 Udara Ambien – Bagian 2: Cara uji kadar nitrogen dioksida (NO₂).

3) Prosedur Sampel Gas Buang NO_x

Pengambilan gas NO_x dilakukan dengan larutan penjerap menggunakan labu vakum dan pengukuran kadar NO_x dilakukan menggunakan spektrofotometer dengan metode *Phenol Disulphonic Acid* (PDS). Pengukuran dilakukan dengan standar yang ditetapkan Kementerian Lingkungan Hidup yaitu standar SNI 19-71117.5-2005 Emisi Gas Buang Sumber Tidak Bergerak Bagian 5: Cara Uji Oksida-oksida Nitrogen (NO_x).

4) Prosedur Sampel Gas Buang SO₂

Pengambilan gas SO₂ dilakukan menggunakan larutan penjerap dan pengukuran kadar SO₂ dengan metode pararosanilin menggunakan spektrofotometer. Pengukuran dilakukan dengan standar yang ditetapkan Kementerian Lingkungan Hidup yaitu standar SNI 19-71117.2-2005 Udara Ambien Bagian – 7: Cara Uji kadar sulfur dioksida (SO₂).

5) Sampel Produk Padatan (*char*)

Pengambilan produk padat dilakukan setelah reaktor didinginkan. Selanjutnya, produk padat berupa sampah plastik sisa pembakaran yang tertinggal diambil secara manual menggunakan alat bantu yang sesuai. Padatan tersebut kemudian ditampung dalam wadah dan ditimbang menggunakan timbangan duduk untuk mendapatkan data massa yang akurat. Nilai massa padatan dicatat dalam satuan gram sebagai data produk padat hasil pirolisis. Sampel *char* kemudian disimpan di wadah tertutup untuk mencegah kontaminasi dan mempertahankan kualitas sampel.

6) Sampel produk cair

Produk cair hasil kondensasi terkumpul dalam wadah penampungan minyak selama proses pirolisis berlangsung. Setelah alat dingin, sampel cairan diambil dan dipindahkan ke dalam botol tertutup untuk menjaga kualitas dan mencegah penguapan. Pengukuran volume sampel cair dilakukan dengan gelas ukur lalu dicatat dalam satuan mililiter (mL) sebagai data volume produk cair. Pengukuran volume sampel cair dilakukan di Laboratorium Kimia Biofisik Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin.

2.5 Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengumpulan data secara primer dan data secara sekunder. Adapun pengumpulan datanya adalah sebagai berikut:

2.5.1 Data Primer

Data primer pada penelitian ini diperoleh melalui pengukuran berbagai parameter selama proses pirolisis berlangsung dalam durasi empat jam. Parameter yang diukur meliputi emisi gas buang (CO , NO_2 , NO_x , SO_2), produk padatan (*char*), dan produk cair yang dihasilkan dari proses pirolisis 500 gram sampah plastik LDPE. Pengambilan dan analisis sampel gas buang dilakukan oleh petugas Balai Besar Laboratorium Kesehatan Masyarakat (BLKM) Makassar untuk memastikan akurasi hasil pengukuran dengan total sampel gas buang sebanyak 16 sampel. Data padatan diperoleh dengan membandingkan massa sampah plastik LDPE sebelum proses pirolisis dengan berat residu yang tersisa setelah proses pirolisis. Sementara itu, volume produk cair yang dihasilkan setelah proses pirolisis sampah plastik LDPE juga dicatat sebagai bagian dari data primer penelitian.

2.5.2 Data Sekunder

Data sekunder pada penelitian ini diperoleh dari penelusuran literatur, jurnal, dan artikel melalui internet serta buku yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan. Referensi yang digunakan didasarkan pada relevansi dan kredibilitas untuk mendukung analisis variabel dalam penelitian.

2.6 Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan dan analisis data pada penelitian ini menggunakan statistik deskriptif. Analisis deskriptif merupakan analisis yang dilakukan untuk menilai karakteristik dari sebuah data. Metode analisis ini akan menggambarkan dan mendeskripsikan data yang diperoleh dari hasil penelitian tanpa melakukan generalisasi atau penarikan kesimpulan yang lebih luar. Pengolahan dan analisis data secara deskriptif akan menyajikan data dalam bentuk yang mudah dipahami secara sistematis (Iba & Wardhana, 2023).

2.7 Penyajian Data

Data yang telah diperoleh dari hasil pemeriksaan disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan gambar disertai dengan interpretasi dari informasi yang ada di dalam tabel. Penyajian data dilakukan untuk menyampaikan informasi yang diperoleh dari hasil analisis data dengan cara yang jelas, sistematis, dan mudah dipahami.