

## **TUGAS AKHIR**

**PEMANFAATAN LIMBAH *TRIMMING OUTSOLE* SANDAL**

**GUNUNG MENJADI BAHAN BAKAR MINYAK MELALUI**

**PROSES PIROLISIS**



Disusun Oleh:

**SRI ANUGRA LESTARI**

**2103007**

**KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI  
BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA INDUSTRI  
POLITEKNIK ATK YOGYAKARTA**

**2024**

LEMBAR PENGESAHAN

PEMANFAATAN LIMBAH *TRIMMING OUTSOLE* SANDAL GUNUNG  
MENJADI BAHAN BAKAR MINYAK MELALUI PROSES PIROLISIS

Dissusun Oleh :  
**SRI ANUGRA LESTARI**  
2103007

Program Studi Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik  
Dosen Pembimbing

  
Wahyu Ramaningih, S.Si., M.T  
NIP. 199506192022022001

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir dan dinyatakan memenuhi  
sahab satu syarat yang diperlukan untuk mendapatkan Derajat Ahli Madya Diploma

III (D3) Politeknik ATK Yogyakarta

Hari/Tanggal : Senin, 15 Juli 2024

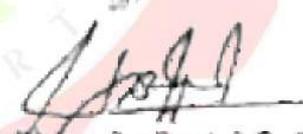
TIM PENGUJI

Ketua,

  
Diana Ross Arief, M.A.  
NIP. 198612312014022001

Anggota,

  
Wahyu Ramaningih, S.Si., M.T  
NIP. 199506192022022001

  
Muh. Wahyu Syahbani, S.T., M.Eng  
NIP. 198206062008041003

Yogyakarta, 25 Juli 2024  
Dekan Politeknik ATK Yogyakarta

  
Wahyu Ramaningih, S.Kom., M.Si  
NIP. 197904232002122003

## PERSEMBAHAN

Puji syukur dihaturkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan karunia-Nya, sehingga penulisan ini dapat selesai dengan baik dan tepat. Dengan rasa bangga, karya ini penulis persembahkan kepada:

1. Sri Anugra Lestari, diri sendiri yang selalu kuat dan tetap semangat untuk selalu belajar lebih baik.
2. Kedua orang tua, Bapak Sanimin dan Ibu Nurhayati yang selalu memberikan dukungan biaya, moral, doa, dan motivasi.
3. Kakak dan adik yang selalu mendukung, memberikan semangat dan motivasi selama penulis melakukan studi.
4. Ibu Wahyu Ratnaningsih, S.Si., M.T., selaku Dosen Pembimbing tugas akhir. Terima kasih atas segala bimbingan, saran, masukan, dan ilmu yang telah diberikan sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai tepat waktu.
5. Rekan dan teman mahasiswa Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik Angkatan 2021 yang telah turut membantu berkontribusi.

## KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, karena atas karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Tugas Akhir ini dibuat untuk memenuhi syarat dalam menyelesaikan pendidikan Diploma (III) pada jurusan Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik di Politeknik ATK Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, tentu tak lepas dari pengarahan dan bimbingan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan rasa hormat dan terima kasih kepada:

1. Ibu Wulan Aprilianti Permatasari, S.Kom., M.Si selaku Plt. Direktur Politeknik ATK Yogyakarta.
2. Bapak Suharyanto, S.T. M.T., selaku Kepala Program Studi Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik.
3. Wahyu Ratnaningsih, S.Si., M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
4. Pimpinan dan karyawan PT. X yang telah memberikan bimbingan selama kegiatan praktek kerja industri.
5. Seluruh pihak yang memberikan semangat selama penulisan Tugas Akhir.

Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat, memberikan ilmu baru kepada para pembaca, dan menjadi referensi bagi pengembangan ilmu pengetahuan terutama di bidang pengolahan limbah *outsole*.

Yogyakarta, 15 Juli 2024

Penulis

## MOTTO

Kami mewasiatkan kepada manusia (agar berbuat baik) kepada kedua orang tuanya. Ibunya telah mengandungnya dalam keadaan lemah yang bertambah-tambah dan menyapihnya dalam dua tahun. (Wasiat Kami). “Bersyukurlah kepada-Ku dan kepada kedua orang tuamu. Hanya kepada-Ku (kamu) kembali”

*(Q.S Luqman: 14)*

“Jangan pernah merendahkan orang lain, apapun latar belakangnya. Jika kamu berani merendahkan orang lain, maka orang pertama yang kamu rendahkan itu adalah Ayah”

-Ayah-

“Berusahalah untuk tidak menyakiti orang lain, jadilah pengaruh baik untuk sekitarmu”

-Ibu-

Level tertinggi mencintai adalah mencintai Sang Maha Cinta itu sendiri

-ai-

Hal paling tersulit adalah mengendalikan diri sendiri. Jika ia mampu, segalanya akan tunduk padanya

-ai-

## DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR.....	i
PENGESAHAN.....	ii
PERSEMBAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
MOTTO.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
DAFTAR ISTILAH.....	xi
INTISARI.....	xii
<i>ABSTRACT</i> .....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	4
C. Tujuan Tugas Akhir.....	4
D. Manfaat Tugas Akhir.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
A. Limbah <i>Treamming Outsole</i> .....	6
B. Pirolisis.....	8
C. Bahan Bakar.....	11
D. Karakterisasi Minyak Pirolisis.....	12
1. Viskositas.....	12
2. Densitas.....	13
3. Nilai Kalor.....	14
4. <i>Flashpoint</i> .....	15

5. FTIR.....	15
6. Rendemen.....	16
BAB III MATERI DAN METODE.....	17
A. Lokasi dan Waktu.....	17
B. Metode Pengambilan Data.....	17
C. Materi Tugas Akhir.....	18
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	23
A. Karakterisasi Awal Limbah <i>Trimming Outsole</i> .....	23
B. Pengaruh Variasi Suhu Terhadap Rendemen.....	28
C. Pengaruh Variasi Suhu Terhadap Minyak Hasil Pirolisis.....	28
1. Pengaruh Variasi Suhu Terhadap Viskositas.....	29
2. Pengaruh Variasi Suhu Terhadap Densitas.....	32
3. Pengaruh Variasi Suhu Terhadap Nilai Kalor.....	34
4. Pengaruh Variasi Suhu Terhadap <i>Flashpoint</i> .....	36
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	39
A. Kesimpulan.....	39
B. Saran.....	39
DAFTAR PUSTAKA.....	40
LAMPIRAN.....	45

## DAFTAR TABEL

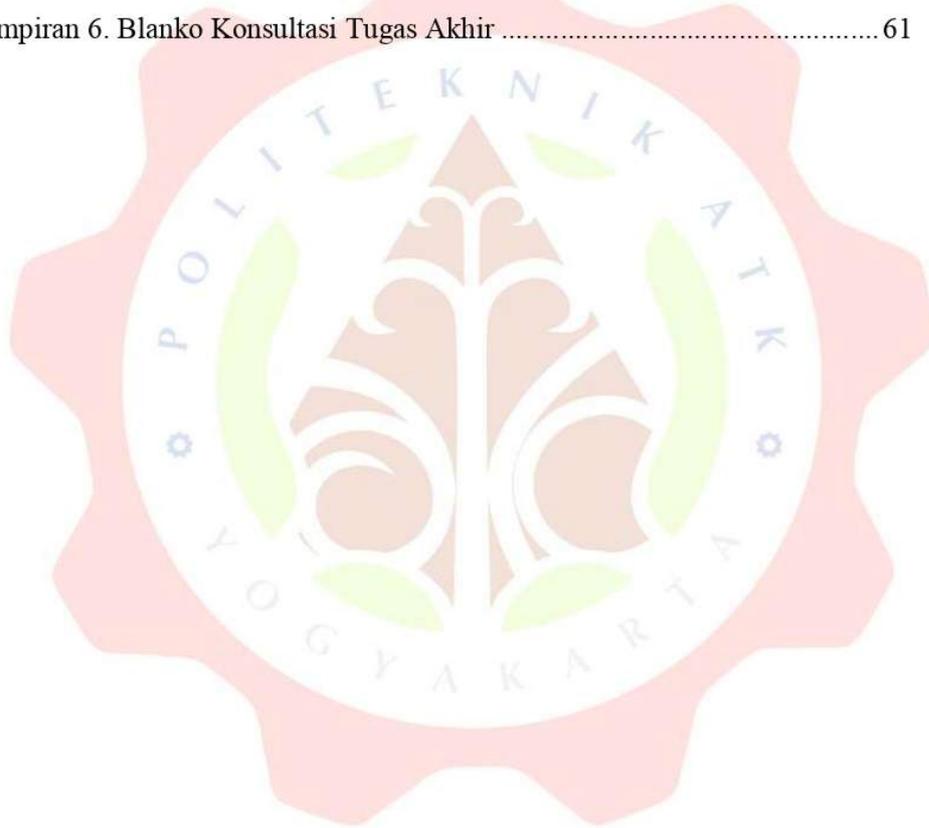
Tabel 2.1 Jenis Aditif/ <i>Filler</i> dalam <i>Outsole</i> .....	7
Tabel 2.2 Standar Parameter Bahan Bakar Minyak.....	12
Tabel 4.1 Rendemen Hasil Pirolisis.....	27
Tabel 4.2 Laju Minyak Pirolisis Limbah <i>Trimming Outsole</i> .....	28
Tabel 4.3 Identifikasi Gugus Fungsi Limbah <i>Trimming Outsole</i> .....	29
Tabel 4.4 Identifikasi Gugus Fungsi Minyak Pirolisis.....	30
Tabel 4.5 Perbandingan Viskositas.....	33
Tabel 4.6 Perbandingan Densitas.....	34
Tabel 4.7 Perbandingan Nilai Kalor.....	36
Tabel 4.8 Perbandingan Nilai <i>Flashpoint</i> .....	38

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bagian <i>Outsole</i> dan Limbah <i>Trimming Outsole</i> .....	6
Gambar 2.2 Jalur Reaksi Pirolisis Primer .....	8
Gambar 2.3 Reaksi Pembentukan Karbon .....	9
Gambar 2.4 Depolimerisasi Struktur EVA .....	10
Gambar 2.5 Fragmentasi Struktur EVA.....	10
Gambar 3.1 Diagram Alir Proses .....	18
Gambar 4.1 Hasil Minyak Pirolisis Limbah <i>Trimming Outsole</i> .....	24
Gambar 4.2 Pengaruh Suhu Terhadap Viskositas.....	31
Gambar 4.3 Formula Struktur PAH .....	32
Gambar 4.4 Pengaruh Suhu Terhadap Densitas.....	33
Gambar 4.5 Pengaruh Suhu Terhadap Nilai Kalor .....	35
Gambar 4.6 Pengaruh Suhu Terhadap <i>Flashpoint</i> .....	37

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Perhitungan Karakteristik Minyak Pirolisis .....	46
Lampiran 2. Hasil Pengujian FTIR.....	48
Lampiran 3. Form Penilaian Magang.....	50
Lampiran 4. Surat Keterangan Selesai Magang.....	51
Lampiran 5. Lembar Kerja Harian Magang.....	52
Lampiran 6. Blanko Konsultasi Tugas Akhir .....	61



## DAFTAR ISTILAH

Pirolisis	: Proses dekomposisi suatu bahan pada suhu tinggi yang berlangsung tanpa adanya udara atau dengan udara terbatas.
Dekomposisi	: Pemisahan suatu senyawa kimia menjadi dua atau beberapa bagian atau menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana.
<i>Ethylene Vinyl Acetate (EVA)</i>	: Material plastik yang berasal dari vinil asetat dan kopolimer etilena.
<i>Polyurethan (PU)</i>	: Polimer yang terdiri dari rantai organik, lalu dihubungkan oleh tautan uretena atau karbamat.
<i>Fourier Transform Infrared</i>	: Instrumen spektroskopi yang digunakan untuk menganalisis senyawa kimia organik dan mengidentifikasi gugus-gugus fungsional menggunakan radiasi sinar inframerah.
<i>Thermoplastic Rubber (TPR)</i>	: Campuran bahan karet dan plastik yang dicetak dengan pemanasan.
<i>Polyvinyl Chloride (PVC)</i>	: Material plastik yang umum digunakan dalam pembuatan outsole karena sifatnya yang tahan aus, tahan air, ringan serta memberikan kemampuan molding yang baik, memungkinkan pembuatan desain outsole yang beragam.

## INTISARI

Limbah *trimming outsole* adalah jenis limbah padat yang dihasilkan dari proses pemangkasan atau pemotongan bagian *outsole* yang berupa potongan karet, plastik, atau bahan lainnya. Limbah *trimming outsole* sandal gunung yang tidak diolah akan berakhir di pembuangan sampah, sehingga dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan alternatif pengolahan limbah menggunakan metode pirolisis menjadi bahan bakar minyak. Tujuan percobaan yaitu untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap rendemen minyak pirolisis, viskositas, densitas, nilai kalor, dan *flashpoint*. Limbah *trimming outsole* dipirolisis dengan variasi suhu yaitu 500°C, 550°C, dan 600°C sampai menghasilkan bahan bakar minyak. Pirolisis pada variasi suhu 500°C, 550°C, dan 600°C menghasilkan rendemen minyak sebesar 32,90%, 44,41%; 39,57%. Suhu optimum pirolisis limbah *trimming outsole* diperoleh pada suhu 550°C dengan rendemen minyak sebesar 44%. Hasil karakterisasi minyak pirolisis pada variasi suhu 500°C, 550°C, dan 600°C berturut-turut diperoleh nilai viskositas sebesar 23,3; 24; 25,8cp; nilai densitas sebesar 0,775; 0,778; 0,78 g/ml; nilai kalor sebesar 9.163; 9.202; 9.252 kal/g; dan nilai *flashpoint* sebesar 145,5; 149,5; 154,5°C. Hasil karakterisasi tersebut menunjukkan semakin tinggi suhu pirolisis, maka semakin tinggi nilai karakterisasi yang dihasilkan. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh minyak pirolisis pada suhu 500°C dan 550°C memenuhi standar dan spesifikasi minyak jenis diesel No.1449K/14/DJM/2008.

Kata kunci: Limbah *Trimming Outsole*, Rendemen Minyak, Karakterisasi Minyak Pirolisis

## **ABSTRACT**

*Outsole trimming waste is a type of solid waste that results from the process of trimming or cutting parts of the outsole in the form of pieces of rubber, plastic or other materials. Unprocessed hiking sandal outsole trimming waste will end up in landfills, which can cause environmental pollution. Therefore, an alternative waste processing method using the pyrolysis method into fuel oil is needed. The aim of the experiment is to determine the effect of temperature on pyrolysis oil yield, viscosity, density, heating value and flashpoint. Outsole trimming waste was pyrolyzed at varying temperatures, namely 500°C, 550°C and 600°C to produce fuel oil. Pyrolysis at temperature variations of 500°C, 550°C, and 600°C produced oil yields of 32.90%, 44.41%; 39.57%. The optimum temperature for pyrolysis of outsole trimming waste was obtained at 550°C with an oil yield of 44%. The results of pyrolysis oil characterization at temperature variations of 500°C, 550°C, and 600°C respectively obtained a viscosity value of 23.3; 24; 25.8cp; density value of 0.775; 0.778; 0.78 g/ml; calorific value of 9,163; 9,202; 9,252 cal/g; and flashpoint value of 145.5; 149.5; 154.5°C. The characterization results showed that the higher the pyrolysis temperature, the higher the resulting characterization value. Based on the research results, it was found that pyrolysis oil at temperatures of 500°C and 550°C meets the standards and specifications for diesel oil No.1449K/14/DJM/2008.*

*Keywords: Outsole Trimming Waste, Oil Yield, Pyrolysis Oil Characterization*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Seiring meningkatnya jumlah pendaki gunung setiap tahunnya, penggunaan sandal gunung semakin populer (Pratama, 2021). Saat ini, sandal gunung tidak hanya digunakan untuk aktivitas mendaki. Tetapi, penggunaannya juga populer dalam aktivitas sehari-hari seperti jalan-jalan di tengah kota, ke *mall*, bahkan ke pantai. Sandal gunung memiliki karakteristik *sole* ringan, anti slip dan juga tebal sehingga memberikan kenyamanan dan kemudahan bagi penggunanya (Triwibowo et al., 2018).

Proses pembuatan sandal gunung terdiri atas desain, pemilihan bahan, pola, pemotongan, penggabungan dan *finishing* (Hess, 2020). Pada pemilihan bahan *outsole*, sandal gunung umumnya terbuat dari *Ethylene Vinyl Acetate* (Selanjutnya disebut EVA) dan *Polyurethane* (Selanjutnya disebut PU) yang digunakan sebagai bantalan dalam menyerap benturan (Lopes et al., 2015). Bahan kimia EVA dan PU merupakan bahan plastik *thermoset* sehingga setelah mengalami proses vulkanisasi akan menghadirkan ikatan silang yang permanen dan sulit untuk terurai sempurna (Junior et al., 2022). Pada tahap pemotongan terdapat tahapan berupa *trimming outsole*. *Trimming outsole* merupakan tahap pemotongan material *outsole* untuk mendapatkan ukuran akhir sandal yang dibutuhkan, sehingga menyisakan bagian yang tidak berguna dan menjadi limbah (Patel et al., 2021).

Hasil observasi di PT.X Jawa Barat ditemukan limbah yang sudah tidak digunakan lagi dari pembuatan sandal gunung seperti limbah *sole* dan *upper*. Limbah yang tidak dikelola dan berakhir di pembuangan sampah dapat menambah jumlah volume penumpukan limbah plastik. Berdasarkan Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) timbulan sampah di Indonesia telah mencapai 22,7 juta ton/ 4.444ton pada tahun 2021, dimana sampah plastik menyumbang 15,5% atau setara dengan hingga 3,4 juta ton. Limbah plastik yang memiliki kemampuan biodegradasi rendah dapat bertahan di lingkungan selama ratusan tahun sehingga menyebabkan kerusakan ekosistem (Siddiqui, 2024).

Dalam menjaga ekosistem lingkungan terdapat beberapa metode pengolahan limbah seperti pembakaran, *landfilling*, *open dumping* dan daur ulang. Salah satu metode yaitu pembakaran kurang tepat dilakukan karena dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan seperti pencemaran udara (Ismail, 2019). Metode lain seperti *landfilling* dan *open dumping*, juga kurang cocok diterapkan mengingat sifat limbah *trimming outsole* yang sulit terurai (Azis, et al., 2021). Selain itu juga, metode daur ulang hanya mengubah limbah menjadi bentuk baru, namun tidak mengurangi volume limbah, sehingga setelah produk daur ulang tidak digunakan lagi maka akan menjadi limbah kembali (Wahyudi, et al., 2018). Oleh karena itu, diperlukan metode lain untuk mengurangi penumpukan limbah plastik salah satunya melalui metode pirolisis

Pirolisis merupakan metode dekomposisi bahan organik melalui pemanasan pada suhu tinggi dalam kondisi anoksik (tanpa oksigen). Proses ini

memecah molekul-molekul besar menjadi molekul-molekul yang lebih kecil, menghasilkan produk utama berupa gas, cairan minyak dan padatan (*char*) (Liu, 2020). Pirolisis plastik menghasilkan bahan bakar cair yang dapat digunakan sebagai alternatif bahan bakar fosil, membantu mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional. Pirolisis tidak hanya mengurangi volume limbah tetapi juga menghasilkan produk yang bermanfaat (Singh dan Ruj, 2016). Warga Kalurahan Sumbermulyo, Kabupaten Bantul, Yogyakarta menggunakan metode pirolisis untuk mengolah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak (Yuwono dan Ardi, 2022). Oleh karena itu, diharapkan dengan metode pirolisis dapat menjadi solusi potensial untuk masalah limbah *outsole* dan sumber energi alternatif yang berkelanjutan.

Limbah *outsole* masih sering tidak dimanfaatkan secara optimal dan berakhir di tempat pembuangan akhir (Nurhajati, 2008). Oleh karena itu, penulis melakukan pemanfaatan limbah *trimming outsole* melalui metode pirolisis cepat untuk menghasilkan bahan bakar sebagai sumber energi yang berguna. Pirolisis lambat dilakukan pada suhu antara 350°C dan 500°C, sedangkan pirolisis cepat dilakukan pada suhu 500–700°C (Duman, 2021). Pirolisis cepat menghasilkan minyak lebih banyak dengan waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan pirolisis lambat (Bridgwater, 2012). Percobaan dilakukan menggunakan pirolisis cepat dengan variasi suhu 500°C, 550°C, dan 600°C. Variasi suhu pirolisis akan menghasilkan karakterisasi minyak yang berbeda-beda. Peningkatan suhu dapat

mempengaruhi perubahan dalam komposisi kimia, viskositas, hingga meningkatkan jumlah minyak pirolisis (Mohan et al., 2016).

Pengujian karakterisasi minyak pirolisis dilakukan untuk memahami sifat fisik dan kimia dari minyak pirolisis sebagai bahan bakar atau bahan kimia (Bridgwater, 2012). Oleh karena itu, dilakukan karakterisasi berupa uji viskositas, densitas, nilai kalor dan *flashpoint* (nyala api), sehingga dapat diketahui karakter minyak pirolisis dari limbah *trimming outsole*.

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang maka dapat diperoleh rumusan permasalahan sebagai berikut:

- a. Bagaimana pengaruh variasi suhu pirolisis limbah *trimming outsole* terhadap rendemen minyak yang dihasilkan?
- b. Bagaimana pengaruh variasi suhu pirolisis limbah *trimming outsole* terhadap karakteristik minyak yang dihasilkan?
- c. Bagaimana karakteristik minyak pirolisis *limbah trimming outsole* berdasarkan standar bahan bakar minyak?

## **C. Tujuan Tugas Akhir**

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir adalah sebagai berikut :

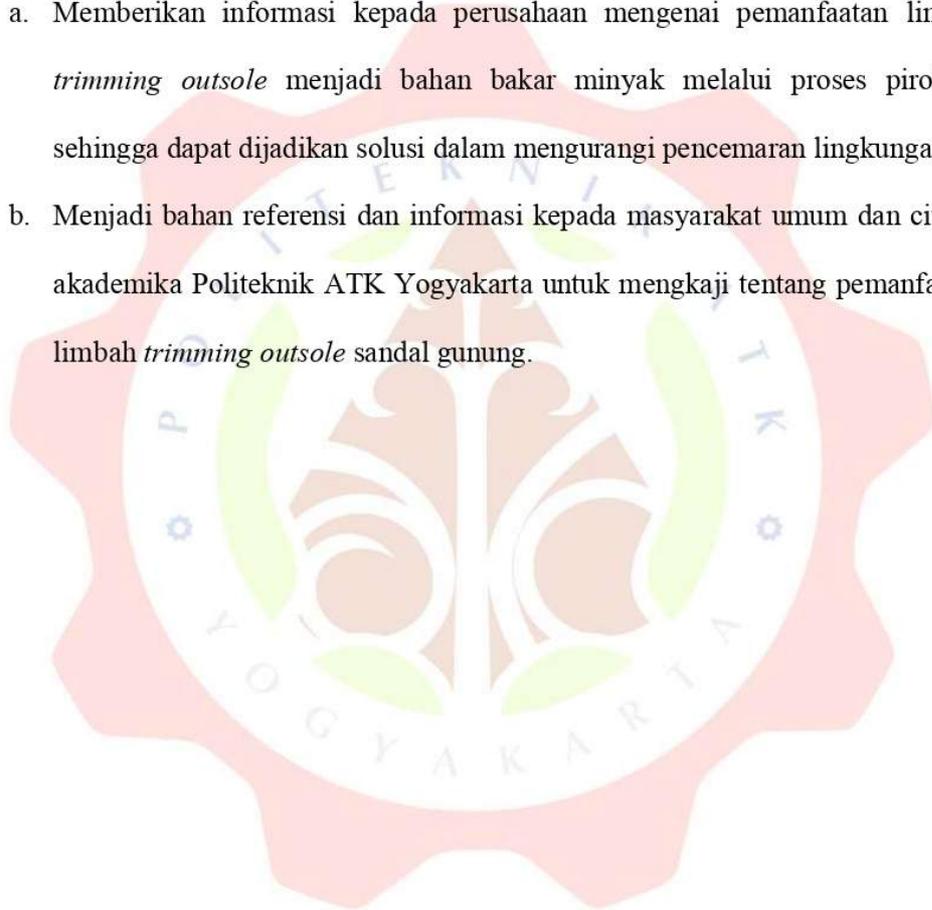
- a. Mengetahui pengaruh variasi suhu terhadap rendemen hasil pirolisis limbah *trimming outsole*.
- b. Mengetahui pengaruh variasi suhu terhadap karakteristik minyak hasil pirolisis limbah *trimming outsole*.

- c. Menentukan karakteristik minyak pirolisis limbah *trimming outsole* berdasarkan standar bahan bakar minyak.

#### **D. Manfaat Tugas Akhir**

Adapun manfaat dari penulisan tugas akhir adalah sebagai berikut :

- a. Memberikan informasi kepada perusahaan mengenai pemanfaatan limbah *trimming outsole* menjadi bahan bakar minyak melalui proses pirolisis, sehingga dapat dijadikan solusi dalam mengurangi pencemaran lingkungan.
- b. Menjadi bahan referensi dan informasi kepada masyarakat umum dan civitas akademika Politeknik ATK Yogyakarta untuk mengkaji tentang pemanfaatan limbah *trimming outsole* sandal gunung.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Limbah *Trimming Outsole*

*Trimming outsole* merupakan proses pemotongan material *outsole* untuk mendapatkan ukuran akhir yang dibutuhkan sehingga menyisakan bagian yang tidak berguna (Sari et al., 2017). Limbah *trimming outsole* adalah jenis limbah *trimming outsole* padat yang dihasilkan dari proses pemangkasan atau pemotongan bagian *outsole* selama pembuatan sandal atau sepatu.



Gambar 2.1 Bagian *Outsole* dan Limbah *Trimming Outsole*  
(Dok. pribadi)

Berdasarkan data dari PT. X tahun 2023, pembelian bahan baku *outsole* sekitar 10.000 lembar. Ukuran tiap lembarannya 110 cm x 200 cm, dan setiap lembar *outsole* dapat menghasilkan sekitar 23 pasang bagian *insole* dan *middle sole*. Berdasarkan data dari PT. X diketahui jika tiap lembar memiliki berat sekitar 3 kg, dan sisa potongan yang tidak terpakai sekitar 500 g. Jadi, limbah *trimming outsole* yang dihasilkan mencapai hingga 5 ton per tahunnya.

Pada umumnya, lembaran *outsole* terbuat dari bahan baku seperti karet (*Rubber*), EVA (*Ethylene Vinyl Acetate*), PU (*Polyurethane*), TPR (*Thermoplastic Rubber*), PVC (*Polyvinyl Chloride*) (Djarmiko dan Arif, 2013). Material tersebut diproses dengan material pendukung lainnya seperti bahan aditif dan *filler*. Contoh jenis aditif dan *filler* yang digunakan dalam pembuatan *outsole* ditunjukkan pada Tabel 2.1.

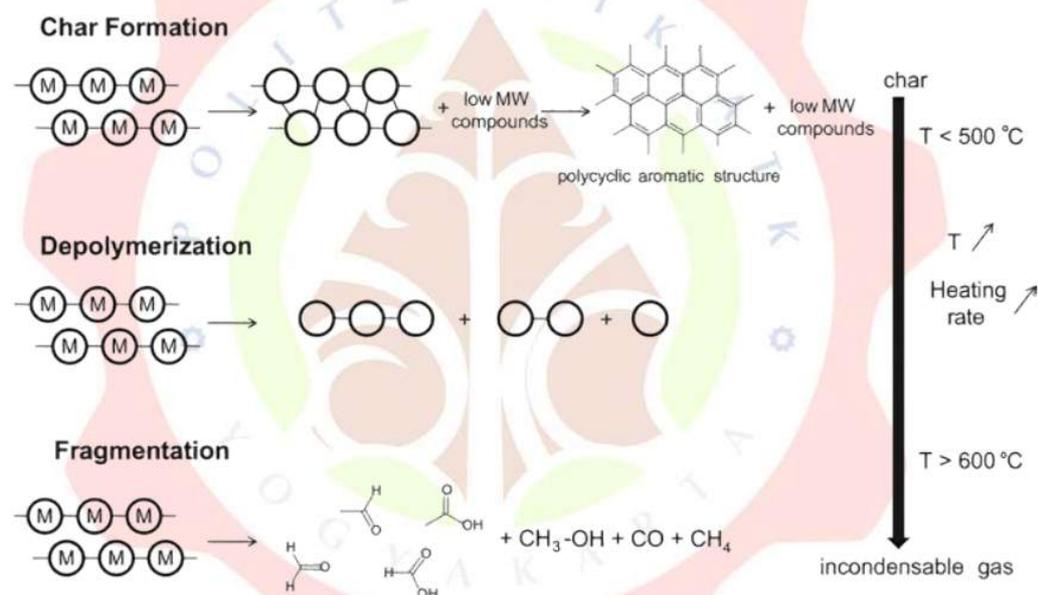
Tabel 2.1 Jenis Aditif/ *filler* dalam *Outsole* (Rodgers, 2020).

Jenis Aditif/ <i>filler</i>	Komposisi	Fungsi
<i>Filler</i>	<i>CaCO<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Carbon black, ZnO, Aluminium silicate</i>	Meningkatkan ketahanan abrasi
<i>Antioxidants</i>	<i>TMQ (Trimethyl dihydroquinoline)</i>	Mencegah degradasi
<i>Plastisizer</i>	<i>DIN (Diisononyl Phthalate), TOTM (Trioctyl Trimellitate)</i>	Meningkatkan fleksibilitas dan elastisitas
<i>UV Stabilizer</i>	<i>Benzotriazoles, Benzophenones</i>	Melindungi dari kerusakan akibat sinar UV
<i>Colorants</i>	Pigmen pewarna	Memberikan warna pada <i>outsole</i>
<i>Processing Aids</i>	<i>Stearic acid, Zinc stearate, Calcium stearate, Aromatic oil</i>	Mempermudah proses dispersi

Tabel 2.1 menunjukkan beberapa contoh jenis aditif dan *filler* dalam pembuatan *outsole* beserta fungsinya. Untuk komposisi *outsole* penggunaan jenis aditif dan *filler* sekitar 10-20% dan bahan baku 60-80% (Bekhta, et al., 2018).

## B. Pirolisis

Pirolisis adalah proses dekomposisi suatu bahan pada temperatur tinggi tanpa adanya oksigen yang terkonversi menjadi minyak, gas dan arang (Miandad et al., 2016). Arang yang terbentuk dapat digunakan sebagai karbon aktif. Sedangkan minyak yang dihasilkan dapat digunakan sebagai zat aditif atau campuran dalam bahan bakar (Galante dan Bannet, 2012). Proses terjadinya reaksi pirolisis polimer primer dapat dilihat pada Gambar 2.2.

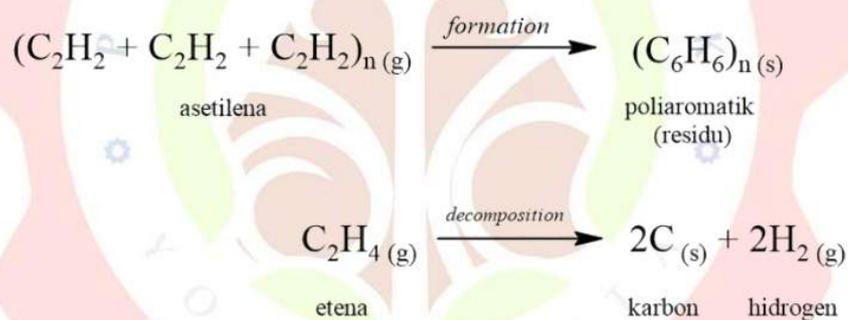


Gambar 2.2 Jalur Reaksi Pirolisis Primer  
(M; monomer; MW: *molecular weight*) Sumber: Collard dan Blin (2014)

Berdasarkan Gambar 2.2 jalur reaksi pirolisis primer terjadi melalui tiga tahap yang dijelaskan pada halaman selanjutnya (Collard dan Blin, 2014).

- Pembentukan karbon

Pembentukan karbon terdiri dari konversi massa menjadi residu padat yang disebut arang, yang menghasilkan struktur aromatik polisiklik. Reaksi pembentukan karbon biasanya dihasilkan oleh reaksi reformasi antar molekul dan intramolekul yang mengarah ke jaringan yang lebih besar dan stabilitas termal yang tinggi dari residu. Langkah utama dalam reaksi adalah pembentukan gugus benzena dan penambahan gugus struktur polisiklik. Semua reaksi depolimerisasi biasanya disertai dengan pembentukan air atau gas yang tidak dapat terkondensasi.



Gambar 2.3 Reaksi Pembentukan Karbon

- Depolimerisasi

Depolimerisasi terdiri dari pemutusan ikatan antar monomer polimer. Setelah setiap pemutusan, dua rantai stabil baru akan dibuat. Depolimerisasi menyebabkan penurunan derajat polimerisasi rantai hingga terbentuknya zat berupa minyak yang mudah menguap.



### 1. Ukuran partikel

Apabila ukuran partikel meningkat maka hasil dari padatan akan meningkat pula sedangkan hasil dari volatil dan gas akan menurun. Konsentrasi dari volatil dan gas meningkat sampai dengan nilai tertentu dan kemudian menurun sesuai dengan kenaikan ukuran partikel. Seiring dengan kenaikan ukuran partikel maka waktu yang dibutuhkan untuk proses pirolisis pada temperatur tertentu juga akan meningkat (Chaurisia dan Babu, 2005).

### 2. Laju pemanasan

Menurut Besler dan William (2016), ketika laju pemanasan dinaikkan maka padatan pada proses pirolisis akan menurun. Ketika laju pemanasan meningkat maka gas CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CH<sub>3</sub> akan meningkat. Hal tersebut menunjukkan bahwa laju pemanasan yang lebih tinggi akan melepaskan gas hidrokarbon, begitupula dengan minyak akan meningkat seiring dengan kenaikan laju pemanasan.

### 3. Temperatur

Temperatur merupakan faktor yang penting dalam menghasilkan produk pada proses pirolisis. Pada temperatur yang lebih tinggi maka hasil gas yang dihasilkan semakin banyak. Hasil minyak akan meningkat sampai batas tertentu kemudian menurun, sedangkan hasil padatan cenderung rendah. Semakin tinggi temperatur nilai kalor untuk hasil gas akan meningkat, namun untuk hasil padatan cenderung konstan (Udyani, 2018).

#### 4. Bahan

Aydinli dan Caglar (2010), telah membandingkan bahan campuran kulit kemiri dengan polietilena oksida dan campuran kulit kemiri dengan polietilena yang berat molekulnya tinggi menghasilkan adanya perbedaan interaksi dan hasil pirolisis. Hasilnya diketahui terjadi peningkatan jumlah minyak dan padatan yang lebih banyak pada campuran kulit kemiri dengan polietilena oksida.

#### 5. Waktu tinggal padatan

Waktu tinggal padatan mempengaruhi jumlah hasil dari pirolisis karena semakin lama bahan didalam reaktor maka padatan akan semakin terkomposisi menjadi minyak dan gas (Udyani, 2018).

### C. Bahan Bakar

Bahan bakar cair adalah kombinasi senyawa hidrokarbon yang diperoleh secara alami atau buatan. Bahan bakar cair umumnya terbuat dari minyak bumi. Minyak bumi merupakan campuran alami hidrokarbon cair dan sejumlah kecil sulfur, nitrogen, oksigen, serta sejumlah kecil logam dan mineral (Wiratmaja, 2010). Beberapa jenis bahan bakar mengandung bahan kimia beracun dan mudah terbakar sehingga harus ditangani dengan hati-hati (Adeo, 2020). Penggunaan bahan bakar yang tidak sesuai dapat menyebabkan kerusakan terhadap sistem operasi mesin dan berdampak pada pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengetahui perbedaan sifat dari tiap jenis minyak bahan bakar. Adapun standar contoh bahan bakar minyak dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Standar Parameter Bahan Bakar Minyak

Parameter	Satuan	Minyak Diesel	Minyak Tanah
		(Kepdirjen Minyak dan Gas Bumi No.1449K/14/DJM/2008)	(Kepdirjen Minyak dan Gas Bumi No.119K/18/DJM/2020)
Viskositas	cp	Maks. 24	10-20
Densitas	g/ml	Maks. 0,9	Maks. 0,83
Nilai Kalor	kal/g	-	10.000
<i>Flashpoint</i>	°C	Min. 60	Min. 38

#### D. Karakterisasi Minyak Pirolisis

Karakterisasi minyak pirolisis umumnya meliputi, yaitu viskositas, densitas, nilai kalor dan *flashpoint* (titik nyala).

##### 1. Viskositas

Viskositas adalah ukuran resistensi suatu cairan terhadap aliran atau deformasi. Viskositas adalah sifat fisik yang mengukur seberapa mudah suatu cairan mengalir. Viskositas penting dalam berbagai aplikasi industri karena mempengaruhi pemompaan, pencampuran, dan penanganan cairan. Dalam konteks pirolisis, viskositas bio-oil adalah parameter penting yang mempengaruhi pemrosesan lebih lanjut dan aplikasi dari produk cair yang dihasilkan (Oasmaa, 2020)

Perhitungan nilai viskositas dapat dilakukan menggunakan persamaan 1.

$$\eta = k \times \rho \text{ sampel} \times t \text{ sampel} \dots \dots \dots (1)$$

dimana:

$\eta$  adalah viskositas sampel minyak (cp)

k adalah konstanta viskometer (*poise*)

$\rho_{\text{sampel}}$  adalah densitas sampel minyak(g/ml)

$t_{\text{sampel}}$  adalah waktu aliran sampel minyak(detik).

## 2. Densitas

Salah satu sifat bahan bakar yang paling penting untuk dianalisis adalah densitasnya. Sifat tersebut berkaitan erat dengan perhitungan faktor konversi satuan dan kandungan energi dalam bahan bakar. Densitas atau massa jenis adalah pengukuran massa setiap satuan volume dengan menggunakan satuan kg/L atau g/ml. Densitas suatu zat berkaitan dengan tekanan dan temperatur cairan (Prianto, 2018). Umumnya massa jenis diesel adalah 0,87-0,9 g/ml pada suhu 15 °C, lebih tinggi dibandingkan dengan minyak solar yaitu 0,82-0,84 g/ml (Alptekin, 2008; Hoekman et al., 2012).

Rumus untuk menghitung densitas ditunjukkan pada persamaan 2.

$$\rho = m/V \dots\dots\dots (2)$$

keterangan:

$\rho$  (rho) adalah densitas (g/ml)

m adalah massa (g)

V adalah volume (ml)

## 3. Nilai Kalor

Nilai kalor merupakan nilai yang menunjukkan banyaknya panas yang dihasilkan pada proses pembakaran bahan bakar dan udara. Nilai kalor dapat diketahui dengan mengukur dengan alat bom kalormeter (Demirbas, 2004).

Analisis nilai kalor suatu bahan bakar bertujuan untuk memperoleh data tentang energi kalor yang dapat dibebaskan oleh suatu bahan bakar dengan terjadinya reaksi atau proses pembakaran (Tjokrowisastro, 2020).

Penghitungan nilai kalor dapat menggunakan rumus persamaan 3.

$$Q = (C_p \times \Delta T) \times W \dots \dots \dots (3)$$

keterangan:

Q adalah nilai kalor (kalormeter)

C<sub>p</sub> adalah kapasitas panas spesifik air (kal/g)

ΔT adalah perubahan suhu air (°C)

W adalah berat sampel minyak (g)

#### 4. *Flashpoint*

Nilai *flashpoint* menunjukkan suhu terendah di mana minyak akan langsung terbakar ketika permukaan zat yang mudah terbakar didekatkan ke nyala api. *Flashpoint* diperlukan sehubungan dengan keselamatan terhadap kebakaran (*safety*) pada saat menyimpan dan mengangkut bahan bakar minyak (Anonim, 2011). Metode penentuan *flashpoint* umumnya dibagi menjadi dua kategori yaitu:

- 1) Metode Tertutup digunakan dengan alat seperti *Pensky-Martens Closed Cup Tester*. Metode tertutup lebih akurat karena mengurangi kehilangan uap ke lingkungan (ASTM-D93)

2) Metode Terbuka dilakukan dengan alat seperti *Cleveland Open Cup Tester*. Metode terbuka lebih realistis dalam menggambarkan kondisi sebenarnya namun cenderung menghasilkan nilai *flashpoint* yang lebih tinggi karena paparan uap ke udara (ASTM-D92).

#### 5. FTIR

*Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (Selanjutnya disebut FTIR) adalah teknik spektroskopi yang digunakan untuk mendapatkan spektrum inframerah dari penyerapan atau emisi suatu sampel padat, cair, atau gas. FTIR digunakan untuk mengidentifikasi bahan kimia dan menganalisis komposisi serta struktur molekul (Zhang et al., 2022). FTIR bekerja dengan cara mengarahkan sinar inframerah pada sampel dan mengukur cahaya yang ditransmisikan atau dipantulkan. Data yang dikumpulkan dianalisis menggunakan transformasi *Fourier* untuk menghasilkan spektrum yang mencerminkan karakteristik molekul dalam sampel (Zhang et al., 2022).

#### 6. Rendemen

Nilai rendemen merupakan perbandingan produk terhadap bahan baku yang dihasilkan dalam suatu proses yang dinyatakan dalam persentase (%). Menurut Cahyono (2016), rendemen rata-rata dari hasil proses pirolisis plastik adalah 36–44%. Rendemen minyak yang dihasilkan dapat ditentukan dengan menimbang cairan yang dihasilkan pada interval waktu tertentu. Pada akhir pirolisis, padatan (residu) yang tertinggal di dalam reaktor ditimbang untuk mengetahui beratnya. Jumlah gas yang terbangun dari proses pirolisis diketahui

dari selisih berat input dengan berat total hasil minyak dan residu (Hamidi et al., 2013). Nilai rendemen dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 4.

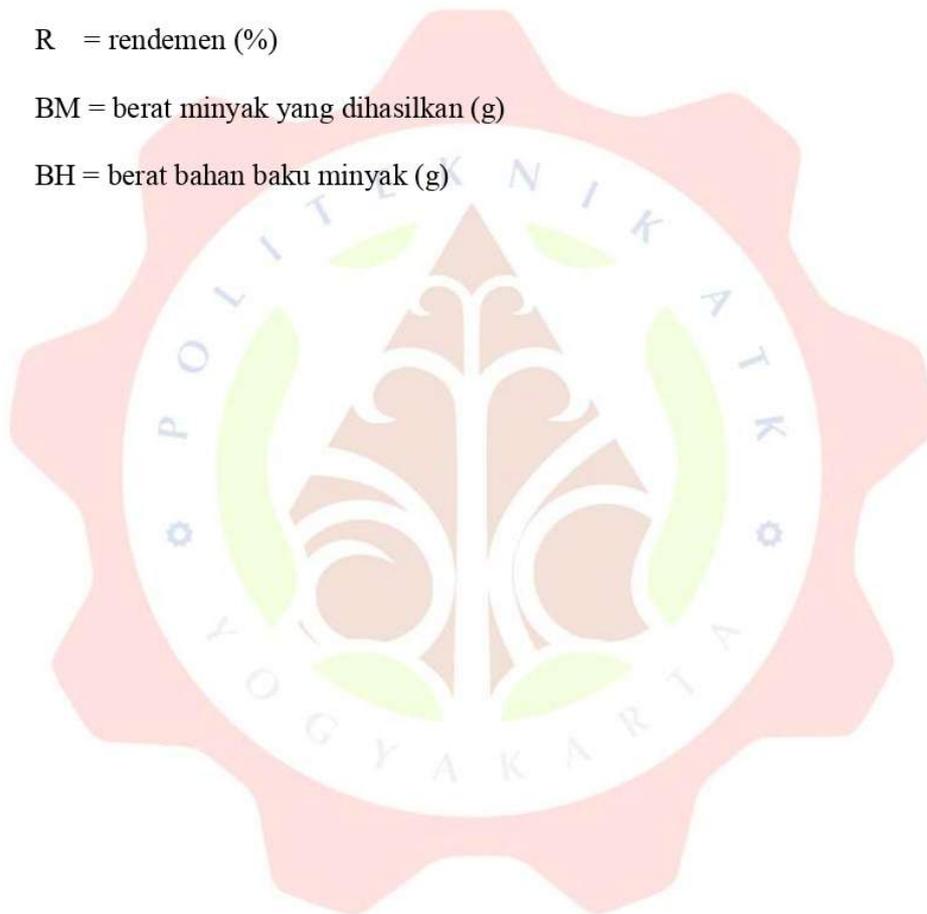
$$R = \frac{BM}{BH} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

keterangan:

R = rendemen (%)

BM = berat minyak yang dihasilkan (g)

BH = berat bahan baku minyak (g)



### **BAB III**

#### **METODE DAN MATERI KARYA AKHIR**

##### **A. Lokasi dan Waktu**

Tugas akhir dilakukan di PT. X Bandung, Jawa Barat pada 11 November 2024 – 29 Maret 2024 dan percobaan pirolisis dilakukan di CV. AL *Production* Bantul, Yogyakarta. Pengujian dilakukan di Lab. Polimer dan Instrumentasi Politeknik ATK Yogyakarta dan Lab. Perpindahan Kalor dan Massa PAU UGM

##### **B. Materi Tugas Akhir**

Tugas akhir ini membahas tentang pengaruh suhu terhadap rendemen dan karakteristik minyak hasil pirolisis limbah *trimming outsole*. Variasi suhu yang digunakan pada proses pirolisis ini yaitu 500°C, 550°C, dan 600°C. Tujuan variasi suhu tersebut untuk mengetahui suhu optimum dalam proses pirolisis. Karakterisasi minyak yang dilakukan meliputi uji viskositas, uji densitas, uji nilai kalor dan *flashpoint* (nyala api).

##### **C. Metode Pengambilan Data**

###### 1. Observasi

Observasi dilakukan di PT. X Jawa Barat yang merupakan salah satu perusahaan pembuatan sandal gunung. Observasi yang dilakukan mulai dari pembuatan pola, pemotongan pola, penggabungan tiap bagian pola, *finishing* sampai proses akhir termasuk sisa dari proses pembuatan sandal gunung.

## 2. Wawancara

Wawancara dilakukan secara langsung melalui narasumber yang merupakan karyawan PT X terkait dengan proses pembuatan sandal gunung mengenai jumlah lembaran *outsole*, proses *trimming outsole*, dan limbah *trimming outsole*.

## 3. Dokumentasi

Tujuan dokumentasi adalah untuk memperoleh gambar dari objek permasalahan yang diselidiki selama pengamatan di perusahaan dan pengujian di laboratorium. Dokumentasi yang diperoleh berupa gambar limbah *trimming outsole*, gambar hasil minyak pirolisis serta hasil data pengujian.

## 4. Studi Literatur

Tinjauan literatur bertujuan untuk mengumpulkan data literatur yang dihasilkan sebelumnya untuk memberikan informasi yang relevan mengenai pemanfaatan limbah menjadi bahan bakar melalui pirolisis. Studi literatur yang digunakan berupa buku, jurnal ilmiah, naskah tugas akhir, dan bahan-bahan kepustakaan lainnya yang berkaitan dengan percobaan yang sedang dilakukan.

## 5. Percobaan

Percobaan pirolisis sebanyak 3 kali dengan variasi suhu 500°C, 550°C dan 600°C dilakukan di AL Production, yaitu tempat pengolahan limbah plastik di Bantul, Yogyakarta.

### a) Bahan

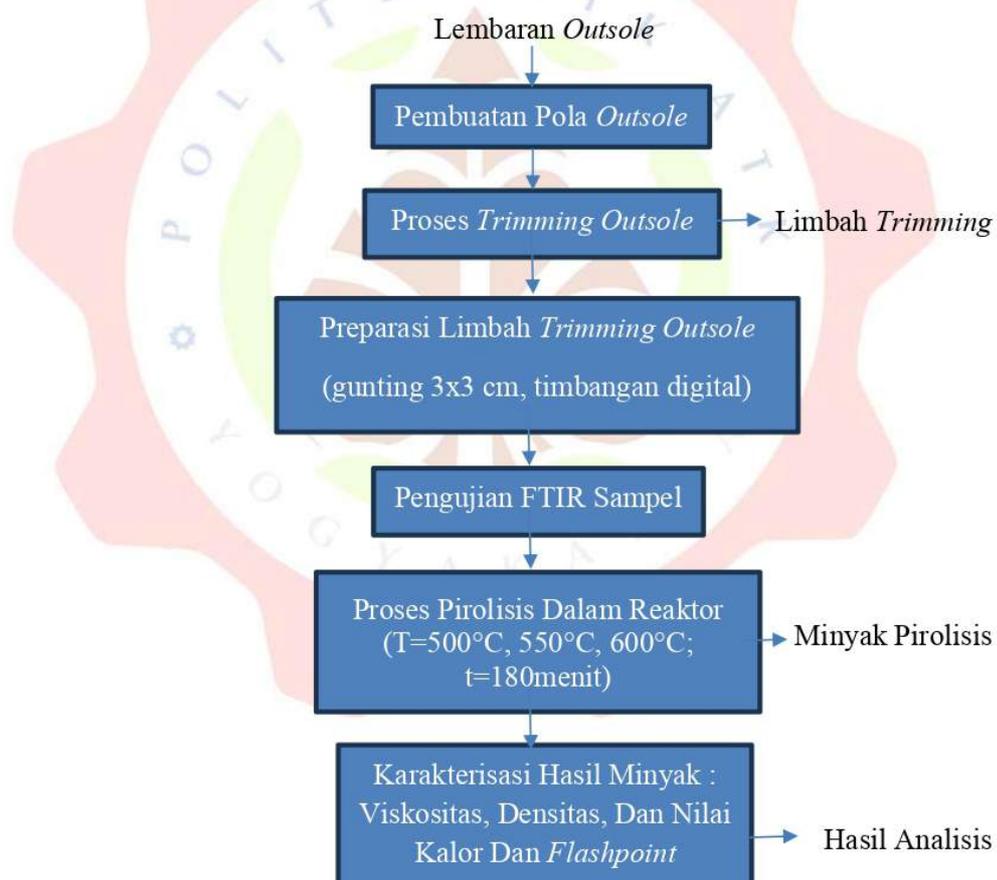
Bahan yang digunakan antara lain limbah *trimming outsole* sandal gunung dari PT X Jawa Barat, aquades, dan aseton (*Merck*).

## b) Alat

Alat yang digunakan antara lain, gunting, neraca analitik (*OHAUS, PR224*), seperangkat alat pirolisis, *stopwatch*, corong, botol aquades, FTIR (*Frontier, C96600*), piknometer 25ml (*Iwaki*), *viscometer ostwald (Iwaki)*, *cleveland open cup tester*, *bomb calorimeter*.

## c) Diagram Alir Proses

Adapun diagram alir proses penyelesaian seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Proses

Berikut adalah penjelasan mengenai diagram alir proses pada Gambar 3.1.

- Pembuatan Pola *Outsole*

Lembaran *outsole* digambar manual menggunakan *drawing pen* dan cetakan *outsole* sandal gunung.

- Proses *Trimming Outsole*

Hasil gambar pola pada lembaran *outsole* kemudian diproses *trimming* menggunakan pisau. Kemudian, potongan *outsole* dihaluskan menggunakan grenda sehingga mendapatkan bentuk akhir *outsole* sandal gunung. Sisa potongan *trimming* akan menjadi limbah yang tidak digunakan lagi.

- Preparasi Limbah *Trimming Outsole*

Limbah *trimming outsole* dipotong kecil berukuran 3x3 cm kemudian ditimbang menggunakan neraca analitik, masing-masing 1 kg untuk tiap variasi suhu. Sampel limbah *outsole* juga dilakukan pengujian FTIR untuk mengetahui karakteristik gugus fungsi di dalam sampel limbah *trimming outsole*.

- Pengujian FTIR Sampel

Instrumen FTIR dan komputer dinyalakan. Program “*Instalation Wizard*” diklik kemudian klik “*Background*” yang berada di samping kurva. Sampel limbah *trimming outsole* dipasang pada FTIR. “*ID*” sampel diisi dan diklik “*OK*”. Hasil pembacaan yang tampil pada layar kemudia disimpan dengan

menekan “*Save As*”. Kemudian dilakukan identifikasi terhadap tiap titik puncak sesuai standar.

- Pirolisis Limbah *Trimming Outsole*

Limbah *trimming outsole* yang sudah ditimbang dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis, kemudian dilakukan pirolisis dengan variasi suhu 500°C, 550°C, dan 600°C. Pirolisat atau minyak hasil pirolisis yang keluar ditampung dalam botol, lalu beratnya ditimbang dan dicatat setiap selang 5 menit. Proses pirolisis dilakukan sampai tidak ada lagi minyak yang keluar.

## 6. Pengujian

Hasil minyak dari ketiga variasi suhu pirolisis yang diperoleh kemudian dilakukan pengujian antara lain uji viskositas, densitas, nilai kalor dan *flashpoint*.

### a) Pengujian Viskositas

Pengujian viskometer menggunakan viskometer *ostwald*, dimana viskometer diisi dengan cairan kalibrasi (aquades) hingga mencapai tanda yang ditentukan. Kemudian waktu yang diperlukan untuk cairan kalibrasi mengalir antara dua tanda dicatat. Sampel minyak pirolisis dilakukan hal yang sama. Viskometer diisi dengan sampel minyak hingga mencapai tanda yang ditentukan. Sampel minyak dipastikan tidak ada gelembung udara dan waktu yang diperlukan untuk sampel minyak mengalir antara dua tanda dicatat. Kemudian dilakukan perhitungan viskositas dari hasil waktu yang diperoleh.

#### b) Pengujian Densitas

Piknometer 25ml ditimbang menggunakan neraca analitik untuk mengetahui massa dari piknometer. Hasil penimbangan dicatat untuk perhitungan densitas. Piknometer 25ml diisi dengan aquades hingga penuh dan tidak menimbulkan gelembung di dalamnya. Pengisian ke dalam piknometer diulangi jika terdapat gelembung. Piknometer ditutup hingga rapat dan keringkan bagian luar dengan kain bersih atau tisu hingga bersih dan kering. Piknometer berisi aquades ditimbang pada neraca analitik untuk mengetahui massanya. Hasil penimbangan dicatat untuk perhitungan densitas. Perlakuan yang sama diberikan terhadap ketiga sampel minyak pirolisis dan hasil penimbangan dicatat untuk dilakukan perhitungan densitas.

#### c) Pengujian Nilai Kalor

Pengujian nilai kalor dilakukan menggunakan standar ASTM-D3286. Sampel minyak yang akan diuji ditimbang dan dicatat beratnya, lalu dimasukkan ke dalam wadah sampel bom kalorimeter. Bom kalorimeter diisi dengan oksigen bertekanan sesuai dengan prosedur operasi standar. Alat dikalibrasikan menggunakan asam benzoat untuk memastikan akurasi pengukuran. Bom kalorimeter yang sudah berisi sampel minyak dimasukkan ke dalam wadah kalorimeter yang berisi air. Selanjutnya, kalorimeter disambungkan ke sistem pengukuran dan pemantik dinyalakan untuk memulai pembakaran sampel minyak. Perubahan suhu air dalam wadah kalorimeter diamati dan dicatat selama proses pembakaran.

#### d) Pengujian *Flashpoint*

Pengujian *flashpoint* dilakukan menggunakan alat uji *Cleveland Open Cup Tester*. Sampel minyak dituang ke dalam *open cup* hingga mencapai batas yang ditentukan. Alat uji dinyalakan dan mulai dipanaskan secara perlahan. Kecepatan pemanasan diatur sesuai dengan standar pengujian (5-6°C per menit). Pemantik dinyalakan dan diamati hingga suhu bahan bakar naik tidak lebih dari 5°C per menit. Prosedur diulang untuk setiap kenaikan 5°C permenit hingga titik nyala atau *flashpoint* tercapai. Nyala api yang pertama kali muncul di atas permukaan sampel (*flashpoint*) kemudian dicatat suhunya. Setelah pengujian selesai, alat dimatikan dan sampel dibiarkan dingin.

#### e) Pengujian FTIR Minyak Pirolisis

Instrumen FTIR dan komputer dinyalakan. Program "*Instalation Wizard*" diklik kemudian klik "*Background*" yang berada di samping kurva. Sampel minyak pirolisis diteteskan pada FTIR. "*ID*" sampel diisi dan diklik "*OK*". Hasil pembacaan yang tampil pada layar kemudia disimpan dengan menekan "*Save As*". Kemudian dilakukan identifikasi terhadap tiap titik puncak sesuai standar.

### 5. Dokumentasi

Tujuan dokumentasi adalah untuk memperoleh gambar dari objek permasalahan yang diselidiki selama pengamatan di perusahaan dan pengujian di laboratorium. Dokumentasi yang diperoleh berupa gambar limbah *trimming outsole*, gambar hasil minyak pirolisis serta hasil data pengujian.

## 6. Studi Literatur

Tinjauan literatur bertujuan untuk mengumpulkan data literatur yang dihasilkan sebelumnya untuk memberikan informasi yang relevan mengenai pemanfaatan limbah menjadi bahan bakar melalui pirolisis. Studi literatur yang digunakan berupa buku, jurnal ilmiah, naskah tugas akhir, dan bahan-bahan kepustakaan lainnya yang berkaitan dengan percobaan yang sedang dilakukan.

