

**TESIS**

**PENGARUH TIPE PISAU MESIN PENCACAH SAMPAH  
TERHADAP KUALITAS DAN KUANTITAS HASIL  
CACAHAN *REFUSE-DERIVED FUEL* (RDF)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi  
Persyaratan Memperoleh Derajat Magister (S2) Teknik Lingkungan**



**WAHYU ARROZI**

**23927007**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN PROGRAM MAGISTER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA YOGYAKARTA  
2026**

TESIS

**PENGARUH TIPE PISAU MESIN PENCACAH SAMPAH  
TERHADAP KUALITAS DAN KUANTITAS HASIL  
CACAHAN *REFUSE-DERIVED FUEL* (RDF)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi  
Persyaratan Memperoleh Derajat Magister (S2) Teknik Lingkungan**



**WAHYU ARROZI**  
**23927007**

Disetujui,  
Dosen Pembimbing:

**Dr. Ir. Kasam, M.T., I.P.M.**

**NIK : 925110102**

**Tanggal: 4 Maret 2026**

Mengetahui,

Ketua Prodi Magister Teknik Lingkungan FTSP UII



**Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T.**

**NIK. 025100407**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**TESIS**

**PENGARUH TIPE PISAU MESIN PENCACAH SAMPAH  
TERHADAP KUALITAS DAN KUANTITAS HASIL  
CACAHAN *REFUSE-DERIVED FUEL* (RDF)**

**Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji**

**Hari : Rabu**  
**Tanggal : 25 Februari 2026**

**Disusun Oleh:**

**WAHYU ARROZI**  
**23927007**

**Tim Penguji :**

**Dr. Ir. Kasam, M.T., I.P.M**

(  4/3 2026 )

**Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T**

(  4/3 2026 )

**Ir. Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph.D., I.P.M**

(  M 4/3 2026 )

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 3 Maret 2026

Yang membuat pernyataan,



**Wahyu Arrozi**

NIM: 23927007

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, karunia, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “Pengaruh Tipe Pisau Mesin Pencacah Sampah Terhadap Kualitas Dan Kuantitas Hasil Cacahan *Refuse-Derived Fuel* (RDF)”.

Penyusunan tesis ini tidak akan terselesaikan tanpa dukungan, bantuan, serta bimbingan dari berbagai pihak. Dengan rasa hormat dan tulus, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua Orang tua saya Ibu Sumilah dan Bpk Drs Samuri yang telah tiada pada tanggal 28 Februari 2006 dan 12 Nopember 2013 atas segala kasih sayang, pengorbanan, dan nilai kehidupan yang menjadi sumber kekuatan serta motivasi bagi penulis dalam menyelesaikan pendidikan ini
2. Istri Saya Tantri Agustiana, S.Pd yang dengan kesabarannya telah memberikan segala dukungan dan mendidik kedua anak saat ini.
3. Kedua anak saya Farzan Wistara Arrozaq dan Haidar Abimana Arozaq yang telah menjadi penyemangat, dan semoga menjadi anak Sholeh serta mewujudkan cita-citanya
4. Dr. Ir. Kasam, M.T., I.P.M selaku dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan masukan dan bimbingan dalam penelitian dan tesis ini
5. Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T dan Ir. Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph.D., I.P.M selaku dosen penguji, atas arahan, bimbingan, dan bantuan dalam penyusunan tesis ini.
6. Keluarga besar Bpk Samuri dan Bpk Hariyato telah memberi bantuan dalam menyelesaikan studi ini.
7. Seluruh Manager dan Staff PT Bengkel Madanitec Jogja dan PT Madani Technology Jogja yang telah membatu segala hal dalam penelitian ini.
8. Dosen dan staff Teknik Lingkungan UII yang telah memberikan Ilmu
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, atas bantuan, dukungan, dan doa yang telah diberikan selama proses penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa laporan tesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan di masa yang akan datang. Akhir kata, semoga Tesis ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca dan menjadi referensi yang berguna untuk penelitian selanjutnya.

Yogyakarta, 10 Maret 2025



Wahyu Arrozi

## ABSTRAK

Timbulan sampah di Indonesia pada tahun 2024 mencapai 34,21 juta ton, di mana 19,74% atau sekitar 6,75 juta ton merupakan sampah plastik yang sulit terurai. Tingginya angka timbulan sampah tersebut mendorong kebutuhan teknologi pengolahan sampah menjadi energi (*waste to energy*), salah satunya melalui produksi *Refuse-Derived Fuel* (RDF) sebagai bahan bakar alternatif bagi industri semen dan pembangkit listrik. Salah satu tahapan penting dalam produksi RDF adalah proses pencacahan, dimana performa mesin sangat dipengaruhi oleh jenis pisau yang digunakan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh tiga jenis bahan pisau serta pengaruh kadar air sampah (<30% dan 30–50%) terhadap kapasitas pencacahan, homogenitas ukuran cacahan, ketahanan pisau, dan biaya produksi pisau.

Penelitian menggunakan metode eksperimen dengan total 18 uji coba (3 tipe pisau × 2 kadar air × 3 ulangan). Variabel terikat meliputi kapasitas produksi (kg/jam), homogenitas cacahan <5 cm, kehilangan massa pisau, serta biaya produksi per jenis pisau. Pengujian laboratorium untuk RDF dilakukan terhadap kadar air, nilai kalor, kadar abu, *volatile matter*, dan *fixed carbon* mengacu pada SNI 9313:2024. Uji statistik mencakup analisis deskriptif, uji normalitas *Shapiro–Wilk*, serta ANOVA dua arah untuk menilai signifikansi perbedaan antar perlakuan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pisau mesin pencacah tipe baja SUB 9 menghasilkan kapasitas pencacahan tertinggi (238,05 kg/jam) dan homogenitas terbaik (95,96%), meskipun hasil ANOVA menunjukkan tidak terdapat pengaruh signifikan baik dari tipe pisau maupun kadar air ( $p > 0,05$ ). Pengujian keausan menunjukkan bahwa baja SUB 9 dan SKS 3 memiliki sisa ujung pisau volume tertinggi (99,62–99,82%). Biaya produksi paling rendah yaitu sebesar Rp 1.892.426 pada pisau baja SUB 9. Hasil uji kualitas RDF menunjukkan kadar air 10,6% dan nilai kalor 4.360 kcal/kg memenuhi standar SNI, namun kadar abu 20,9% sedikit melebihi batas maksimum.

Kata kunci: *Refuse-Derived Fuel*, pisau mesin pencacah, kadar air, keausan pisau.

## ABSTRACT

*In 2024, waste generation in Indonesia reached 34.21 million tons, of which 19.74% (approximately 6.75 million tons) consisted of non-biodegradable plastic waste. This significant volume underscores the urgent need for Waste-to-Energy (WtE) technologies, particularly the production of Refuse-Derived Fuel (RDF) as an alternative fuel source for the cement industry and power plants. One of the most critical stages in RDF production is the shredding process, where machine performance is significantly influenced by blade type and operating conditions. This study examines the impact of three shredding blade materials and varying waste moisture contents (<30% and 30–50%) on shredding capacity, particle size homogeneity, blade wear resistance, and blade manufacturing costs.*

*An experimental method was applied with a total of 18 experimental runs (3 blade types × 2 moisture content levels × 3 replications). The evaluated response variables included shredding capacity (kg/h), particle size distribution with a target size of <5 cm, blade mass loss as an indicator of blade wear, and blade manufacturing cost. RDF quality parameters, namely moisture content, calorific value, ash content, volatile matter, and fixed carbon, were analyzed in accordance with SNI 9313:2024. Statistical analyses consisted of descriptive statistics, Shapiro–Wilk normality testing, and two-way analysis of variance (ANOVA) to determine the significance of the effects of blade type and moisture content.*

*The results indicate that the Sub 9 steel blade achieved the highest shredding capacity (238.05 kg/h) and the highest particle size homogeneity (95.96%). However, two-way ANOVA results revealed that neither blade type nor waste moisture content had a statistically significant effect on shredding performance ( $p > 0.05$ ). Blade wear analysis showed that Sub 9 steel and SKS3 blades exhibited the highest remaining blade tip volume (99.62–99.82%), indicating superior wear resistance. The lowest blade manufacturing cost was observed for the Sub 9 steel blade at IDR 1,892,426. RDF quality analysis revealed a moisture content of 10.6% and a calorific value of 4,360 kcal/kg, meeting the requirements of the SNI standards. However, the ash content (20.9%) slightly exceeded the maximum permissible limit.*

*Keywords: Refuse-Derived Fuel, shredding machine, blade type, blade wear, waste moisture content.*

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
1.5. Batasan Penelitian.....	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Dasar Teori.....	6
2.1.1. Pengelolaan sampah.....	7
2.1.2. <i>Refuse derived fuel</i> (RDF).....	10
2.2. Penelitian Terdahulu.....	12
BAB III. METODE PENELITIAN.....	18
3.1. Desain Penelitian.....	18
3.2. Variabel Penelitian.....	18
3.2.1. Variabel bebas.....	18
3.2.2. Variabel terikat.....	18
3.2.3. Variabel kontrol.....	19

3.3. Komposisi Timbulan Sampah .....	19
3.4. Populasi, Sampel Sampah dan Alat Penelitian.....	21
3.5. Prosedur Penelitian.....	22
3.4.1. Melakukan uji laboratorium terhadap karakteristik RDF .....	22
3.4.2. Mesin pencacah RDF .....	22
3.4.3. Pisau pencacah sampah .....	24
3.4.4. Perhitungan biaya produksi.....	26
3.4.5. Ujicoba pencacahan sampah .....	26
3.4.6. Morfologi dan analisis permukaan pisau .....	30
3.6. Teknik Analisis Data .....	32
3.7. Interpretasi Hasil .....	32
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>34</b>
4.1. Pembuatan Pisau Pencacah Sampah RDF.....	34
4.2. Biaya Produksi Pisau.....	34
4.3. Hasil Ujicoba Pencacah RDF .....	36
4.4. Hasil Uji Kapasitas Kualitas, Produksi dan Homogenitas RDF.....	44
4.5. Hasil Uji Sisa Ujung Pisau. ....	45
4.6. Uji Normalitas Data .....	46
4.7. Uji Signifikansi .....	46
4.8. Rekomendasi dalam proses pencacahan sampah RDF .....	48
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>51</b>
5.1. Kesimpulan.....	51
5.2. Saran.....	51
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>53</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>56</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Standar Parameter Bahan Bakar Jumputan Padat .....	11
Tabel 2. 2 Spesifikasi Standar Bahan Bakar Serpihan Sampah untuk Industri Semen .....	12
Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu.....	15
Tabel 3. 1 Data Pengambilan Sampel Sampah.....	20
Tabel 3. 2 Komposisi Sampah RDF pada Pengujian .....	30
Tabel 4. 1 Waktu Pengerjaan Pisau Pencacah RDF .....	34
Tabel 4. 2 Biaya Produksi Pisau Pencacah RDF Tipe Baja Sub 9 .....	35
Tabel 4. 3 Biaya Produksi Pisau Pencacah RDF Baja Tipe SKS 3 .....	35
Tabel 4. 4 Biaya Produksi Baja Bekas Tipe Plat Esser 20mm Dilapisi HV 600... 35	
Tabel 4. 5 Hasil Ujicoba Pisau Tipe Baja SUB 9.....	37
Tabel 4. 6 Hasil Ujicoba Pisau Tipe Baja SKS 3 .....	38
Tabel 4. 7 Hasil Ujicoba Pisau Tipe Plat Esser dilapisi HV600.....	39
Tabel 4. 8 Persentase Sisa Ujung Pisau Setelah Ujicoba .....	43
Tabel 4. 9 Ringkasan Statistik Hasil Ujicoba.....	44
Tabel 4. 10 Perbandingan Hasil Pengujian dan SNI 9313:2024 .....	45
Tabel 4. 11 Hasil Uji Normalitas untuk Kapasitas Produksi dan Homogenitas....	46
Tabel 4. 12 Hasil Uji ANOVA Tipe Pisau dan Kadar Air Terhadap Kapasitas .....	47
Tabel 4. 13 Hasil Uji ANOVA Tipe Pisau dan Kadar Air Terhadap Kapasitas .....	48
Tabel 4. 14 Analisa Biaya Perbaikan Pisau.....	50

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram Alir Pengolahan Sampah RDF 1 .....	6
Gambar 2. 2 Diagram Alir Pengolahan Sampah RDF 2 .....	7
Gambar 2. 3 Sistem Pengolahan Sampah Perkotaan Ideal .....	9
Gambar 3.1 Grafik Timbulan Sampah di TPST3R Nitikan .....	20
Gambar 3. 2 Jenis-Jenis Plastik yang dicacah.....	22
Gambar 3. 3 Desain Mesin Pencacah RDF .....	23
Gambar 3. 4 Desain Pisau Mesin Pencacah RDF .....	23
Gambar 3. 5 Diagram Alir Pembuatan Pisau Mesin Pencacah RDF .....	24
Gambar 3. 6 Pemasangan Pisau .....	26
Gambar 3. 7 Posisi Operator dalam Ujicoba.....	27
Gambar 4. 1 Posisi Pisau.....	36
Gambar 4. 2 Grafik Hasil Ujicoba Tipe Baja SUB 9 .....	37
Gambar 4. 3 Grafik Hasil Ujicoba Pisau Tipe Baja SKS 3.....	38
Gambar 4. 4 Grafik Hasil Ujicoba Pisau Tipe Plat Esser dilapisi HV600 .....	39
Gambar 4. 5 Grafik Rata-Rata Kapasitas Produksi.....	40
Gambar 4. 6 Grafik Rata-Rata Homogenitas Produksi.....	40
Gambar 4. 7 Ujung Pisau Baja Sub 9 Setelah Digunakan .....	41
Gambar 4. 8 Ujung Pisau SKS 3 Setelah Digunakan .....	42
Gambar 4. 9 Pisau Plat Esser Dilapisi HV 600 Setelah Digunakan.....	42
Gambar 4. 10 Analisis <i>Mass Properties</i> .....	43

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Instruksi Kerja .....	56
Lampiran 2 Hasil Uji Sampah RDF .....	59
Lampiran 3 Hasil SPSS .....	62
Lampiran 4 Dokumentasi Produksi.....	70

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Sampah adalah sisa aktivitas manusia dan/atau proses alam yang dianggap tidak bernilai lagi oleh pemiliknya, sampah ini umumnya berbentuk padat. Timbulan sampah di Indonesia secara nasional terus naik seiring konsumsi masyarakat Indonesia yang meningkat; Data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) menunjukkan timbulan Indonesia mencapai sekitar 51.6 juta ton per tahun mengutip dari data statistik pada 2016 (Utomo et al., 2022)

Di Indonesia rata-rata timbulan sampah sebanyak 0,5 kg/orang/hari. Berdasarkan data SIPSN tahun 2024, total timbulan sampah di Indonesia mencapai 34,21 juta ton, di mana sampah plastik merupakan fraksi terbesar kedua dalam komposisi sampah di Indonesia yang menyumbang 19,74% atau sekitar 6,75 juta ton dari total timbulan sampah. (Muyasaroh, 2025)

Masalah sampah telah menjadi masalah kritis yang perlu dihadapi di Indonesia tantangan dalam pengelolaan sampah meliputi pemilahan di sumber yang masih rendah, cakupan pengangkutan yang belum merata, kapasitas Tempat Penampungan Sementara (TPS) atau Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) terbatas, serta Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sampah yang banyak beroperasi sebagai *open dumping* atau *sanitary landfill* dengan umur layanan menipis. Keterbatasan pembiayaan, kelembagaan, dan data yang terintegrasi, serta belum optimalnya kemitraan dengan sektor informal (pemulung/bank sampah) juga memperumit rantai pengelolaan. Dampaknya, sampah yang tidak terkelola berpotensi mencemari air, tanah, dan udara, serta menghasilkan emisi gas terutama metana. Kondisi sampah perkotaan jauh lebih menantang untuk ditangani dengan segera dibandingkan di wilayah pedesaan. Sampah yang tidak terkelola dengan baik dapat menimbulkan berbagai masalah pencemaran lingkungan dan emisi gas rumah kaca (GRK).

*Refuse-Derived Fuel* (RDF) merupakan salah satu strategi aksi mitigasi emisi GRK yang dinyatakan dalam dokumen *Enhanced Nationally Determined Contribution* (ENDC). Pemanfaatan limbah dengan mengkonversi menjadi

energi melalui RDF (di industri) atau sebagai sumber energi terbarukan di PLTSa. Fasilitas PLTSa/RDF akan mengolah 4,6 juta ton MSW untuk menghindari 1,9 juta ton CO<sub>2</sub>-eq. (Widowati, 2024)

Selain dimanfaatkan sebagai RDF, fraksi sampah anorganik dan residu sampah perkotaan sebenarnya memiliki beberapa alternatif pemanfaatan lain yaitu dapat didaur ulang menjadi produk baru melalui proses *mechanical recycling*, seperti bijih plastik, paving block plastik, atau material bangunan berbasis polimer. Hal ini bergantung pada tingkat kebersihan, homogenitas jenis plastik (seperti pemisahan polimer LDPE, PP, PVC, atau PS), serta stabilitas pasar daur ulang.

Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) memperkirakan potensi pemanfaatan RDF oleh PLTU sebesar 16.000 ton/hari sedangkan industri semen berpotensi untuk memanfaatkan 8.000 ton RDF/hari. Dari kedua industri tersebut potensi sampah yang dapat diolah sekitar 24 ribu ton/hari. Adapun total potensi sampah di Indonesia yang dapat dikelola menjadi RDF diperkirakan sebesar 26,4 ribu ton/hari dengan potensi pengurangan emisi GRK sebesar 4,67 juta ton CO<sub>2</sub> emisi/tahun.

Proses produksi RDF melibatkan berbagai tahapan, salah satunya adalah tahap pencacahan. Pada tahap ini, sampah diolah dengan menggunakan mesin pencacah untuk menghasilkan ukuran yang sesuai sebelum dijadikan RDF. Tipe pisau yang digunakan dalam mesin pencacah memegang peranan penting dalam menentukan kualitas hasil cacahan. Pisau yang dirancang dengan baik dapat mempengaruhi ukuran dan bentuk hasil cacahan, yang pada gilirannya mempengaruhi efisiensi pembakaran serta nilai kalor dari RDF yang dihasilkan.

RDF adalah bahan bakar alternatif yang dihasilkan dari pengolahan sampah melalui proses pemisahan, peningkatan kualitas, dan pengolahan awal untuk mengurangi ukuran dan meningkatkan nilai kalornya. Sampah yang tidak dapat didaur ulang seperti plastik, tekstil, dan kaca diproses lebih lanjut menjadi RDF, yang biasanya digunakan sebagai bahan bakar di pembangkit listrik berbasis batubara, pabrik semen, atau fasilitas insinerasi untuk pemulihan energi. Meskipun nilai kalornya lebih rendah dibandingkan bahan bakar fosil, RDF memiliki kandungan klorin yang lebih rendah, sehingga lebih ramah lingkungan.

Di Eropa, RDF menjadi komoditas dengan standar kualitas yang disesuaikan menurut kebutuhan negara, seperti ukuran partikel, klasifikasi, atau asal material. Beberapa negara, seperti Jerman dan Austria, menerapkan aturan ketat untuk pengolahan RDF, terutama dari limbah domestik dan berbahaya. Sebaliknya, di Prancis, standar kualitas RDF lebih fleksibel, memungkinkan pemanfaatan limbah tanpa proses tambahan jika secara teknis memungkinkan.

Pemilihan tipe pisau pada mesin pencacah sampah memiliki hubungan langsung dengan kualitas dan kuantitas hasil cacahan RDF yaitu:

1. Kapasitas produksi dari mesin pencacah ditentukan dari pisau yang digunakan, sebelum dilakukan perawatan.
2. Daya tahan pisau atau keawetan pisau. Untuk meningkatkan efisiensi produksi perlu dipilih material yang minim perawatan dan juga minim penggantian.
3. Jenis material yang diproses memiliki kadar air berbeda akan mempengaruhi kuantitas dan kualitas dari cacahan sampah RDF yang dihasilkan.

Sampah plastik berdasarkan pada karakteristiknya yang memiliki nilai kalori tinggi dan stabil dibandingkan fraksi sampah lainnya. Selain itu, sampah plastik memiliki sifat mekanik yang beragam, mulai dari plastik lentur hingga kaku, sehingga memberikan tantangan tersendiri pada proses pencacahan dan memungkinkan evaluasi kinerja pisau mesin pencacah dilakukan secara lebih terkontrol dan representatif. Sampah plastik yang akan digunakan juga tidak memiliki nilai jual yang ekonomis jika diberikan kepada pelapak.

Sampah plastik yang digunakan sebagai bahan baku *Refuse-Derived Fuel* (RDF) dalam penelitian ini terdiri dari berbagai jenis plastik dengan karakteristik yang berbeda, yaitu *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Low Density Polyethylene* (LDPE), *Polypropylene* (PP), *Polystyrene* (PS), plastik multilayer (kemasan berbahan gabungan dua atau lebih lapisan polimer), serta *Polyolefin Film* (POF).

## **1.2. Rumusan Masalah**

Penggunaan mesin pencacah sampah RDF, merupakan mesin yang wajib digunakan untuk menghasilkan RDF sesuai standar yang dibutuhkan. Berdasarkan penjelasan di latar belakang, dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Jenis bahan pisau yang mendapatkan hasil terbaik (kuantitas, kualitas dan keawetan), berikut biaya produksi pisau tersebut.
2. Seberapa besar pengaruh kadar air sampah plastik yang akan dicacah terhadap hasil cacahan RDF.

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan pengaruh tipe pisau mesin pencacah sampah terhadap tingkat homogenitas dan kuantitas cacahan RDF.
2. Melakukan evaluasi terhadap ketahanan setiap jenis pisau terutama pada bagian ujungnya pada penggunaan di mesin pencacah sampah RDF.
3. Melakukan evaluasi terhadap biaya produk setiap jenis pisau pada penggunaan di mesin pencacah sampah RDF.

## **1.4. Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini yang dilakukan ini adalah:

1. Memberikan rekomendasi tipe pisau yang dapat digunakan paling efisien untuk melakukan pencacahan sampah RDF.
2. Memberikan rekomendasi kadar air yang optimal untuk dilakukannya pencacahan RDF.
3. Menjadi landasan dalam penelitian lanjut tentang pelapisan dan geometri pisau.

## **1.5. Batasan Penelitian.**

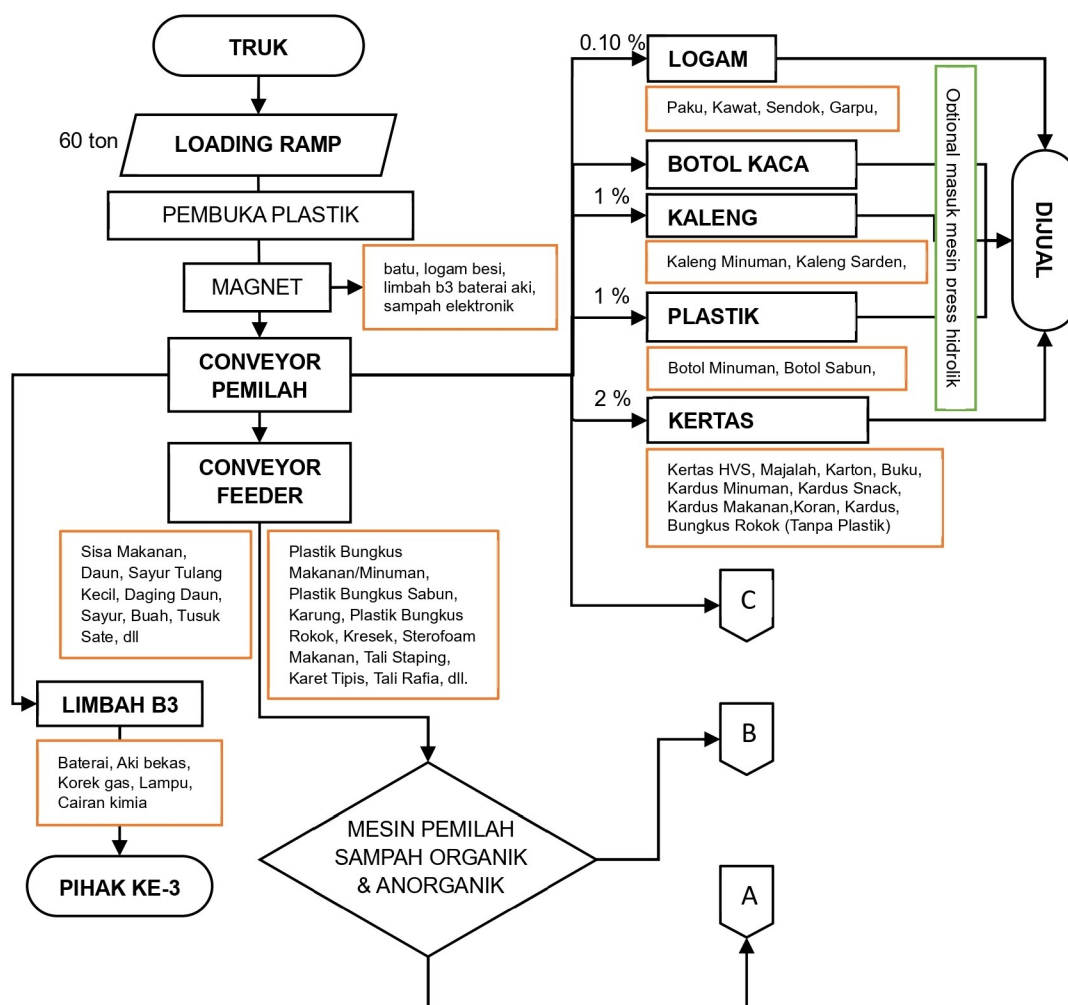
Batasan penelitian dimaksudkan agar penelitian ini lebih mengarah pada latar belakang dan permasalahan yang telah dirumuskan maka diperlukan batasan-batasan masalah untuk membatasi ruang lingkup penelitian adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya difokuskan pada sampah anorganik berupa sampah plastik dengan sedikit ikutan sampah organik sebagai bahan baku RDF, kertas, logam, kaca, kayu, maupun tekstil.
2. Sampah yang akan digunakan adalah semua sampah yang keluar dari mesin pemilah/mesin gibrak dan sebelum mesin pemilah ini terdapat pemilahan manual menggunakan conveyor.
3. Pengujian dilakukan menggunakan satu jenis mesin pencacah RDF dengan didukung mesin conveyor dengan spesifikasi dan pengaturan yang sama untuk seluruh perlakuan, sehingga pengaruh desain mesin, kecepatan putar, dan sistem transmisi tidak menjadi variabel penelitian.
4. Penelitian ini hanya mengkaji tiga tipe pisau yang diuji meliputi baja Sub 9, baja SKS 3, dan plat baja karbon (ASTM A36) yang dilapisi *hardfacing* HV600. Metode proses produksi pisau menggunakan data dari PT Bengkel Madanitec Jogja.
5. Homogenitas dari hasil cacahan RDF hanya diukur untuk batas ukuran 5cm, yang sesuai dengan SNI 9313:2024.

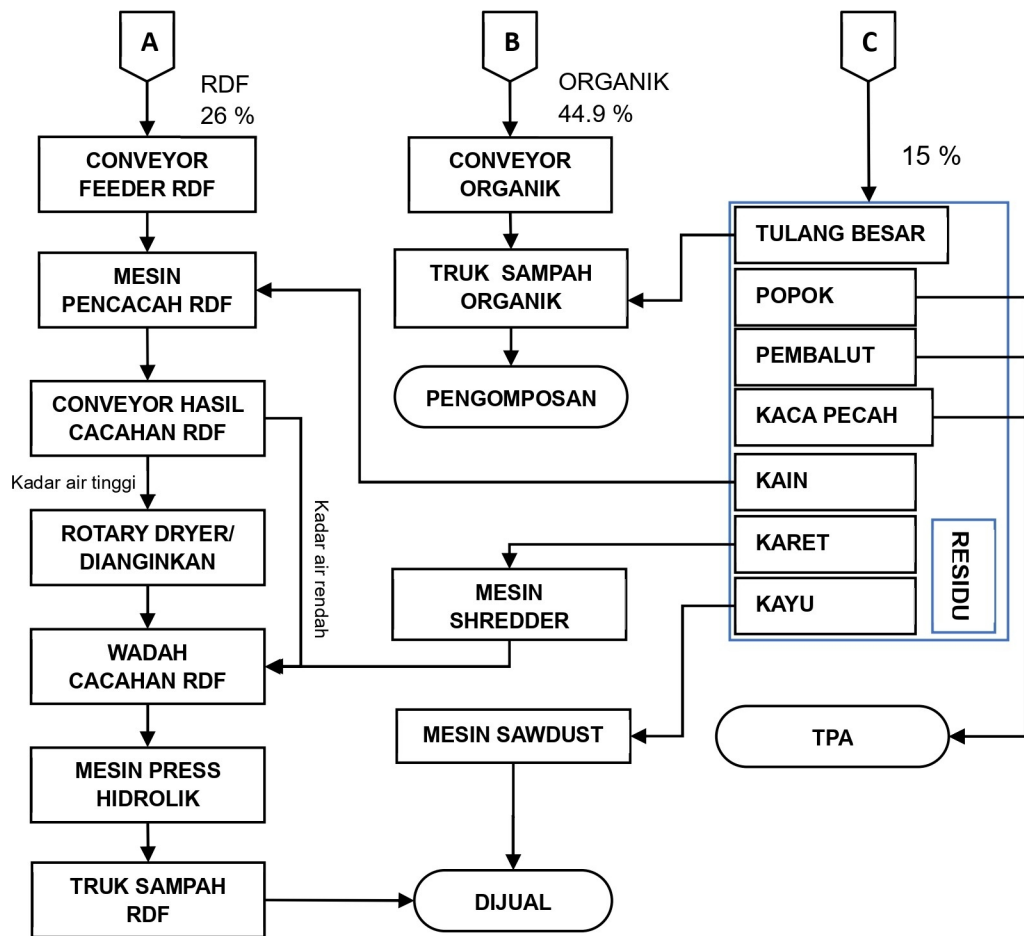
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Dasar Teori

Pendekatan yang digunakan dalam pengelolaan sampah adalah konversi menjadi bahan bakar alternatif, yang dikenal sebagai *Refuse-Derived Fuel* (RDF). RDF adalah bahan bakar yang dihasilkan dari pemrosesan sampah domestik maupun industri yang tidak dapat didaur ulang. RDF dapat digunakan sebagai bahan bakar di industri semen dan pembangkit listrik tenaga sampah (PLT<sub>S</sub>), karena memiliki kandungan energi yang cukup tinggi.



Gambar 2. 1 Diagram Alir Pengolahan Sampah RDF 1



Gambar 2. 2 Diagram Alir Pengolahan Sampah RDF 2

Hasil pemilahan sampah yang dilakukan terbagi menjadi beberapa jenis sampah dan sistem akhir pengelolaan yang berbeda. Seperti sampah limbah B3 yang kemudian diserahkan kepada pihak ke-3 (Perusahaan khusus pengolahan limbah B3), sampah rosok/barang bekas (logam, botol kaca, kaleng, kertas, plastik tebal) dijual ke pengepul, sampah organik dilakukan proses pengomposan dan dijadikan pupuk kompos, kayu yang sudah tercacah dijual ke industri yang memerlukan, sedangkan sampah cacahan RDF dijual ke industri semen ataupun pembangkit listrik.

### 2.1.1.1. Pengelolaan sampah

Pengelolaan sampah adalah kegiatan sistematis dan berkesinambungan yang mencakup pengurangan dan penanganan. Asas yang dipakai: tanggung jawab, berkelanjutan, manfaat, keadilan, kesadaran, kebersamaan, keselamatan,

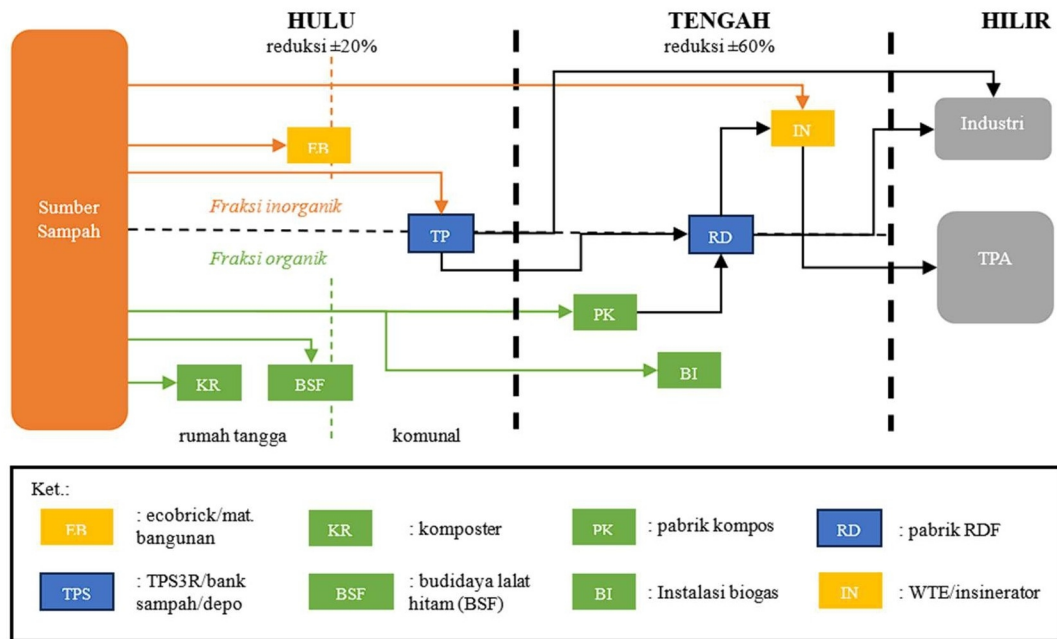
keamanan, dan nilai ekonomi; tujuannya meningkatkan kesehatan/lingkungan dan memandang sampah sebagai sumber daya. Tujuan dari pengelolaan sampah untuk meningkatkan kesehatan masyarakat dan kualitas lingkungan serta menjadikan sampah sebagai sumber daya. (Undang Undang No.18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, 2008)

Menurut (Purnomo, 2020) pengelolaan sampah adalah serangkaian kegiatan yang mencakup pengumpulan, pengangkutan, pemrosesan, daur ulang, dan pembuangan akhir dari sampah, dengan tujuan untuk mengurangi dampak negatifnya terhadap kesehatan masyarakat dan lingkungan. Dalam konteks perkotaan, sistem pengelolaan sampah ideal dibagi menjadi tiga tahap utama:

1. Hulu – sumber timbulan sampah (rumah tangga, industri, dll.).
2. Tengah – tempat pengolahan sementara seperti TPST3R (*Reduce, Reuse, Recycle*).
3. Hilir – Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) atau pemanfaatan oleh industri (seperti RDF untuk bahan bakar).

Pengelolaan timbulan sampah terutama di perkotaan perlu membagi menjadi 3 bagian yaitu hulu, tengah dan hilir. Hulu adalah bagian dari sumber sampah, bagian tengah adalah TPST3R, dan bagian Hilir adalah TPA/TPST/industri. Untuk lebih lengkapnya bisa dilihat melalui Gambar 2.2. (Purnomo, 2020)

Sistem Pengelolaan sampah dibagi menjadi tiga tahap yaitu pertama bagian hulu (reduksi sekitar 20%) tindakan di sumber/permukiman untuk menekan timbulan sejak awal melalui, pemilahan dan pengolahan sederhana. Kedua bagian tengah (reduksi sekitar 60%) yaitu fasilitas pengolahan skala komunal–kota yang mengubah sampah menjadi produk kompos, biogas, *Refuse-Derived Fuel* (RDF) atau energi (insinerator). Ketiga bagian hilir: pemanfaatan hasil (oleh industri) dan pembuangan residu ke TPA.



Gambar 2. 3 Sistem Pengolahan Sampah Perkotaan Ideal

Pada bagian pertama sampah rumah tangga dipilah menjadi menjadi organik dan anorganik. Beberapa pengelolaan yang dapat dilakukan diantara *ecobrick*/material bangunan, komposter, budidaya manggot, pengomposan dengan biopori.

Pada tahap kedua yaitu fasilitas yang bersifat komunal atau kelompok dan diselenggarakan oleh pemerintah maupun swasta. Beberapa metode yang dapat dilakukan yaitu:

1. Pabrik kompos untuk sampah organik → menghasilkan kompos; residunya kembali ke alur utama.
2. Instalasi biogas untuk sampah organik → menghasilkan biogas/energi; residu digestate bisa dikomposkan.
3. Pabrik RDF → fraksi mudah terbakar dipilah, dikeringkan, dicacah agar jadi bahan bakar alternatif.
4. Insinerator → pembakaran terkontrol dengan suhu minimal 800°C menghasilkan listrik/uap ada residu abu.

Pada tahap hilir atau terakhir yaitu pemanfaatan dan pembuangan. Industri menerima RDF sebagai substitusi batubara dan/atau energi. TPA (Tempat Pembuangan Akhir) menerima residu dari lokasi-lokasi sebelumnya yang tidak dapat dimanfaatkan lebih lanjut.

### 2.1.2. *Refuse derived fuel* (RDF)

RDF adalah bahan bakar alternatif yang dihasilkan dari pengolahan sampah melalui proses pemisahan, peningkatan kualitas, dan pengolahan awal untuk mengurangi ukuran, pengeringan dan meningkatkan nilai kalorinya. Sampah yang tidak dapat didaur ulang seperti plastik, tekstil, dan kaca diproses lebih lanjut menjadi RDF, yang biasanya digunakan sebagai bahan bakar di pembangkit listrik berbasis batubara, pabrik semen, atau fasilitas insinerasi untuk pemulihan energi. Meskipun nilai kalorinya lebih rendah dibandingkan bahan bakar fosil, RDF memiliki kandungan klorin yang lebih rendah, sehingga lebih ramah lingkungan. Secara aplikasi, RDF banyak dimanfaatkan untuk *co-firing* di kiln industri semen dan *co-firing* pada pembangkit berbasis batubara, sejalan dengan pedoman teknis asosiasi industri serta dorongan kebijakan dekarbonisasi dan pengurangan emisi GRK nasional.

RDF sering juga disebut sebagai bahan bakar serpihan sampah banyak digunakan oleh industri semen, menurut BSN (2024) standar mutu RDF yang digunakan yaitu ukuran partikel minimal 95% lolos ayakan 5 cm, nilai kalori minimal 3.000 kcal/kg, kadar air maksimal 22%, kadar abu maksimal 20%, kadar sulfur dan klorin maksimal 0,5% dan kadar merkuri maksimal 1 mg/kg.

Di Austria sebagai salah satu negara Eropa telah lama dikembangkan RDF. RDF adalah limbah yang digunakan seluruhnya atau pada tingkat yang relevan untuk pembangkit energi dan keperluan lain yang memenuhi kriteria kualitas yang ditetapkan. Berbagai jenis pabrik pemilahan sampah mekanis dioperasikan di Austria, di mana berbagai kualitas RDF diproduksi dan dikirim ke pabrik *incinerator*. Input sampah yang digunakan berupa sampah rumah tangga, sampah komersial, *bulky waste* dan sampah konstruksi (Sarc & Lorber, 2013).

Hasil uji karakteristik sampah lama akan dianalisis sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) 8966:2021 tentang Bahan Bakar Jampukan Padat untuk Pembangkit Listrik (BSN, 2021). Beberapa parameter penting yang perlu diperhatikan mengacu pada SNI tersebut tampak pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Standar Parameter Bahan Bakar Jumptan Padat

No	Parameter	Satuan	Kelas		
			1	2	3
1	Kadar Material Organik	%, min	$\geq 95$	$87,5 \leq x < 95$	$80 \leq x < 87,5$
2	Kadar Air (ar)	% berat	$< 15$	$< 20$	$< 25$
3	Kadar Abu (ar)	% berat	$< 15$	$< 20$	$< 25$
4	Kadar Volatile Matter (ar)	% berat maks	65	70	75
5	Kadar Fix Carbon (ar)	% berat	$> 15$	$> 10$	$> 5$
6	Nilai Kalor Netto (ar)	MJ/kg	$\geq 20$	$\geq 15$	$\geq 10$
7	Kadar Sulfur Total (ar)	% berat	$\leq 1,5$	$\leq 1,5$	$\leq 1,5$
8	Kadar Klorin (ar)	% berat	$\leq 0,2$	$\leq 0,6$	$\leq 1$

Sumber: Standar Nasional Indonesia (SNI) 8966:2021 Tentang Bahan Bakar Jumptan Padat

Kesesuaian parameter RDF sebagai bahan bakar diperlukan untuk memastikan bahwa RDF yang dikirim ke pabrik semen memenuhi persyaratan sesuai izin yang dimiliki industri semen dan tidak akan berpengaruh negatif terhadap proses kiln. Misalnya, untuk menghindari masalah operasi dalam kiln, dampak dari RDF pada total input zat terbang (*volatile*) yang bersirkulasi di dalam sistem kiln, seperti klorin atau alkali, membutuhkan penilaian yang cermat sebelum penerimaan. Kriteria penerimaan khusus untuk komponen ini harus ditetapkan oleh masing-masing pabrik berdasarkan jenis proses dan pada kondisi kiln tertentu. (Asosiasi Semen Indonesia dan Industri Semen et al., 2017)

RDF harus memenuhi kriteria penerimaan limbah minimum, sehingga asosiasi perusahaan semen di Indonesia memberikan kriteria RDF yang dapat diterima, sesuai dengan Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Spesifikasi Standar Bahan Bakar Serpihan Sampah untuk Industri Semen

No.	Parameter Uji	Satuan	Persyaratan	Metode Uji
1	Ukuran <sup>1)</sup>	cm	maksimum 5	Lihat 7.1
	Distribusi ukuran partikel (PSD)	%	minimum 95 lolos ayakan	
2	Kadar air <sup>2)</sup>	%-berat	maksimum 22	Lihat 7.2
3	Nilai kalor bruto <sup>2)</sup>	kcal/kg	minimum 3.000	ASTM E711
4	Kadar abu <sup>2)</sup>	%-berat	< 20	Lihat 7.3 atau ASTM D3174
5	Kadar sulfur total <sup>2)</sup>	%-berat	≤ 0,5	ASTM E775 Pasal 10.2-10.4; 13 atau APHA 4500-SO4 atau ASTM D4239
6	Kadar klorin <sup>2)</sup>	%-berat	≤ 0,5	ASTM E776 atau APHA 4500-Cl
7	Kadar merkuri (Hg) <sup>2)</sup>	mg/kg	≤ 1,0	Lihat 7.4

Sumber: (Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2024)

## 2.2. Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang mesin pencacah sampah atau plastik sebelumnya pernah dilakukan sehingga penelitian terdahulu dijadikan referensi untuk penelitian yang akan dilakukan.

1. Penelitian oleh (Pranoto, 2020) menggunakan perangkat lunak CAE untuk menganalisis performa mata pisau pencacah plastik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan maksimum *Von Mises* pada pembebanan 300N, 500N, dan 700N berturut-turut adalah  $6,752 \times 10^{-3}$  MPa,  $2,845 \times 10^{-3}$  MPa, dan  $1,575 \times 10^{-3}$  MPa. *Displacement* yang terjadi pada variasi pembebanan tersebut masing-masing adalah  $6,752 \times 10^{-2}$  mm,  $1,125 \times 10^{-1}$  mm, dan  $1,575 \times 10^{-1}$  mm.

2. Penelitian oleh (Yudha Triadi et al., 2020) penelitian ini bertujuan merancang mesin pencacah plastik tipe *shredder* dan alat pemotong tipe reel untuk mengolah sampah plastik jenis PET dan HDPE. Mesin ini memiliki dimensi  $1105.6 \times 1355.7 \times 600$  mm, menggunakan motor 3 HP dengan kecepatan 1450 rpm, serta sistem transmisi pulley dan v-belt tipe A. Komponen pencacah terdiri dari 14 *shredder blade* dan 9 *reel blade* dengan 2 *bedknife*, menggunakan bahan AISI 304 untuk meningkatkan daya tahan. Pengujian dengan *Finite Element Analysis* (FEA) memastikan desain aman digunakan. Mesin ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi daur ulang plastik dan mengurangi dampak pencemaran lingkungan.
3. Penelitian oleh (Grejtak et al., 2023) pada penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan performa mesin pencacah biomass dengan menggunakan material pisau yang paling baik. Dipilih 3 material yang menjadi bahan pisau yaitu : D2 diproses dengan *iron boriding* untuk menghasilkan lapisan keras setebal  $\sim 175$   $\mu\text{m}$ , pisau baja M2 dilapisi dengan DLC (*Diamond-Like Carbon*) setebal  $\sim 2$   $\mu\text{m}$ , dan *insert WC-Co* (*Tungsten Carbide-Cobalt*). Penelitian ini belum menggunakan bahan yang ada di pasaran Indonesia.
4. Penelitian oleh (Mujayyin & Gunarso, 2021) pada penelitian ini bertujuan untuk melihat proses *biodrying* sebagai salah satu metode dalam menurunkan kadar air sampah RDF. Teknologi *Mechanical-Biological Treatment* (MBT) yang mampu menurunkan kadar air sampah organik dengan cepat ( $\pm 7-15$  hari).

Beberapa penelitian sejenis yang telah dilakukan sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan, yang diperoleh dengan cara pencarian melalui internet. Adapun penelitian tersebut adalah sebagai terlihat pada Tabel 2.3. Penelitian yang dijelaskan pada Tabel 2.3 terlihat bahwa tipe dan material pisau mesin pencacah berperan penting dalam menentukan performa pencacahan, baik dari sisi kapasitas produksi, efisiensi energi, maupun ketahanan pisau. Penelitian Grejtak et al. (2024) membuktikan bahwa material pisau tertentu mampu meningkatkan kinerja pencacahan secara signifikan, namun material tersebut tidak tersedia di Indonesia dan belum ada aspek biaya produksi. Penelitian lain lebih berfokus pada analisis desain dan kekuatan pisau secara

simulatif tanpa pengujian operasional langsung, sehingga belum memberikan gambaran kinerja nyata mesin pencacah dalam proses produksi RDF.

Pada Tabel 2.3 terlihat bahwa, penelitian berhubungan dengan kadar air pada sampah menunjukkan bahwa kadar air berpengaruh terhadap proses pencacahan. Pada penelitian tersebut umumnya tidak mengkombinasikan variasi kadar air dengan perbedaan tipe pisau. Pada penelitian tersebut juga masih terbatas pada sampah organik.

Pada Tabel 2.3 terlihat bahwa, penelitian tentang RDF lainnya lebih menitikberatkan pada tahapan pengeringan atau peningkatan nilai kalor dan belum mengkaji peran proses pencacahan sebagai tahap kunci penentu kualitas dan kuantitas RDF. Penelitian ini dilakukan untuk mengisi celah tersebut dengan mengkaji secara eksperimental pengaruh tipe pisau mesin pencacah terhadap kapasitas produksi, homogenitas cacahan, ketahanan pisau, serta biaya produksi dalam hubungannya untuk proses produksi RDF.

Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu

No	Judul	Penulis dan tahun	Metode	Hasil	Perbedaan Penelitian
1	<i>Improving knife milling performance for biomass preprocessing by using advanced blade materials</i>	Grejtak, T et all (2024)	Metode kuantitatif eksperimental dengan eksperimen penuh dengan durasi waktu yang berbeda tergantung ketahanan pisau dan jumlah yang mamapu dihasilkan	Pisau dengan material WC-Co dan <i>iron-borided</i> secara signifikan meningkatkan ketahanan, <i>throughput</i> , efisiensi energi, dan menurunkan biaya operasi dibandingkan pisau baja standar M2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penggunaan meterial bahan pisau yang ada di Indonesia dengan pemilihan 4 material yang memungkinkan</li> <li>• Menggunakan metode ujicoba pengulangan setiap jenis pisau 3x ujicoba untuk masing-masing kadar air</li> </ul>
2	Perancangan Mesin Pencacah Plastik Tipe <i>Shredder</i> dan Alat Pemotong Tipe <i>Reel</i>	Yudha Triadi, N., Martana, B., (2020)	Metode ini bersifat teknis-desain dan simulatif, tanpa uji lapangan atau eksperimen operasional	Desain mesin yang dikembangkan dinyatakan aman secara struktural dan fungsional.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metodenya adalah pemilihan konsep, perhitungan dan <i>Finite Element Analysis</i></li> <li>• Hasil penelitian berupa spesifikasi desain dan</li> </ul>

					keamanan secara struktural
3	Pengaruh kekuatan mata pisau mesin pencacah kompos menggunakan metode <i>finite element analysis</i>	(Kharisma & Ajiwiratama, 2023)	metode simulasi numerik berbasis <i>Finite Element Analysis</i> (FEA), dipadukan dengan perhitungan teoritis manual sebagai pembandingan	Desain mata pisau SS41 memenuhi standar kekuatan dan keamanan. Untuk dilanjutkan ke produksi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metodenya sangat jauh berbeda karena dalam penelitaian ini tidak ada ujicoba</li> <li>• Hasil penelitian tidak melakukan ujicoba langsung terhadap beberapa material</li> </ul>
4	Analisis Karakteristik Sampah Terhadap Kecepatan Pencacahan	(Nyoman et al., 2024)	bersifat eksperimen sederhana dengan pendekatan deskriptif kualitatif,	Sampah organik dengan Kadar air sampah 25% paling maksimal dalam pencacahan dan paling cepat tercacah	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tidak adanya variasi mata pisau yang digunakan</li> <li>• Yang dicacah adalah sampah organik, sedangkan untuk sampah RDF dalam penelitian ini menggunakan sampah anorganik.</li> </ul>

					<ul style="list-style-type: none"> <li>• Untuk sampah organik tidak cocok menggunakan mesin model shredder</li> </ul>
5	<p>Performa Mesin Pengolah Sampah Tpa Menjadi Bahan Bakar <i>Refuse Derived Fuels</i> Dengan Metode <i>Six Sigma</i> DMAIC</p>	(Mujayyin & Gunarso, 2021)	<p><i>Review paper</i> dengan merangkum hasil-hasil penelitian terdahulu tentang biodrying RDF.</p>	<p>Memberikan gambaran umum potensi <i>biodrying</i> dalam menurunkan kadar air RDF dan peningkatan nilai kalor.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fokus pada <i>proses biodrying</i> untuk menurunkan kadar air.</li> </ul>

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1. Desain Penelitian**

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental dengan metode uji coba dilakukan di Bengkel Madanitec dan TPST3R Nitikan. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan berbagai tipe pisau mesin pencacah yang akan diuji pada sampah anorganik untuk menghasilkan RDF. Hasil cacahan akan dianalisis untuk mengetahui pengaruh tiap tipe pisau terhadap jumlah RDF dan ukuran partikel sampah yang dihasilkan. Pendekatan dilakukan untuk mengetahui pengaruh tipe pisau pencacah dan kadar air RDF terhadap berat hasil cacahan, homogenitas hasil, biaya produksi pembuatan pisau, serta evaluasi permukaan pisau pasca penggunaan. Analisis dilakukan dengan statistik deskriptif, ANOVA dua arah, dan inspeksi permukaan pisau.

#### **3.2. Variabel Penelitian**

##### 3.2.1. Variabel bebas

Bahan pisau mesin pencacah sampah:

1. Baja SUP 9
2. Baja SKS 3
3. *Hot Roller stell plates ASTM A36* yang selanjutnya akan disebut sebagai plat esser dilapisi kawat las *Harfacing* HV 600 merk Nikko

Kadar air bahan yang akan dicacah menjadi RDF:

1. Kadar air < 30%
2. Kadar air antara 30% hingga 50%

##### 3.2.2. Variabel terikat

1. Berat hasil cacahan RDF (kg).
2. Homogenitas hasil cacahan RDF (% fraksi <5 cm).
3. Ukuran hasil cacahan RDF: Meliputi ukuran cacahan dan homogenitas.
4. Homogenitas hasil cacahan RDF.

5. Biaya produksi pembuatan pisau (Rp): Total biaya yang dikeluarkan untuk pembuatan setiap tipe pisau (meliputi bahan baku, proses pembuatan, dan beban *overhead*).
6. Evaluasi kondisi permukaan pisau setelah penggunaan terbatas (keausan awal atau retakan mikro).

### 3.2.3. Variabel kontrol

1. Jenis mesin pencacah yang digunakan.
2. Kecepatan mesin pencacah.
3. Gap/jarak antara ujung pisau.
4. Berat, Jenis dan komposisi sampah.

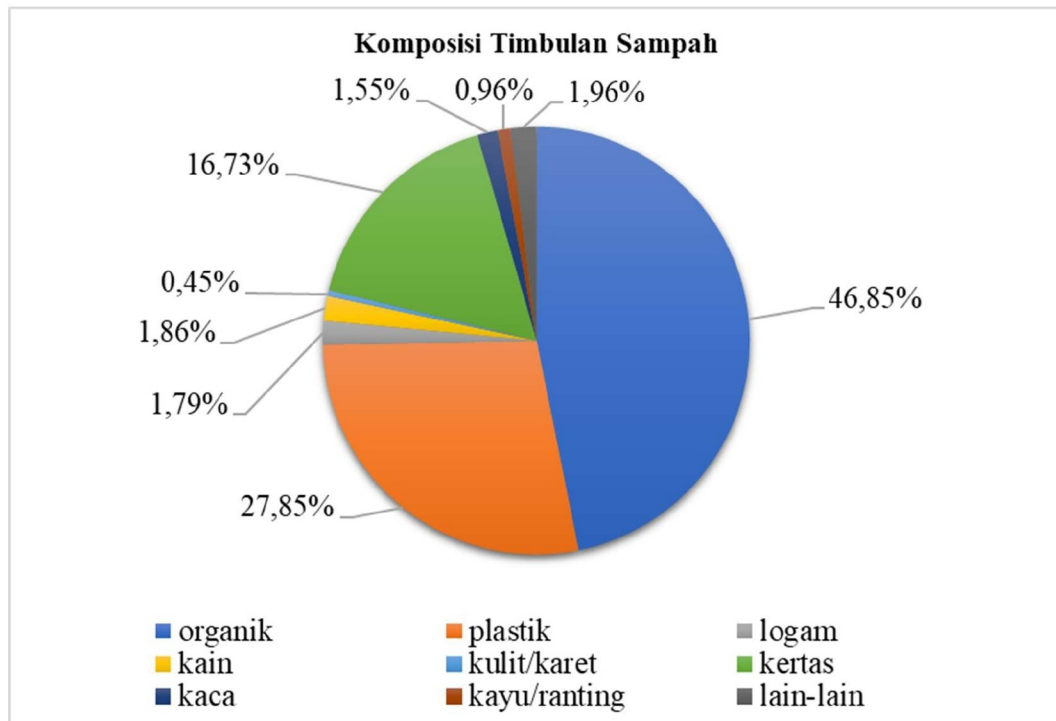
### 3.3. Komposisi Timbulan Sampah

Sampel RDF dalam penelitian ini bersumber dari sampah yang diolah di TPST3R Nitikan. Sampah tersebut berasal dari hasil pemilahan sampah domestik yang dikumpulkan dari kawasan permukiman dan fasilitas umum di wilayah pelayanan TPST3R Nitikan. Pengambilan sampel dilakukan setelah proses pemilahan awal untuk memastikan sampah yang digunakan telah terbebas dari material organik basah, logam, dan kaca. Selanjutnya, sampel mengalami proses pemilahan dan pengurangan kadar air sebelum digunakan dalam pengujian karakteristik fisik dan energi RDF sesuai dengan parameter penelitian.

Pengambilan sampel sampah pengujian menurut skema pada SNI 3964-2025 (Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2025), yaitu menggunakan box berkapasitas 500 liter. Box ukuran 500 akan dimasukkan sampah yang dari gerobak pengepul sampah. Setelah itu sampah berat sampah akan diukur secara total dan dan setiap jenisnya. Data pengambilan sampel dapat dilihat pada Tabel 3.1. di mana hasil pemilahan sampel pengujian terbagi menjadi beberapa komposisi sampah yang berbeda seperti organik, plastik, kertas, kaca, logam, karet/kulit, dan lain sebagainya. Persentase komposisi sampah pada TPST3R Nitikan yang pada saat pengambilan sampel untuk pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.1.

Tabel 3. 1 Data Pengambilan Sampel Sampah

	Box 1 (kg)	Box 2 (kg)	Box 3 (kg)
Berat sampah	34,8	35,2	35
Organik	15,83	16,93	16,43
Plastik	9,92	9,47	9,85
Logam	0,64	0,60	0,64
Kain	0,68	0,63	0,64
Kulit/karet	0,14	0,18	0,16
Kertas	5,74	5,98	5,85
Kaca	0,56	0,53	0,54
Kayu/ranting	0,35	0,32	0,34
Lain-lain	0,94	0,56	0,55



Gambar 3.1 Grafik Timbulan Sampah di TPST3R Nitikan

### 3.4. Populasi, Sampel Sampah dan Alat Penelitian

Populasi dalam penelitian ini adalah sampah anorganik yang berasal dari mesin pemilah sampah setelah dipisahkan dari fraksi organik. Selain itu, sampah juga dipilah secara manual untuk memisahkan kertas, kaca, botol, kain, dan kayu. Komposisi populasi didominasi oleh plastik namun tetap terdapat campuran material lain seperti organik. Klasifikasi plastik pada pengujian ini terdapat 2 tipe, yaitu *monolayer* dan *multilayer*.

#### 3.4.1. *Monolayer*

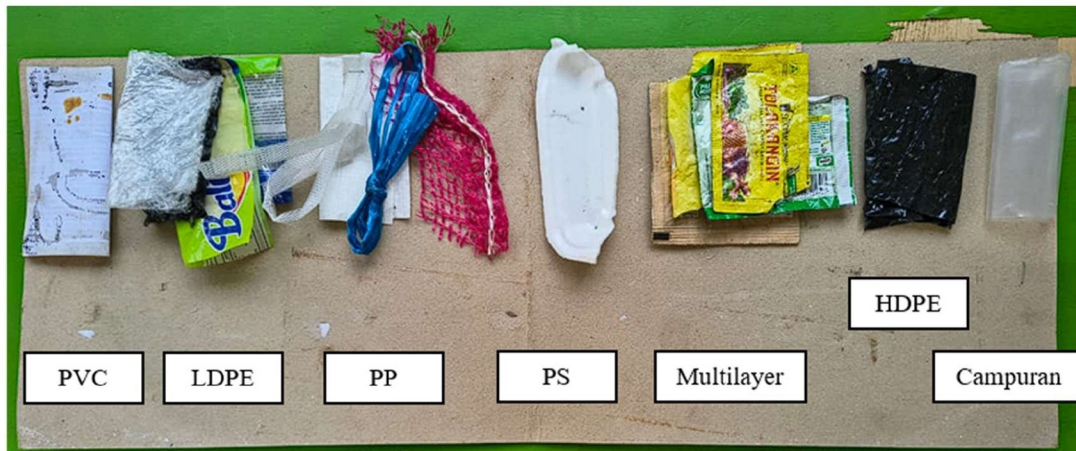
Plastik *monolayer* adalah plastik yang terbuat dari satu lapisan plastik saja, berikut beberapa jenis plastik *monolayer*: (ASTM International, 2010)

1. PET (*Polyethylene Terephthalate*)
2. HDPE (*High Density Polyethylene*)
3. PVC (*Polyvinyl Chloride*)
4. LDPE (*Low Density Polyethylene*)
5. PP (*Polypropylene*)
6. PS (*Polystyrene*)

#### 3.4.2. *Multilayer*

Plastik *multilayer* adalah jenis plastik yang terdiri dari beberapa lapisan, seperti lapisan logam, kertas, dan plastik dengan jenis yang berbeda. Contoh plastik *multilayer* seperti kemasan makanan dan minuman *sachet*, serta kemasan detergen/sabun.

Sampel penelitian diambil secara acak dari populasi tersebut dengan jumlah dan komposisi yang terkontrol. Setiap sampel dicacah menggunakan mesin pencacah dengan tipe pisau yang berbeda. Perlakuan terhadap sampel dilakukan dengan mempertahankan kondisi yang seragam, baik dari sisi berat, kadar air, maupun komposisi material, agar hasil perbandingan antar tipe pisau dapat dianalisis secara objektif.



Gambar 3. 2 Jenis-Jenis Plastik yang dicacah

Alat penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Mesin Pencacah plastik model madanitec R300
2. Conveyor panjang 4 meter
3. Neodymium magnet ukuran panjang 40 cm dan diameter 25 mm
4. Timbangan
5. *Stopwatch*
6. *Moisture meter*
7. *Feeler gauge*
8. Kunci torsi

### 3.5. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dimulai dengan beberapa tahap:

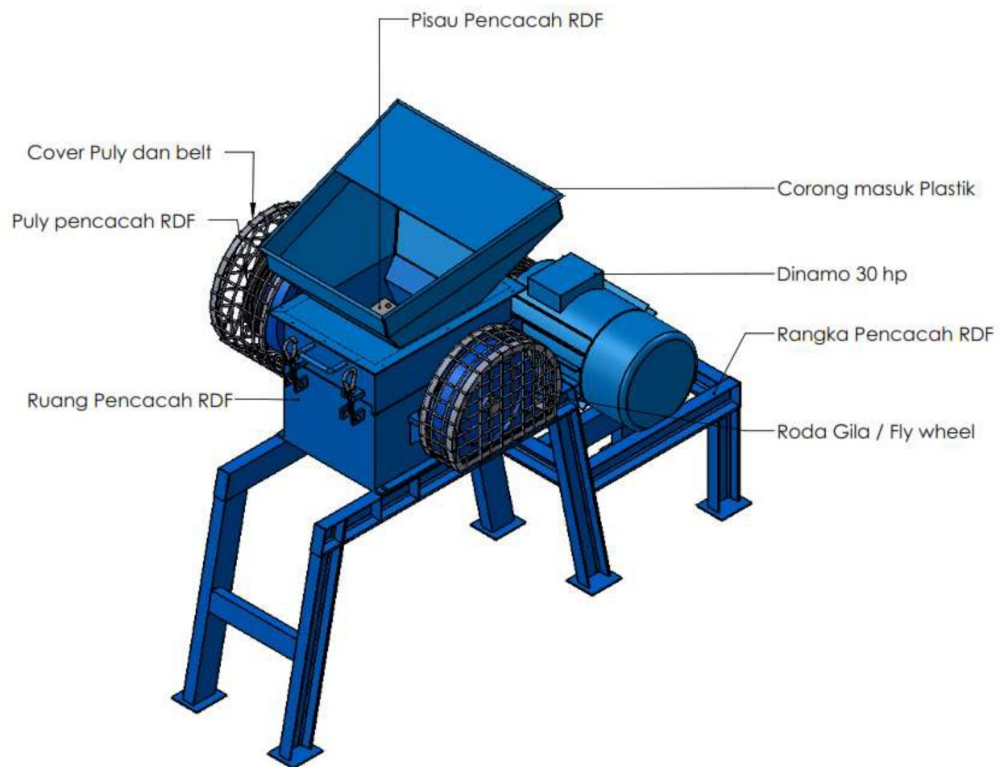
#### 3.4.1. Melakukan uji laboratorium terhadap karakteristik RDF

Uji lab ini dilakukan untuk mengetahui nilai kalori, kadar air, kadar abu, kadar volatil dan *fixed carbon*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kualitas RDF dan melakukan kalibrasi alat pengukur kadar air.

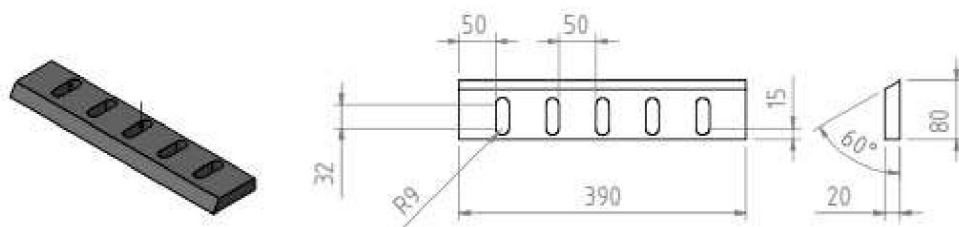
#### 3.4.2. Mesin pencacah RDF

Mesin pencacah yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan rancangan yang telah dikembangkan oleh peneliti dan sudah tersedia sebelumnya. Bentuk mesin pencacah sampah RDF yang digunakan dalam penelitian ini dapat

dilihat melalui Gambar 3.2. Jumlah pisau yang digunakan adalah sebanyak 5 pcs, terdiri dari 2 pisau statis dan 3 pisau dinamis. Bentuk pisau yang digunakan dapat dilihat melalui Gambar 3.3. Ukuran pisau yang digunakan adalah panjang x lebar x tebal = 390x90x20 mm.



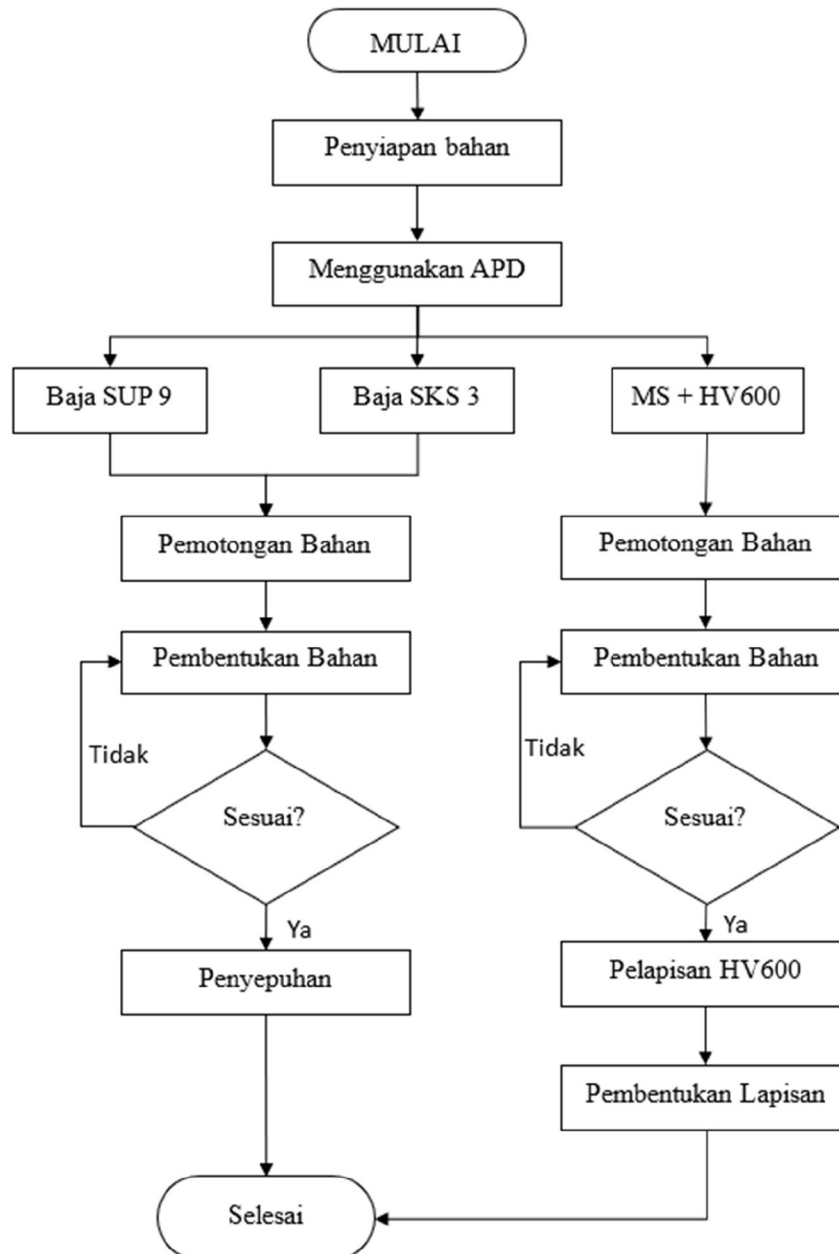
Gambar 3. 3 Desain Mesin Pencacah RDF



Gambar 3. 4 Desain Pisau Mesin Pencacah RDF

### 3.4.3. Pisau pencacah sampah

Bahan baku pisau yang diperoleh dari *supplier* dilakukan penyimpanan oleh gudang. Proses produksi pencacah sampah akan dilakukan berbeda setiap bahan pisau karena ada petunjuk terhadap proses material yang akan dilakukan.



Gambar 3. 5 Diagram Alir Pembuatan Pisau Mesin Pencacah RDF

1. Baja SUP 9
  - a. Menyiapkan plat baja SUP 9.
  - b. Gunakan alat keselamatan kerja dengan benar.
  - c. Memotong plat baja SUP 9 dengan ukuran panjang 39 cm lebar 9 cm tebal 2 cm.
  - d. Menjepit plat baja tersebut pada ragum.
  - e. Mengasah plat baja menggunakan mesin gerinda tangan dengan mata gerinda slep bata sesuai gambar.
  - f. Jika pisau sudah terbentuk, dilakukan penyepuhan pisau dengan dimasukkan ke dalam tungku penyepuhan.
2. Baja SKS 3
  - a. Menyiapkan plat baja SKS3.
  - b. Gunakan alat keselamatan kerja dengan benar.
  - c. Memotong plat baja SKS3 dengan ukuran panjang 39 cm lebar 9 cm tebal 2 cm.
  - d. Menjepit plat baja tersebut pada ragum.
  - e. Mengasah plat baja menggunakan mesin gerinda tangan dengan mata gerinda slep bata atau mata gerinda potong sesuai gambar.
  - f. Jika pisau sudah terbentuk, dilakukan penyepuhan pisau dengan dimasukkan ke dalam tungku penyepuhan.
3. *Mild Steel* dilapisi kawat las *hardfacing* HV 600 merk Nikko
  - a. Menyiapkan plat esser besi ketebalan 20 mm.
  - b. Gunakan alat keselamatan kerja dengan benar.
  - c. Memotong plat esser besi dengan ukuran panjang 39 cm lebar 9 cm menggunakan brander las.
  - d. Menjepit plat esser 20 mm pada ragum.
  - e. Mengasah plat esser 20 mm menggunakan mesin gerinda tangan dengan mata gerinda slep bata sesuai gambar.

- f. Jika pisau sudah terbentuk, dilakukan pelapisan las menggunakan elektroda HV 600 pada permukaan yang telah dibentuk pisau hingga tertutup seluruhnya.
- g. Gerinda hasil las tersebut hingga berbentuk tajam sesuai gambar.

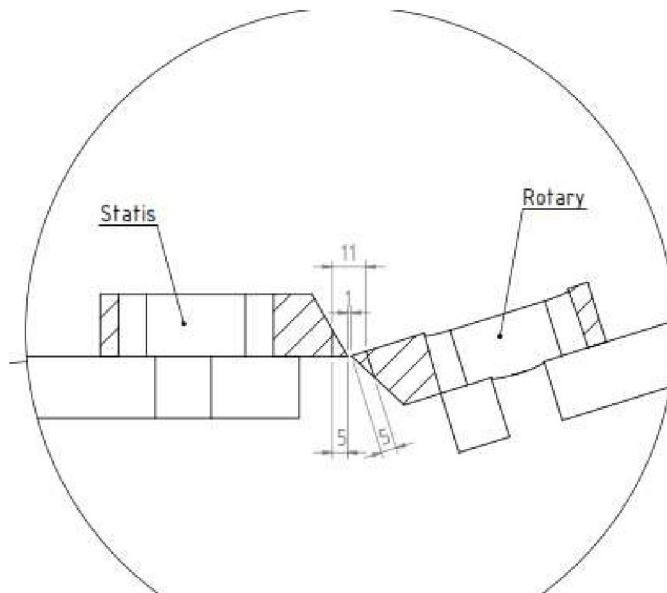
#### 3.4.4. Perhitungan biaya produksi

Biaya produksi terdiri dari biaya bahan baku, bahan penolong, depresiasi alat, biaya tenaga kerja dan biaya *overhead*. Biaya *overhead* disini adalah biaya perawatan, biaya listrik, dan biaya makan tenaga kerja.

1. Biaya pembuatan pisau dihitung berdasarkan jenis material pisau, proses pembuatan (pemotongan, pembentukan, pengasahan).
2. Biaya perawatan (tenaga kerja dan bahan) yang akan dilakukan dalam satu satuan waktu yang sama.

#### 3.4.5. Ujicoba pencacahan sampah

Pisau pencacah dipasang dengan menggunakan kunci torsi hingga 299 Nm sesuai ketentuan baut yang digunakan. Pemasangan pisau dilakukan hingga posisi *pitch* 1 mm.



Gambar 3. 6 Pemasangan Pisau

Uji pencacahan sampah RDF dengan 2 variabel kadar air akan dilakukan di Bengkel Madanitec Jogja. Bahan uji yang digunakan adalah plastik LDPE, plastik *polystyrene*, dengan ukuran minimal 90% diatas 5 cm. Foto ujicoba yang dilakukan bisa dihat melalui Gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Posisi Operator dalam Ujicoba

Ujicoba dilakukan dengan 3 tipe pisau x 2 kadar air x 3 ulangan sehingga total sebanyak 18 kali ujicoba. Jumlah bahan yang digunakan setiap kali ujicoba sebanyak 20 kg.

1. Cara ujicoba, pengukuran dan perhitungan kapasitas keluaran mesin pencacah RDF:
  - a. Timbang bahan awal yang merupakan masukan yang akan dihancurkan.
  - b. Ukur kadar air pada tiap karung menggunakan *Moisture Meter*.
  - c. Pastikan kadar air sesuai dengan target bahan baku yang akan diujicoba.
  - d. Pastikan semua kondisi mesin sudah siap digunakan.
  - e. Menggunakan separator magnet untuk menghindari batu hitam dan logam masuk ke ruang pencacah.

- f. Metode ujicoba ini harus memenuhi ruang input mesin pencacah sampai penuh agar mesin berfungsi secara optimal.
- g. Menata sampah terlebih dahulu pada mesin conveyor dengan ketentuan yaitu sampah RDF pada bagian depan conveyor (sebelum corong mesin pencacah RDF) sebanyak 3 kg.
- h. Sampah RDF dimasukkan ke conveyor dengan kapasitas sampah yg lebih sedikit  $\pm 1$  kg dengan jarak 2-3 detik (dari putaran conveyor) atau  $\pm 50$  cm. (poin ini dilakukan secara *continue* sampai sampah habis).
- i. Operasikan mesin sampai putaran optimal, kemudian masukkan bahan awal kedalam ruang penghancur melalui lubang pemasukkan.
- j. Setelah pengeluaran bahan yang telah dihancurkan stabil dari lubang pengeluaran, tampung bahan yang telah hancur selama waktu yang ditentukan.
- k. Gunakan CCTV untuk melakukan perekaman proses ujicoba.
- l. Timbang dan catat bobot bahan hancur tersebut.
- m. Perlakuan ini dilakukan dalam 3 kali ulangan yang sama.

Operator dalam proses ujicoba ini dibutuhkan sebanyak 4 orang yang masing-masing bertugas:

- a. Operator 1 = *Input* sampah ke conveyor. sampah tetap *continue* dengan ketentuan. Operator ini juga menekan tombol *start* dan *stop* pada panel utama.
- b. Operator 2 = Penataan sampah dan pengoperasian magnet pada *belt* conveyor.
- c. Operator 3 = Pengatur input sampah pada mesin pencacah RDF dan menggunakan *stopwatch* untuk melakukan pencatan mulai ujicoba.
- d. Operator 4 = Pengatur *output* hasil cacahan RDF, terutama menggunakan sapu lidi dan menggeser jika sudah penuh lokasinya.

Setelah melakukan ujicoba. Kapasitas keluaran mesin penghancur dapat dihitung dengan rumus:

$$Kap = \frac{Bbh}{t} \times 60 \quad (1)$$

Keterangan:

$Kap$  = Kapasitas keluaran mesin penghancur (kg/jam)

$Bbh$  = Bobot bahan hancur yang ditampung dari lubang pengeluaran selama waktu tertentu (kg)

$t$  = Waktu yang ditentukan untuk menampung keluaran bahan hancur melalui lubang pengeluaran (menit)

## 2. Cara pengukuran dan perhitungan homogenitas mesin pencacah RDF:

Berdasarkan SNI 7590:2011 (Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2011) terdapat metode untuk melakukan uji homogenitas yaitu:

- a. Ambil sampel RDF hasil cacahan sebanyak 100 gram, lakukan 3 kali ulangan untuk masing-masing jenis pisau dan masing-masing kadar air.
- b. Pisahkan hasil cacahan RDF menjadi 2 kelompok yaitu Kelompok 1 ( $Bb_1$ ): Hasil cacahan yang panjangnya  $\leq 50$  mm (standar RDF dari industri semen), dan Kelompok 2 ( $Bb_2$ ): Hasil cacahan yang panjangnya  $> 50$  mm.
- c. Timbang berat dari masing-masing kelompok (dalam gram).
- d. Gunakan rumus perhitungan homogenitas RDF:

$$P_{homogenitas} = \frac{Bb_1}{Bb_1 + Bb_2} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

$P_{homogenitas}$  = Persentase panjang hasil cacahan (%)

$Bb_1$  = Hasil cacahan panjang  $\leq 50$  mm (kg)

$Bb_2$  = Hasil cacahan panjang  $> 50$  mm (kg)

Pengujian seharusnya dilakukan dengan mengambil semua bahan yang keluar dari mesin pemilah, tetapi karena resiko bahan berbahaya. Hal ini dilakukan agar tidak ada bahan yang merusak mesin pencacah sampah RDF. Operator 1 orang ditugaskan untuk pemilahan dengan manual dan juga menggunakan separot magnet. Bahan berbahaya ini adalah batu dan logam keras yang jumlahnya dibawah 0,5%.

Komposisi sampah dapat dilihat melalui tabel 3.2 yang sebagian besar terdiri dari berbagai jenis plastik. Sedangkan sampah organik tidak termasuk dalam penyortiran ini karena tidak ada resiko akan merusakkan mesin. Jumlah sampah organik yang sedikit seperti yang diperlihatkan pada tabel 3.2 sehingga dalam penelitian ini sampah organik akan dimasukkan menjadi RDF. Plastik jenis PET tidak digunakan dalam penelitian ini karena dalam proses pemilahan manual sebelum masuk ke mesin pemilah telah diambil dulu dan dijual pengepul rosok seperti yang terlihat pada Gambar 2.1.

Tabel 3. 2 Komposisi Sampah RDF pada Pengujian

<b>Jenis Sampah</b>	<b>Persentase</b>
PET	0 %
HDPE	5,73 %
PVC	7,09 %
LDPE	26,18 %
PP	14,18 %
PS	5,32 %
Multilayer	35,46 %
Campuran (kode 7)	3,55 %
Organik	2,48 %

#### 3.4.6. Morfologi dan analisis permukaan pisau

Setelah seluruh uji coba (6 kali penggunaan per tipe), pisau dianalisis untuk mengetahui kondisi awal keausan. Pemeriksaan dilakukan menggunakan:

1. Pengamatan langsung dengan membandingkan kondisi foto sebelum dan sesudah pisau itu digunakan.
2. *Spotcheck Magnaflux (Liquid Penetrant Test)* yang terdiri dari tiga tahap: pertama pembersihan permukaan menggunakan SKC-S, kedua menggunakan *penetrant* merah SKL-SP1 untuk menyusup ke retakan mikro, ketiga

menggunakan *developer* SKD-S2 untuk menarik cairan ke permukaan sehingga retakan terlihat jelas.

3. Dilakukan penimbangan berat pisau sebelum dan sesudah digunakan menggunakan timbangan digital presisi untuk mengetahui adanya pengurangan massa. Jika terjadi perbedaan signifikan maka digunakan untuk data, jika tidak maka akan diabaikan saja.

Tujuan pengujian ini adalah mendeteksi adanya cacat permukaan awal seperti goresan, keretakan halus, keausan ringan, serta kehilangan massa pisau setelah penggunaan terbatas.

Pengujian dengan menggunakan *liquid penetrant test* melalui beberapa tahap yaitu:

1. Siapkan benda uji.
2. *Preclean* dengan menggunakan Semprot *Cleaner* (SKC-S) pada permukaan benda uji yang akan dilakukan pengujian.
3. Lap permukaan benda uji dengan kain majun dan diamkan minimal 1 menit.
4. Semprot *Red Penetrant* (SKL-SP2) pada permukaan benda uji.
5. Diamkan minimal selama 5 menit.
6. *Solvent Wipe*
  - a. Lembabkan kain majun dengan *Cleaner* (SKC-S) (jangan terlalu basah).
  - b. Bersihkan sisa-sisa *Red Penetrant* pada permukaan benda uji menggunakan kain majun secara searah.
  - c. Diamkan selama 1–10 menit.
7. *Apply Developer*
  - a. Kocok *Developer* (SKD-S2) terlebih dahulu.
  - b. Semprotkan *Developer* (SKD-S2) pada permukaan benda uji dengan jarak 15–20 cm dari permukaan benda uji.
  - c. Diamkan 3–30 menit.
8. Lakukan pengamatan pada benda uji menggunakan lampu.
9. Catat hasil pengamatan.

### 3.6. Teknik Analisis Data

1. Statistik Deskriptif: Menampilkan rata-rata, standar deviasi, dan grafik hasil berat, homogenitas, biaya pisau, dan selisih berat pisau. Data disajikan dalam bentuk nilai rata-rata (mean), standar deviasi, nilai min–mak, serta grafik pendukung untuk memudahkan interpretasi dan perbandingan antar tipe pisau dan variasi kadar air.
2. Analisis Biaya: Total biaya pembuatan pisau dibandingkan dengan performa dan hasilnya: Biaya yang dianalisis mencakup biaya bahan baku, biaya proses pembuatan, biaya tenaga kerja, dan biaya overhead. Selanjutnya, biaya produksi pisau dibandingkan dengan performa pencacahan yang dihasilkan, khususnya kapasitas produksi dan homogenitas RDF.
3. Uji Normalitas & Homogenitas: yaitu *Kolmogorov-Smirnov Levene's Test*. Uji normalitas dilakukan menggunakan metode Kolmogorov–Smirnov untuk mengetahui apakah data berdistribusi normal.
4. Uji ANOVA Dua Arah untuk menguji pengaruh tipe pisau, kadar air, dan interaksinya terhadap semua variabel terikat.
5. Analisis visual permukaan, menghitung panjang retakan yg akan terlihat pada *penetrant test* foto makro/mikroskopis dari permukaan pisau setelah uji coba digunakan untuk mengevaluasi potensi keretakan atau keausan awal. Metode uji *penetrant test* digunakan untuk melihat kertakan (ASTM International, 2021). anjang dan pola retakan yang muncul dianalisis secara kualitatif untuk membandingkan ketahanan masing-masing tipe pisau.

### 3.7. Interpretasi Hasil

Hasil dari uji statistik akan diinterpretasikan untuk mengetahui:

1. Tipe pisau yang memberikan hasil cacahan RDF paling optimal dalam hal ukuran, dan homogenitas.
2. Tipe pisau dengan daya tahan terbaik yang meminimalkan keausan dan memaksimalkan jumlah sampah yang dapat dicacah.

3. Analisis biaya-efektivitas untuk mengetahui pisau mana yang paling ekonomis dalam proses pencacahan sampah menjadi RDF.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Pembuatan Pisau Pencacah Sampah RDF**

Waktu pengerjaan total dalam pembuatan pisau pencacah RDF tipe SUB 9, baja SKS 3, dan plat esser yg dilapisi HV 600 dapat dilihat pada tabel 4.1, sedangkan untuk instruksi kerja secara lengkap dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4. 1 Waktu Pengerjaan Pisau Pencacah RDF

<b>Instruksi Kerja</b>	<b>Waktu (menit)</b>
Pembuatan pisau pencacah RDF tipe SUB 9	1830
Pembuatan pisau pencacah RDF tipe SKS 3	1140
Pembuatan pisau pencacah RDF tipe plat esser dilapisi HV 600	3390

Proses pembuatan pisau ini menggunakan metode yang berbeda untuk setiap bahan, hal ini disebabkan adanya proses khusus setiap material. Dokumentasi dari setiap proses dapat dilihat melalui lampiran tesis ini.

#### **4.2. Biaya Produksi Pisau**

Setiap pisau yang akan digunakan untuk melakukan pencacahan memiliki harga bahan baku dan biaya produksi yang berbeda. Biaya produksi paling banyak dipengaruhi oleh biaya tenaga kerja. Biaya untuk setiap tenaga kerja per jam akan dibuat sama.

Biaya pembuatan dari pisau jenis baja bekas SUB 9, tipe SKS 3 dan tipe plat esser dilapisi HV 600 dapat dilihat melalui Tabel 4.4, Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 yang terlihat dibawah ini.

Tabel 4. 2 Biaya Produksi Pisau Pencacah RDF Tipe Baja Sub 9

Keterangan	@	satuan	biaya	Total Biaya
endmill widia Ø6mm Tokiwa	1,00	pcs	Rp 41.256	Rp 41.256
endmill Ø12mm Carbide	1,00	pcs	Rp 190.000	Rp 190.000
endmill widia Ø10mm Tokiwa	2,00	pcs	Rp 119.131	Rp 238.262
strip plat baja / pegas tebal 20mm lebar 90mm	2,15	m	Rp 182.198	Rp 391.726
pahat insert TPKN2204	4,00	pcs	Rp 10.875	Rp 43.500
gas lpg 3 kg	0,47	pcs	Rp 23.000	Rp 10.810
gas oksigen	0,92	btl	Rp 66.600	Rp 61.272
tenaga kerja	4,36	hari	Rp 210.000	Rp 915.600
<b>Total Pengeluaran</b>				<b>Rp 1.892.426</b>

Tabel 4. 3 Biaya Produksi Pisau Pencacah RDF Baja Tipe SKS 3

Keterangan	@	sat	biaya	Total Biaya
Plat Baja SKS3 20mm x 80mm x 390mm	5,00	pcs	Rp 428.810	Rp 2.144.050
endmill widia Ø10mm Tokiwa	3,00	pcs	Rp 119.131	Rp 357.393
pahat insert TPKN 22	5,00	pcs	Rp 10.875	Rp 54.375
tenaga kerja	2,71	hari	Rp 210.000	Rp 569.100
<b>Total Pengeluaran</b>				<b>Rp 3.124.918</b>

Tabel 4. 4 Biaya Produksi Baja Bekas Tipe Plat Esser 20mm Dilapisi HV 600

Keterangan	@	sat	biaya	Total Biaya
plat esser 20 mm	0,17	m <sup>2</sup>	Rp 2.083.718	Rp 354.232
kapur besi	0,50	pcs	Rp 832	Rp 416
batu gerinda slep 4" WD	14	pcs	Rp 5.278	Rp 73.898
sikat kawat gerinda	1	pcs	Rp 5.880	Rp 5.880
Nozzle blander strong 8 no 3	1	pcs	Rp 20.785	Rp 20.785
elektroda HV-600 3,2mm nikko (1kg=23)	153	pcs	Rp 2.679	Rp 409.885
gas lpg 3 kg	0,03	pcs	Rp 23.000	Rp 690
gas oksigen	0,06	btl	Rp 66.600	Rp 3.996
pahat insert TPKN 22	10	pes	Rp 10.875	Rp 108.750
batu gerinda slep ss 4"	1	pcs	Rp 5.518	Rp 5.518
tenaga kerja	8,07	hari	Rp 210.000	Rp 1.694.700
<b>Total Pengeluaran</b>				<b>Rp 2.678.751</b>

Bahan pisau Baja Sub 9 membeli dari pegas daun Bekas yang tersedia di pengepul rosokan sparepart mobil atau truk, hal ini yang membuat harga pegas baja

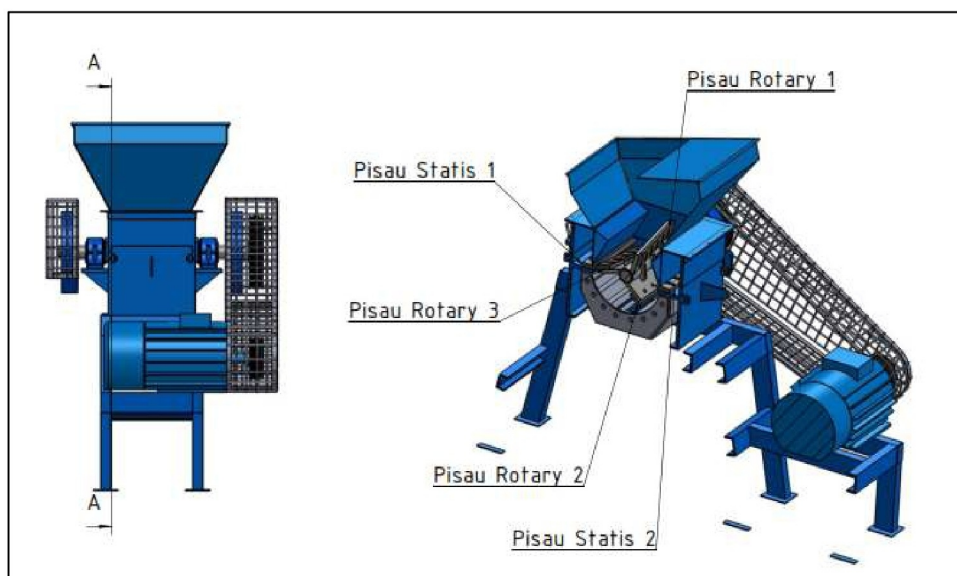
ini relatif cukup murah dibandingkan dengan baja tipe SKS 3. Bahan plat esser memang sangat murah karena bukan dibuat dari baja hanya menggunakan plat lunak.

Lama waktu produksi dari ketiga bahan ini memiliki perbedaan cukup signifikan. Baja SKS 3 mempunyai total proses waktu yang paling singkat karena hanya melakukan dua proses utama yaitu pembuatan alur dan proses pengasahan pisau. Baja Sub 9 selain melakukan kedua proses utama seperti baja SKS 3 ada penambahan proses pelurusan bahan baku yang meleleknkung. Plat Esser yang dilapisi HV 600 selain melakukan kedua proses utama seperti baja SKS 3 ada penambahan proses pengelasan dan pengasahan pisau ulang setelah dilakukan pengelasan.

Dari ketiga bahan tersebut dapat dilihat bahwa untuk harga pokok produksi yang paling mahal adalah SKS 3, disusul oleh plat esser dilapisi HV 600 dan temurah adalah plat baja bekas SUB 9.

#### 4.3. Hasi Ujicoba Pencacah RDF

Sesuai dengan metode penelitian maka dilakukan ujicoba dengan 4 operator yang telah dipersiapkan sesuai dengan metode penelitian.

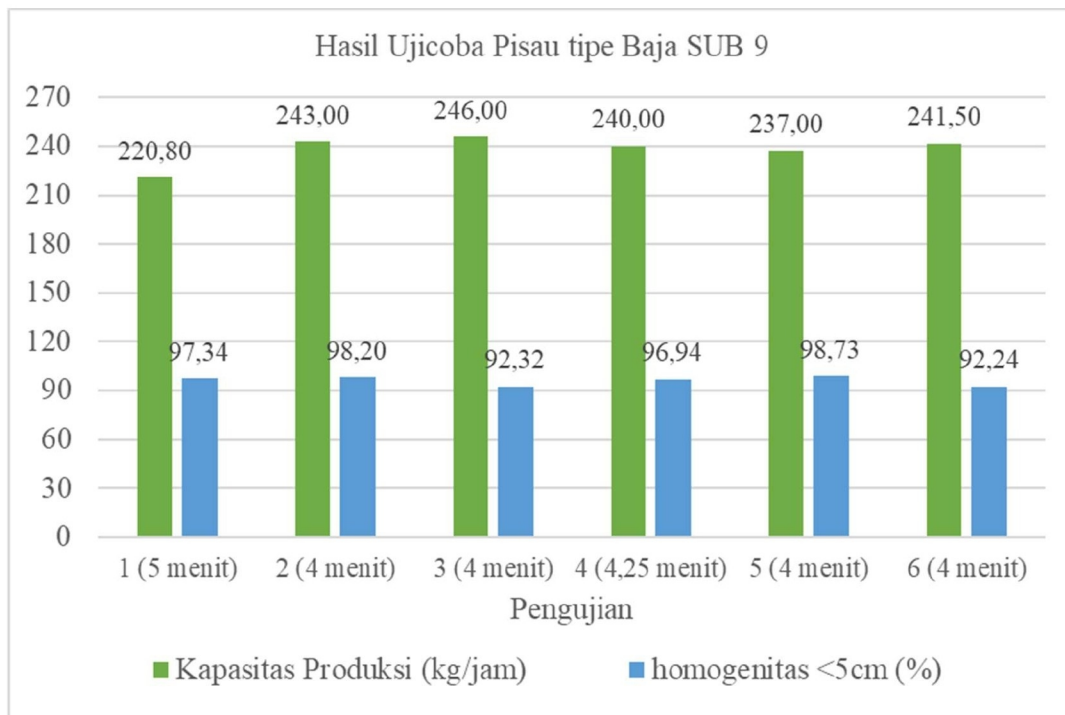


Gambar 4. 1 Posisi Pisau

Hasil ujicoba pencacahan sampah RDF dengan 3 jenis bahan pisau baja dapat dilihat melalui tabel 4.5 dibawah ini:

Tabel 4. 5 Hasil Ujicoba Pisau Tipe Baja SUB 9

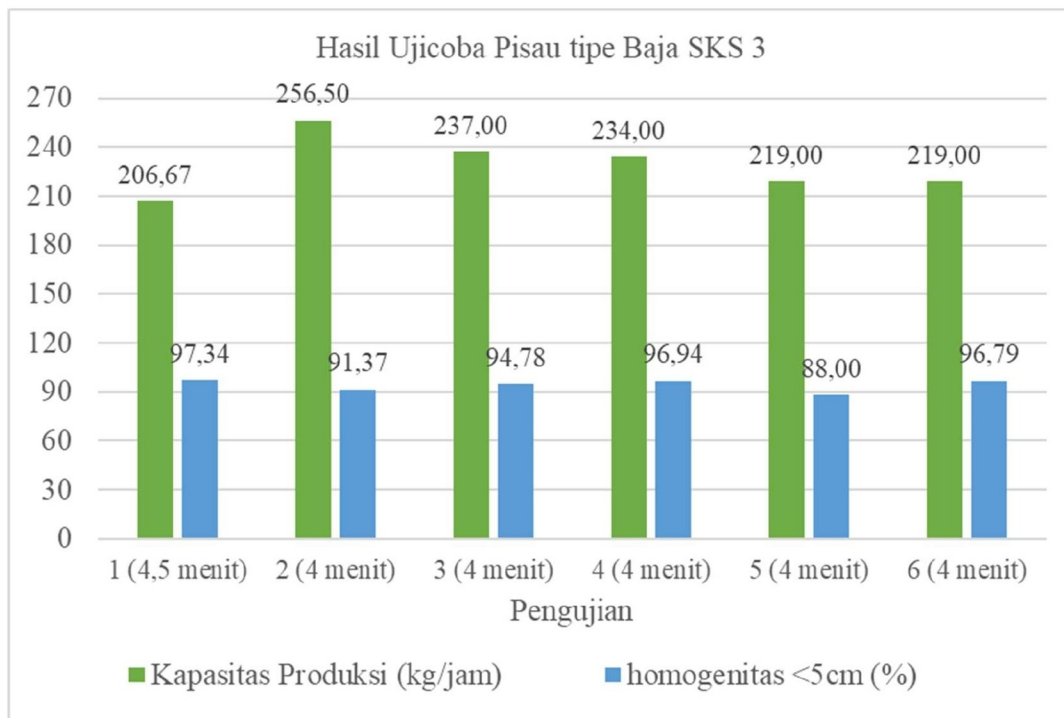
No	Kadar Air Awal (%)	Berat Awal (kg)	Kadar Air Akhir (%)	Berat Akhir (kg)	Waktu Ujicoba (menit)	Kapasitas Produksi (kg/jam)	homogenitas <5cm (%)
1	25,45	20,00	24,30	18,40	5,00	220,80	97,34
2	27,10	20,00	27,10	16,20	4,00	243,00	98,20
3	18,23	20,00	19,50	16,40	4,00	246,00	92,32
4	44,65	20,00	44,57	17,00	4,25	240,00	96,94
5	44,38	20,00	43,70	15,80	4,00	237,00	98,73
6	43,45	20,00	41,10	16,10	4,00	241,50	92,24



Gambar 4. 2 Grafik Hasil Ujicoba Tipe Baja SUB 9

Tabel 4. 6 Hasil Ujicoba Pisau Tipe Baja SKS 3

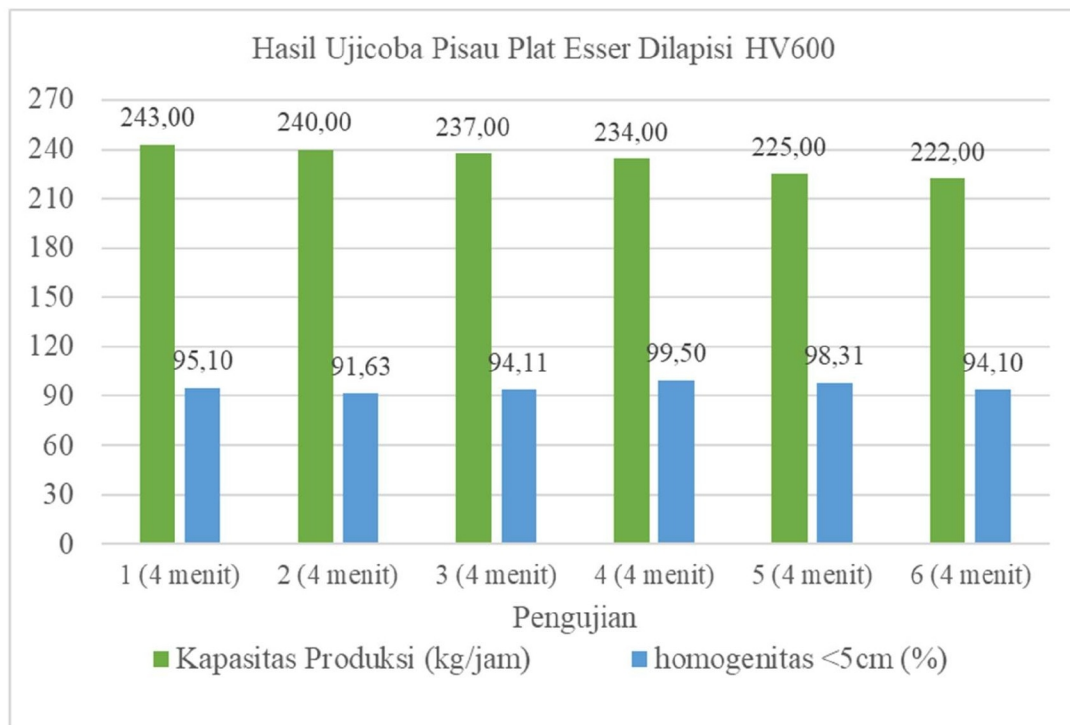
No	Kadar Air Awal (%)	Berat Awal (kg)	Kadar Air Akhir (%)	Berat Akhir (kg)	Waktu Ujicoba (menit)	Kapasitas Produksi (kg/jam)	homogenitas <5cm (%)
1	21,25	20,00	15,95	15,50	4,50	206,67	97,34
2	21,73	20,00	16,65	17,10	4,00	256,50	91,37
3	25,68	20,00	21,23	15,80	4,00	237,00	94,78
4	45,55	20,00	46,30	15,60	4,00	234,00	96,94
5	43,78	20,00	41,77	14,60	4,00	219,00	88,00
6	45,25	20,00	38,55	14,60	4,00	219,00	96,79



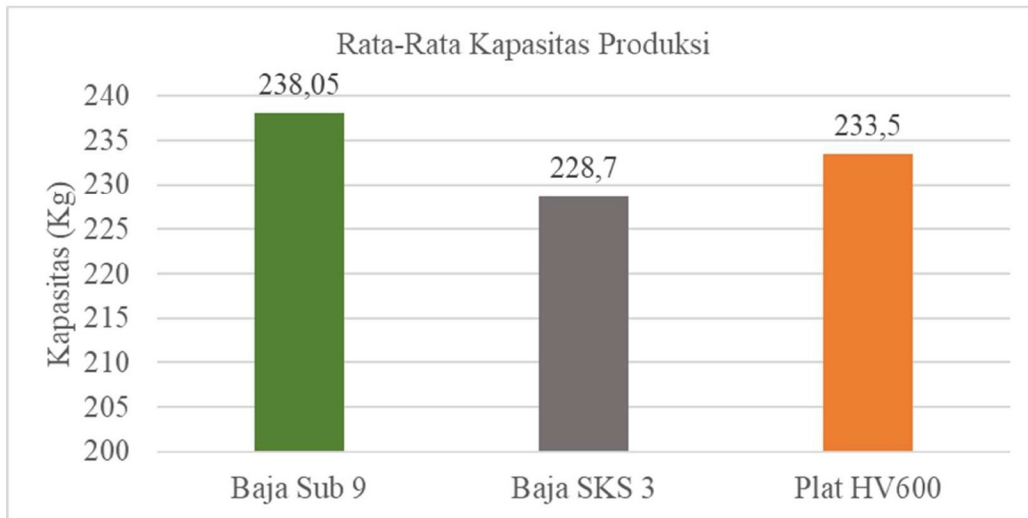
Gambar 4. 3 Grafik Hasil Ujicoba Pisau Tipe Baja SKS 3

Tabel 4. 7 Hasil Ujicoba Pisau Tipe Plat Esser dilapisi HV600

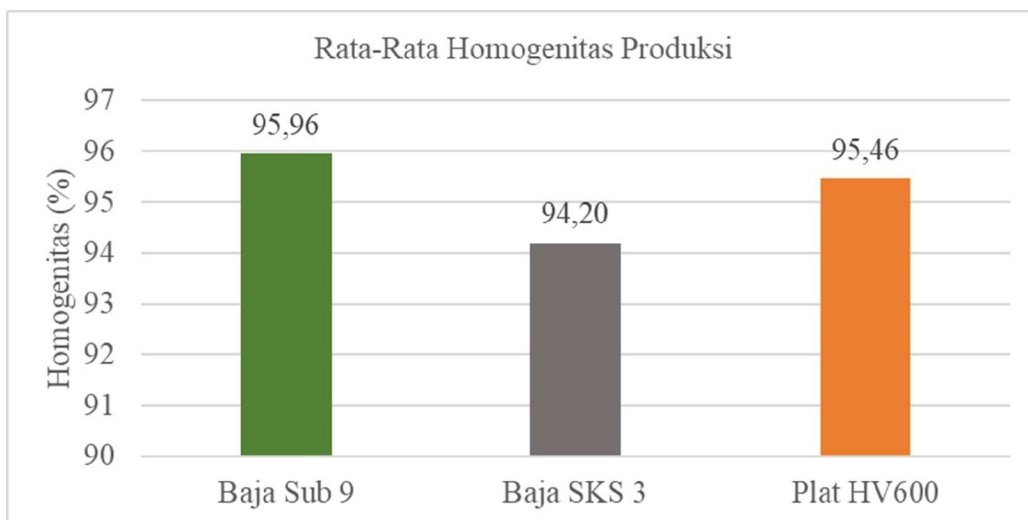
No	Kadar Air Awal (%)	Berat Awal (kg)	Kadar Air Akhir (%)	Berat Akhir (kg)	Waktu Ujicoba (menit)	Kapasitas Produksi (kg/jam)	homogenitas <5cm (%)
1	20,15	20,00	13,70	16,20	4,00	243,00	95,10
2	27,25	20,00	28,20	16,00	4,00	240,00	91,63
3	26,10	20,00	27,70	15,80	4,00	237,00	94,11
4	43,90	20,00	41,35	15,60	4,00	234,00	99,50
5	46,90	20,00	43,85	15,00	4,00	225,00	98,31
6	48,40	20,00	45,10	14,80	4,00	222,00	94,10



Gambar 4. 4 Grafik Hasil Ujicoba Pisau Tipe Plat Esser dilapisi HV600



Gambar 4. 5 Grafik Rata-Rata Kapasitas Produksi



Gambar 4. 6 Grafik Rata-Rata Homogenitas Produksi

Dari setiap pengujian yang dilakukan, rata-rata laju pemasukan sampahnya yaitu 6,1 kg/menit. Terdapat 0,7% sampah yang mengandung besi sehingga sampah tersebut tidak diuktkan untuk masuk ke mesin pencacah sampah RDF.

Setelah penggunaan, pisau dilakukan pengecekan terhadap keausan dan keretakan terhadap mata pisau yang digunakan pada mesin pencacah plastik. Pengujian dilakukan terhadap tiga tipe pisau pencacah RDF, yaitu baja sub 9, baja SKS 3, dan plat esser dilapisi HV600. Parameter yang diukur adalah kapasitas

produksi (kg/jam) dan homogenitas cacahan <5 cm (%). Ringkasan nilai rata-rata, standar deviasi, dan rentang nilai disajikan pada Gambar 4.7. sampai Gambar 4.9.

Pisau dilakukan pengecekan secara manual untuk mengetahui hilangnya logam akibat gesekan yang terjadi didalam mesin. Metode ini menggunakan *software* 3D Solidworks dengan melakukan penginputan data besi yang hilang kedalam 3D *software*, Gambar 4.10 merupakan contoh untuk melakukan pengambilan data volume sisa dari ujung pisau.

Statis 1		
Statis 2		
Rotary 1		
Rotary 2		
Rotary 3		

Gambar 4. 7 Ujung Pisau Baja Sub 9 Setelah Digunakan

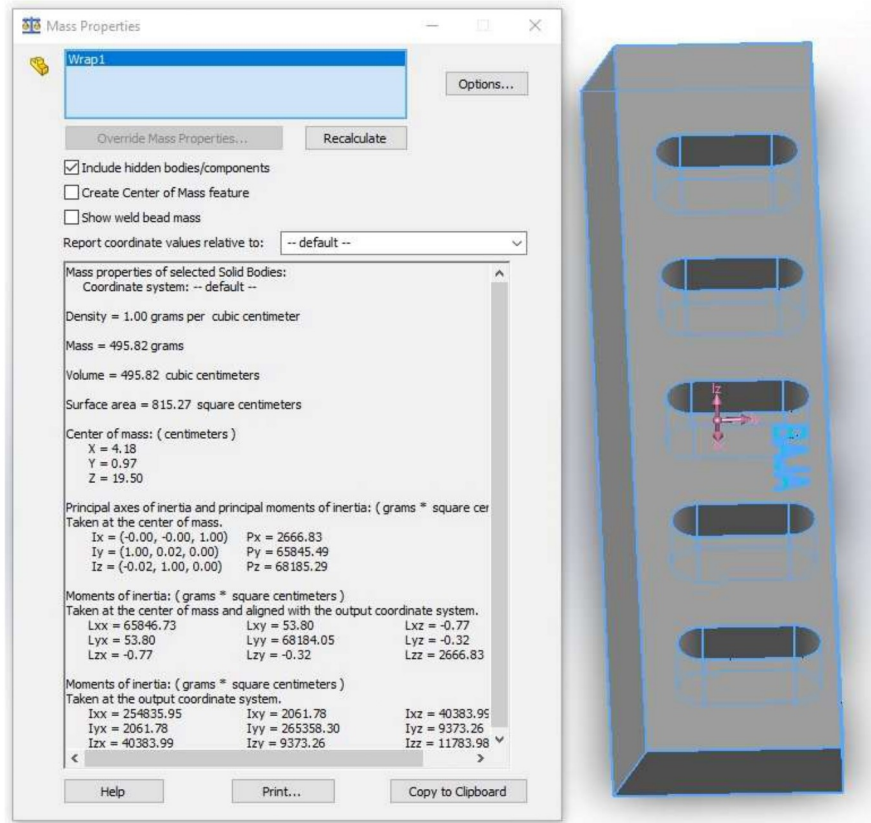
Statis 1		
Statis 2		
Rotary 1		
Rotary 2		

Rota ry 3		
--------------	--	--

Gambar 4. 8 Ujung Pisau SKS 3 Setelah Digunakan

Statis 1		
Statis 2		
Rota ry 1		
Rota ry 2		
Rota ry 3		

Gambar 4. 9 Pisau Plat Esser Dilapisi HV 600 Setelah Digunakan



Gambar 4. 10 Analisis *Mass Properties*

Tabel 4. 8 Persentase Sisa Ujung Pisau Setelah Ujicoba

	Ujung Pisau Baja SUB 9			Ujung Pisau SKS 3			Ujung Pisau plat dilapisi HV600		
	Volume			Volume			Volume		
Pisau utuh	45,03	cm <sup>3</sup>	100%	45,03	cm <sup>3</sup>	100%	45,03	cm <sup>3</sup>	100%
statis 1	44,95	cm <sup>3</sup>	99,82%	44,88	cm <sup>3</sup>	99,67%	44,90	cm <sup>3</sup>	99,71%
statis 2	44,86	cm <sup>3</sup>	99,62%	44,89	cm <sup>3</sup>	99,69%	44,88	cm <sup>3</sup>	99,67%
Rotary 1	44,91	cm <sup>3</sup>	99,73%	44,90	cm <sup>3</sup>	99,71%	44,34	cm <sup>3</sup>	98,47%
Rotary 2	44,90	cm <sup>3</sup>	99,71%	44,88	cm <sup>3</sup>	99,67%	44,85	cm <sup>3</sup>	99,60%
Rotary 3	44,88	cm <sup>3</sup>	99,67%	44,87	cm <sup>3</sup>	99,64%	44,43	cm <sup>3</sup>	98,67%

#### 4.4. Hasil Uji Kapasitas Kualitas, Produksi dan Homogenitas RDF.

Pengujian dilakukan terhadap tiga tipe pisau pencacah RDF, yaitu baja SUB 9, baja SKS 3, dan plat esser dilapisi HV600. Parameter yang diukur adalah kapasitas produksi (kg/jam) dan homogenitas cacahan <5 cm (%). Ringkasan nilai rata-rata, standar deviasi, dan rentang nilai disajikan pada Tabel 4.10.

Secara deskriptif, Baja Sub 9 memiliki rata-rata kapasitas produksi tertinggi (238,05 kg/jam) dan homogenitas tertinggi (95,96%), diikuti oleh Plat Esser dilapisi HV600, sedangkan Baja SKS 3 memiliki nilai rata-rata terendah pada kedua parameter.

Tabel 4. 9 Ringkasan Statistik Hasil Ujicoba

Tipe Pisau	Kapasitas Produksi (kg/jam) Mean $\pm$ SD	Min–Max	Homogenitas <5cm (%) Mean $\pm$ SD	Min–Max
Baja Sub 9	238,05 $\pm$ 8,97	220,80 – 246,00	95,96 $\pm$ 2,92	92,24 – 98,73
Baja SKS 3	228,70 $\pm$ 17,57	206,67 – 256,50	94,20 $\pm$ 3,76	88,00 – 97,34
Plat HV600	233,50 $\pm$ 8,36	222,00 – 243,00	95,46 $\pm$ 2,93	91,63 – 99,50

Pengujian hasil RDF dilakukan di laboratorium Universitas Islam Indonesia dan Universitas Gadjah Mada dengan menggunakan sampel masing-masing 100 gram. Ringkasan perbandingan antara hasil pengujian RDF dengan SNI 9313:2024 (Bahan Bakar Serpihan Padat) dapat dilihat melalui Tabel 4.10.

Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa RDF yang dihasilkan memiliki kadar air sebesar 10,6%, jauh di bawah batas maksimum SNI 9313:2024 yaitu 22%. Nilai kalor yang diperoleh sebesar 4.360 kcal/kg juga melampaui syarat minimal 3.000 kcal/kg, sehingga dari aspek nilai energi RDF ini layak digunakan pada industri semen. Namun, kadar abu sebesar 20,9% sedikit melebihi ambang batas SNI (maksimal 20%), sehingga berpotensi menurunkan efisiensi pembakaran dan meningkatkan residu abu pada kiln.

Tabel 4. 10 Perbandingan Hasil Pengujian dan SNI 9313:2024

<b>Parameter</b>	<b>Hasil Uji</b>	<b>SNI 9313:2024</b>	<b>Satuan</b>	<b>Keterangan</b>
Homogenitas ukuran dibawah 5cm	95,96	95	%-berat	Untuk pisau baja SUB 9
Kadar air	10,6	< 22	%-berat	
Nilai kalori	4,360	> 3,000	Kcal/kg	
Kadar abu	20.9	< 20	%-berat	Melebihi standar

#### 4.5. Hasil Uji Sisa Ujung Pisau.

Dari Tabel 4.8 terlihat bahwa semua tipe pisau mengalami penurunan volume setelah dilakukan ujicoba.

1. Pisau Baja Sub 9
  - a. Volume pisau tersisa antara 44,86–44,95 cm<sup>3</sup> (99,62–99,82%).
  - b. Kehilangan volume relatif kecil (0,18–0,38%) dan konsisten pada setiap titik uji.
  - c. Hal ini menunjukkan ketahanan aus sangat baik dan stabil.
2. Pisau Baja SKS 3
  - a. Volume pisau tersisa antara 44,87–44,89 cm<sup>3</sup> (99,64–99,69%).
  - b. Kehilangan volume lebih besar dibanding Baja Sub 9, terutama pada Rotary 3.
  - c. Menunjukkan ketahanan aus lebih rendah, kemungkinan akibat sifat material yang kurang tangguh terhadap beban benturan.
3. Pisau Plat HV600 (*Hardfacing*)
  - a. Volume pisau tersisa antara 44,38–44,83 cm<sup>3</sup> (98,47–99,71%).
  - b. Kehilangan volume paling tinggi, dengan penurunan hingga 1,53% pada Rotary 1 dan Rotary 3.

- c. Hal ini mengindikasikan lapisan *hardfacing* HV600 mudah terkelupas saat kontak dengan material keras, sehingga menurunkan ketahanan aus.

#### 4.6. Uji Normalitas Data

Uji normalitas yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan uji *shapiro wilk* karena metode ini adalah metode uji normalitas yang efektif dan valid digunakan untuk sampel yang berjumlah kecil (Quraisy, 2020). Metode *Shapiro Wilk* menggunakan data dasar yang belum diolah dalam tabel distribusi frekuensi. (Cahyono, Tri, SKM, 2015)

Uji normalitas dilakukan menggunakan SPSS dan metode *Shapiro–Wilk Test*. Metode *Shapiro–Wilk Test* dipilih karena jumlah sampel tiap kelompok  $< 50$ . Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.11. Interpretasi Jika *Sig. (p-value)*  $> 0,05$  maka data berdistribusi normal sedangkan jika *Sig. (p-value)*  $\leq 0,05$  maka data tidak normal. Gambar hasil uji *output* SPSS dapat dilihat melalui lampiran.

Tabel 4. 11 Hasil Uji Normalitas untuk Kapasitas Produksi dan Homogenitas

Variabel	Statistik <i>Shapiro–Wilk</i>	Sig. (p-value)	Keterangan
Kapasitas Produksi	0,950	0,426	Normal
Homogenitas $< 5$ cm	0,937	0,255	Normal

ANOVA dua arah, dapat menghasilkan interpretasi yang baik dalam penelitian ini menganalisis pengaruh tipe pisau dan kadar air. Dengan terpenuhinya asumsi normalitas, maka hasil uji signifikansi yang diperoleh dapat dipercaya secara statistik dan tidak bias akibat distribusi data yang menyimpang.

#### 4.7. Uji Signifikansi

Uji signifikansi dalam penelitian ini dilakukan menggunakan ANOVA dua arah (*Univariate Analysis of Variance*) untuk mengetahui pengaruh tipe pisau pencacah dan kadar air sampah terhadap kapasitas produksi dan homogenitas cacahan RDF. Sebelum dilakukan ANOVA, data telah diuji normalitas dengan

metode *Shapiro–Wilk* dan hasilnya menunjukkan bahwa kedua variabel penelitian berdistribusi normal.

Pengujian signifikansi dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan homogenitas hasil cacahan RDF berdasarkan tipe pisau pencacah dan kadar air sampah. Analisis dilakukan menggunakan ANOVA dua arah dengan variabel dependen homogenitas < 5 cm (%), sedangkan faktor tetap adalah pisau dan kadar air.

Tabel 4. 12 Hasil Uji ANOVA Tipe Pisau dan Kadar Air Terhadap Kapasitas

Dependent Variable:Kapasitas Produksi kg/jam

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	660.986 <sup>a</sup>	5	132.197	.836	.549	.258
Intercept	980686.120	1	980686.120	6205.164	.000	.998
Pisau	262.613	2	131.307	.831	.459	.122
KadarAir	189.930	1	189.930	1.202	.294	.091
Pisau * KadarAir	208.443	2	104.222	.659	.535	.099
Error	1896.523	12	158.044			
Total	983243.629	18				
Corrected Total	2557.509	17				

a. R Squared = .258 (Adjusted R Squared = -.051)

Pada Tabel 4.12 dapat dilihat hasil uji ANOVA dengan menggunakan SPSS 17 dalam hubungan dengan kapasitas produksi yaitu:

1. Faktor tipe pisau:  $F = 0,831$ ;  $Sig. = 0,459$  ( $> 0,05$ ) → tidak signifikan.
2. Faktor kadar air:  $F = 1,202$ ;  $Sig. = 0,294$  ( $> 0,05$ ) → tidak signifikan.
3. Interaksi pisau\*kadar air:  $F = 0,535$ ;  $Sig. = 0,659$  ( $> 0,05$ ) → tidak signifikan.

Tabel 4. 13 Hasil Uji ANOVA Tipe Pisau dan Kadar Air Terhadap Kapasitas

Dependent Variable: Homogenitas < 5 cm %

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F
Corrected Model	30.678 <sup>a</sup>	5	6.136	.542
Intercept	163168.994	1	163168.994	14426.846
Pisau	9.760	2	4.880	.431
KadarAir	4.909	1	4.909	.434
Pisau * KadarAir	16.009	2	8.004	.708
Error	135.721	12	11.310	
Total	163335.393	18		
Corrected Total	166.399	17		

a. R Squared = ,184 (Adjusted R Squared = -,155)

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa:

1. Faktor pisau →  $F = 0,708$ ;  $\text{Sig.} = 0,434 (>0,05)$  → tidak signifikan.
2. Faktor kadar air →  $F = 0,431$ ;  $\text{Sig.} = 0,520 (>0,05)$  → tidak signifikan.
3. Interaksi pisau\*kadar air →  $F = 0,542$ ;  $\text{Sig.} = 0,659 (>0,05)$  → tidak signifikan.

Hasil uji ini memperlihatkan bahwa tipe pisau, kadar air, dan interaksi keduanya tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kapasitas produksi dan homogenitas hasil cacahan RDF. Dampak dari penelitian ini adalah bahwa, dalam rentang kondisi pengujian yang digunakan ini, ketiga tipe pisau secara fungsional mampu menghasilkan performa pencacahan yang relatif setara dari sisi kuantitas dan homogenitas. Faktor pembeda utama antar tipe pisau bukan terletak pada performa pencacahan, melainkan pada aspek ketahanan pisau dan biaya produksi. Pemilihan pisau dalam aplikasi RDF seharusnya bukan hanya melihat hasil pencacahan tetapi lebih mengutamakan efisiensi ekonomi dan umur pakai dari pisau.

#### 4.8. Rekomendasi dalam proses pencacahan sampah RDF

Berdasarkan hasil penelitian, analisis perbandingan menunjukkan bahwa meskipun pisau tipe baja SUB 9 secara deskriptif memiliki performa unggul dengan kapasitas pencacahan tertinggi mencapai 238,05 kg/jam dan tingkat homogenitas

terbaik sebesar 95,96%, hasil uji statistik ANOVA dua arah membuktikan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan secara nyata ( $p > 0,05$ ) di antara ketiga jenis pisau maupun variasi kadar air. Hal ini mengindikasikan bahwa dalam rentang kondisi pengujian yang dilakukan, ketiga material pisau tersebut secara fungsional memiliki kemampuan yang relatif setara dalam menghasilkan cacahan RDF yang memenuhi standar ukuran partikel sesuai SNI 9313:2024. Oleh karena itu, faktor pembeda utama dalam pemilihan pisau bukan terletak pada hasil cacahannya, melainkan pada aspek ketahanan material dan efisiensi biaya produksinya.

Sampah yang dihasilkan rumah tangga sangat bervariasi bentuk dan modelnya. Hal ini sangat membutuhkan pemilahan yang baik. Pada proses produksi riil proses pemilahan dilakukan 2 tahap yaitu secara manual dengan conveyor sebelum mesin pemilah dan menggunakan mesin pemilah. Sedangkan dalam penelitian ini ditambahkan proses pemilahan manual tambahan yang dilakukan sebelum masuk ke mesin pencacah RDF. Bahan berbahaya yang harus dihindari untuk masuk ke mesin pencacah RDF adalah logam, kaleng, kaca, batu yang keras, plastik tebal seperti bekas kosmetik, limbah B3, katu tebal, Tulang dan kabel. Bahan berbahaya ini akan merusakkan bagian mata pisau jika ikut masuk ke dalam mesin pencacah RDF.

Metode Pelapisan HV600 dapat dilakukan untuk perawatan pisau yang telah aus pada penggunaan mesin pencacah RDF. Metode pelapisan ini terbukti dapat menghasilkan kualitas dan kuantitas cacahan yang mirip dengan pisau baru, sedangkan biaya akan dapat direduksi dengan peniadaan pembelian bahan baku utama dan pengurangan waktu proses produksi. Perhitungan biaya jika melakukan pelapisan dengan kawat las HV600 dapat dilihat pada tabel 4.1. Biaya yang dikeluarkan adalah sekitar  $\frac{1}{2}$  dari pembuatan baru dengan kualitas cacahan yang hampir mirip

Tabel 4. 14 Biaya pelapisan HV600

<b>Bahan</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Harga</b>	<b>Total</b>
elektroda HV-600 3,2mm nikko (1kg=23)	153 pcs	Rp 2.679	Rp 409.887
batu gerinda slep 4" WD	14 pcs	Rp 5.278	Rp 73.892
Pahat insert TPKN 22	10	Rp 10.875	Rp 108.750
Tenaga kerja	3,5 hari	Rp 210.000	Rp 735.000
<b>Total</b>			Rp 1.327.779

Rangkaian pengujian terhadap ketiga model pisau dengan variasi kadar air telah memberikan jawaban komprehensif atas rumusan masalah penelitian ini. Data menunjukkan bahwa secara statistik tidak terdapat pengaruh yang signifikan dari variasi tipe pisau terhadap kapasitas hasil cacahan, namun penggunaan material pisau Baja SUB 9 terbukti memberikan performa terbaik dalam ketahanan dan efisiensi biaya produksi.

Dengan selesainya pembahasan mengenai performa teknis, kualitas fisik, serta analisis ekonomi dari ketiga tipe pisau pencacah RDF, maka seluruh temuan utama dalam penelitian ini telah dipetakan secara mendalam. Rangkaian analisis data dan interpretasi hasil yang telah dipaparkan dalam bab ini selanjutnya akan ditarik benang merahnya menjadi sebuah simpulan akhir. Selain itu, berdasarkan temuan lapangan yang diperoleh, bagian selanjutnya juga akan merumuskan sejumlah saran strategis yang dapat diimplementasikan bagi pengembangan teknologi pengolahan sampah maupun bagi peneliti selanjutnya di bidang serupa.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil penelitian dan kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan 3 jenis mata pisau dalam hubungan dengan kapasitas dan homogenitas sampah RDF dalam penelitian ini secara rata-rata ada perbedaan tetapi tidak signifikan perbedaannya.
2. Pisau dengan bahan baja SUB 9 dan baja SKS 3 memiliki volume sisa paling tinggi sedangkan pisau Plat Esser dengan lapisan HV600 menunjukkan rata-rata volume sisa lebih rendah dan variasi lebih besar. Sehingga pisau dengan bahan baja Sub 9 dan Baja SKS 3 tingkat keausan kecil dan lebih awet.
3. Pisau dengan bahan Baja SUB 9 mempunyai biaya produksi yang paling rendah yaitu Rp 1.892.426 dibandingkan dengan 2 jenis mata pisau yang lain.

#### **5.2. Saran**

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan berikut saran yang dapat diberikan untuk penelitian yang akan dilakukan pada masa mendatang yaitu:

1. Penggunaan bahan pisau plat esser (*Hot Roller stell plates ASTM A36*) tanpa lapisan sebagai pembanding agar terjadi perbedaan signifikan dalam hasil kapasitas dan persentase homogenitas.
2. Perlu melakukan uji ketahanan dengan jangka waktu penggunaan pisau yang lebih lama. Ujicoba ini harus memperhatikan konsistensi dalam metode pelaksanaannya dan menghindari adanya bahan-bahan pengotor dan merusak prosesnya.
3. Penelitian yang akan datang dapat dilakukan dengan menggunakan sample karakter sampah plastik yang berbeda-beda sesuai dengan no kodenya atau dari ketebalan bahan bakunya.
4. Perlu pengembangan lebih lanjut alat Mesin Pencacah RDF. Aspek geometri dan konfigurasi pisau antara pisau statis dan dinamis dapat dilakukan

berbagai variasi. Pengembangan bisa melakukan optimasi sudut potong pisau, jumlah dan susunan pisau, serta sistem transmisi daya agar beban kerja mesin lebih efisien. Sistem input dan output dari mesin pencacah RDF perlu dikembangkan lagi agar bisa meminimalisir tenaga kerja yang dibutuhkan dalam operasional alat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Asosiasi Semen Indonesia dan Industri Semen, Lusy Widowati, S.T., M. S., Indrawan, E., Gusti Bagus Trisnawanditya, & Mariati Abdulkadir. (2017). *Pedoman Spesifikasi Teknis Refuse Derived Fuel (RDF) sebagai Alternatif Bahan Bakar di Industri Semen* (K. P. P. dan P. I. H. dan L. Hidup (ed.)). PAKLIM – GIZ GmbH.
- ASTM International. (2010). *Standart Practice for Coding Plastic Manufactured Articles For Resin Identification. ASTM D7611/D7611M*.
- ASTM International. (2021). *Standard Practice for Liquid Penetrant Testing*. [https://doi.org/10.1520/E1417\\_E1417M-21](https://doi.org/10.1520/E1417_E1417M-21)
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2025). *SNI 3964-2025 Metode pengambilan dan pengukuran contoh timbulan dan komposisi sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga*.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2011). *SNI 7590:2011 Mesin Penghancur (Crusher) Bahan Baku Pupuk Organik - Syarat Mutu dan Cara Uji*. <https://akses-sni.bsn.go.id/sni>
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2024). *Bahan bakar serpihan sampah untuk industri semen (SNI 9313-2024)*.
- Cahyono, TRi, SKM, Ms. (2015). *STATISTIK UJI NORMALITAS* (pertama). Yayasan Sanitarian Banyumas (Yasamas).
- Grejtak, T., Lacey, J. A., Kuns, M. W., Hartley, D. S., Thompson, D. N., Fenske, G., Ajayi, O. O., & Qu, J. (2023). Improving knife milling performance for biomass preprocessing by using advanced blade materials. *Wear*, 522, 204714. <https://doi.org/10.1016/J.WEAR.2023.204714>
- Kharisma, A. A., & Ajiwiratama, M. D. (2023). Pengaruh kekuatan mata pisau mesin pencacah kompos menggunakan metode finite element analysis. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 18(1), 90–95. <https://doi.org/10.36289/JTMI.V18I1.432>

- Mujayyin, F., & Gunarso, D. A. (2021). PERFORMA MESIN PENGOLAH SAMPAH TPA MENJADI BAHAN BAKAR REFUSE DERIVED FUELS DENGAN METODE SIX SIGMA DMAIC. *Nozzle : Journal Mechanical Engineering*, *10*(1), 16–24. <https://doi.org/10.30591/NOZZLE.V10I1.2400>
- Muyasaroh, S. (2025). TINJAUAN METODE PENGOLAHAN SAMPAH ORGANIKSKALA RUMAH TANGGADI INDONESIA. *Jurnal jernih*.
- Nyoman, I., Budiswara, W., Made, I., Wibawa, S., Maharani, S. E., Gede, I., & Darmayasa, O. (2024). Analisis Karakteristik Sampah Terhadap Kecepatan Pencacahan. *Jurnal Ilmiah Teknik Universitas Mahasaraswati Denpasar (JITUMAS)*, *4*(1), 68–71. <https://e-journal.unmas.ac.id/index.php/jitumas/article/view/8966>
- Pranoto, S. H. (2020). Desain dan Analisis Mata Pisau Pencacah Untuk Pengolahan Sampah Plastik Menggunakan Finite Element Analysis. *Jurnal Infotekmesin*, *11*(2).
- Purnomo, candra wahyu. (2020). *SOLUSI PENGELOLAAN SAMPAH KOTA (I)*. Gadjah Mada University Press.
- Quraisy, A. (2020). Normalitas Data Menggunakan Uji Kolmogorov-Smirnov dan Saphiro-Wilk. *J-HEST: Journal of Healt, Education, Economics, Science, and Technology*, *3*(1), 7–11. [https://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=3025542&val=27373&title=Normalitas Data Menggunakan Uji Kolmogorov-Smirnov dan Saphiro-Wilk Studi kasus penghasilan orang tua mahasiswa Prodi Pendidikan Matematika Unismuh Makassar](https://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=3025542&val=27373&title=Normalitas%20Data%20Menggunakan%20Uji%20Kolmogorov-Smirnov%20dan%20Saphiro-Wilk%20Studi%20kasus%20penghasilan%20orang%20tua%20mahasiswa%20Prodi%20Pendidikan%20Matematika%20Unismuh%20Makassar)
- Sarc, R., & Lorber, K. E. (2013). Production, quality and quality assurance of Refuse Derived Fuels (RDFs). *Waste Management*, *33*(9), 1825–1834. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2013.05.004>
- Undang Undang No.18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, Cell (2008).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.biochi.2015.03.025><http://dx.doi.org/10.1038/nature10402><http://dx.doi.org/10.1038/nature21059><http://journal.stainkudus.ac.id/index.php/equilibrium/article/view/1268/1127><http://dx.doi.org/10.1038/nrmicro2577>

Utomo, F. S. W., Tri Edhi Budhi Soesilo, & Herdis Herdiansyah. (2022). Household Waste Control Index towards Sustainable Waste Management: A Study in Bekasi City, Indonesia. *Sustainability*. <https://www.mdpi.com/journal/sustainability>

Widowati, L. (2024). *Kajian Analisis Potensi Off-taker Refuse Derived Fuel (RDF) untuk Mendukung Pengembangan Pengolahan Sampah Ramah Iklim yang Terintegrasi*. <https://lcdi-indonesia.id/dokumenpublikasisirkularekonomi/>

Yudha Triadi, N., Martana, B., Pradana, S., Raya Limo, J., Limo, K., & Depok, K. (2020). Perancangan Mesin Pencacah Plastik Tipe Shredder dan Alat Pemotong Tipe Reel. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 15(2), 144–153. <https://doi.org/10.32497/JRM.V15I2.1892>

Yulianto, K. (2024). Peran Data Generasi dan Komposisi Limbah dalam Memajukan Strategi Ekonomi Sirkuler di Indonesia. *Jurnal Internasional Penelitian Pendidikan & Ilmu Sosial*.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1 Instruksi Kerja

Tabel 1 Instruksi Kerja Pembuatan Pisau Pencacah RDF Tipe SUB 9

Instruksi Kerja	Waktu (menit)
Menggunakan alat keselamatan kerja dengan benar	5
Menyiapkan plat baja pegas mobil (mengambil dari rak, menyiapkan gerinda, memasang pada mesin gerinda)	10
Memotong plat baja pegas mobil lebar 9 cm tebal 2 cm dengan ukuran Panjang 39 cm sebanyak 5 pcs	15
Meluruskan hasil potongan plat baja menggunakan brander las hingga berwarna merah, lalu dipukul pada besi rel sampai lurus strip plat baja nya	360
Memasang Plat Baja pegas mobil pada ragum mesin milling dan membuat gambar alur pada plat baja	51
Membentuk lubang alur sesuai gambar menggunakan mesin milling (5 pcs)	746
Melepas plat baja pada ragum, lalu menjepit lagi pada posisi vertikal dan memiringkan ragum membentuk sudut 43°	30
Mengasah plat baja tersebut hingga membentuk pisau menggunakan mesin milling (5 pcs)	425
Melepas plat baja pada ragum + membersihkan mesin	38
Menyiapkan alat dan bahan untuk proses penyepuhan (kayu, pisau yg diasah, oli bekas, tang jepit panjang)	30
Menyepuh pisau tersebut pada tungku penyepuhan dipanaskan pada suhu awal 397 °C sampai 528 °C Selama 26 menit	65
Jika sudah mencapai suhu dan waktu yang diinginkan hingga pisau berwarna merah, ambil pisau yang masih panas tersebut lalu dicelupkan pada wadah berisi oli bekas secara perlahan dan didinginkan menggunakan pasir dan tunggu sampai dingin	40
Jika pisau sudah dingin, ambil pisau tersebut dan dibersihkan dari oli yang menempel	15
<b>Total Waktu</b>	<b>1830</b>

Tabel 2 Instruksi Kerja Pembuatan Pisau Pencacah RDF Tipe SKS 3

Intruksi Kerja	Waktu (Menit)
Gunakan alat keselamatan kerja dengan benar	5
Menyiapkan plat baja SKS 3 (mengambil dari gudang) dan menggambar bentuk alur dan menggambar bentuk alur	30
Memasang Plat Baja SKS 3 pada ragum mesin <i>milling</i>	14
Membentuk lubang alur sesuai gambar menggunakan mesin <i>milling</i> (5 pcs)	491
Melepas plat baja SKS 3 pada ragum, lalu menjepit lagi pada posisi vertikal dan memiringkan ragum membentuk sudut 43°	20
Mengasah plat baja SKS 3 tersebut hingga membentuk pisau menggunakan mesin <i>milling</i> (5 pcs)	435
Melepas plat baja SKS 3 dari ragum dan membersihkan mesin	25
Menyiapkan alat dan bahan untuk proses penyepuhan (kayu, pisau yang diasah, oli bekas, tang jepit)	40
Menyepuh pisau tersebut pada tungku penyepuhan dipanaskan pada suhu awal.... Suhu akhir ..... selama .....menit	45
Jika sudah mencapai suhu dan waktu yang diinginkan, ambil pisau yang masih panas (berwarna merah) lalu dicelupkan kedalam wadah berisi oli bekas secara perlahan dan didinginkan menggunakan pasir sampai dingin	10
Jika pisau sudah dingin, ambil pisau dan bersihkan oli dan kotoran yang menempel	25
<b>Total Waktu</b>	<b>1140</b>

Tabel 3 Instruksi Kerja Pembuatan Pisau Pencacah RDF Tipe Plat Esser Dilapisi HV 600

Intruksi Kerja	Waktu (Menit)
Gunakan alat keselamatan kerja dengan benar	5
Menyiapkan plat esser 20 mm (menggeser plat, menggambar potongan sesuai gambar, menyiapkan brander las)	5
Memotong plat esser tebal 20 mm dengan ukuran panjang 39 cm x lebar 8 cm sebanyak 5 pcs menggunakan brander las.	50
Menggerinda sisa potongan brander menggunakan gerinda tangan	82
Menggambar bentuk alur pada plat dan menjepit plat esser 20 mm tersebut pada ragum mesin milling pada posisi horizontal	147
Membentuk lubang alur pada plat dengan ukuran sesuai gambar kerja	462
Melepas plat esser 20 mm pada ragum, lalu menjepit lagi pada posisi vertikal dan Memiringkan ragum hingga membentuk sudut 43°	54
Melakukan pemakanan benda kerja pada bagian yang miring tersebut menggunakan mesin milling hingga terbentuk sesuai gambar	347
Melepas plat esser 20 mm dari ragum dan membersihkan mesin	38
Melapisi permukaan hasil dari proses milling tersebut menggunakan elektroda las HV 600 diameter 3,2 mm dengan arus las 105-110 A dan 2 lapisan las hingga tinggi las 4 mm	350
Menggerinda permukaan yang dilas menggunakan batu gerinda slep bata hingga tajam dan membentuk pisau sesuai gambar	760
Apabila lasnya habis/hilang, mengelas kembali permukaan plat esser menggunakan elektroda las HV 600	150
Memasang kembali plat yang sudah dilas pada mesin milling membentuk sudut 43°	24
Milling benda kerja hingga membentuk pisau sesuai gambar	916
<b>Total Waktu</b>	<b>3390</b>

## Lampiran 2 Hasil Uji Sampah RDF



**UNIVERSITAS GADJAH MADA  
PUSAT STUDI PANGAN DAN GIZI**

Alamat : Gedung PAU-UGM, Jalan Teknika Utara, Berek, Yogyakarta 55281, Phone/Fax. (0274) 589242  
http://cfns.ugm.ac.id, E-mail : cfns@ugm.ac.id

### LAPORAN HASIL UJI

(Analysis Certificate)

No.PSPG/076/III/2025

**Nomor Pengujian** : PS/091/II/2025  
(Analysis Report Number)  
**Nama Pelanggan** : Wahyu Arrozi, ST  
(Name of client)  
**Alamat dan Telpn Pelanggan** :  
(Address and phon of client)  
**Nama dan Bentuk Sampel** : Padatan  
**Uji yang diminta** : Kalori  
**Tanggal Penerimaan sampel** : 3 Maret 2025  
**Tanggal diserahkan ke lab.** : 3 Maret 2025  
**Metode Uji** :  
(Analysis Method)  
**Hasil Uji** :  
(Analysis Result)

No.	Kode sampel	Hasil Analisis
		Kalori Kal/g
1.	Sampah RDF (Refuse Derived Fuel)	10091,818 9618,902

Yogyakarta, 6 Maret 2025  
Sekretaris PSPG – UGM

Prof. Dr. Lily Arsanti Lestari, S.T.P., M.P.  
NIP. 1975031320050120



PA.050.476.04.25

## LAPORAN HASIL PENGUJIAN

A. IDENTITAS	
Nama	: Bapak Wahyu Arrozi
ID Pelanggan	: -
Perusahaan	: Magister Teknik Lingkungan FTSP UII
Jenis Kegiatan	: [38] Kegiatan Riset
Alamat	: Jl. Kaliurang km 14,5, Ngemplak, Sleman, DI. Yogyakarta
Email	: -
Jenis Order	: <input checked="" type="checkbox"/> Pengujian <input type="checkbox"/> Sampling & Pengujian
B. INFORMASI CONTOH UJI	
Kode Sampel	: PA.052
Nama Sampel	: Padatan
Jumlah Sampel	: 1
Parameter uji	: kadar air, kadar abu, kadar volatil, fixed carbon, nilai kalor
Pengambil Sampel	: <input type="checkbox"/> Petugas Laboratorium <input checked="" type="checkbox"/> Diambil sendiri
Tanggal Pengambilan Sampel	: -
Tanggal Penerimaan Sampel	: 20 Maret 2025
Tanggal Pengujian	: 11 s.d. 22 April 2025
Lokasi	: RDF Hasil Pirolisis
Kode & Koordinat Lokasi	
PA.052	: S : - E : -

Laporan hasil uji ini dibuat secara obyektif dan independen yang hanya berlaku untuk contoh yang diuji. Laporan ini tidak dapat digunakan untuk tujuan pemenuhan regulasi KLHK. Dilarang menggandakan sebagian dan atau seutuhnya tanpa izin Manajer Laboratorium Kualitas Lingkungan.



Yogyakarta, 23 April 2025  
Manajer Laboratorium  
  
Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph.D.

Hal. 3 dari 4

VALUES | INNOVATION | PERFECTION



www.environment.uii.ac.id



Email: envirolab@uii.ac.id



Telp. (0274) 896440 ext.: 3223; HP. 0812 2274 2234



## HASIL PENGUJIAN

No.	Parameter	Satuan	HASIL UJI	Metode Uji
			PA.053	
1	Kadar Air	%	0,39 ± 0,002	ASTM D2216-98
2	Kadar Abu	%	7,74 ± 0,01	ASTM E 830-87
3	Kadar Volatil	%	7,35 ± 0,01	ASTM E 897-88
4	Fixed Carbon	%	85	ASTM D3173



Yogyakarta, 23 April 2025  
Kepala Laboratorium  
  
(Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.)



### Lampiran 3 Hasil SPSS

```

EXAMINE VARIABLES=Kapasitas Homogenitas
  /PLOT BOXPLOT STEMLEAF NPLOT
  /COMPARE GROUP
  /STATISTICS DESCRIPTIVES
  /CINTERVAL 95
  /MISSING LISTWISE
  /NOTOTAL.
  
```

### Explore

[DataSet0] Z:\s2 UII\semester III\tesis\data spss\ok\data.sav

**Case Processing Summary**

	Cases					
	Valid		Missing		Total	
	N	Percent	N	Percent	N	Percent
Kapasitas Produksi kg/jam	18	100.0%	0	.0%	18	100.0%
Homogenitas < 5 cm %	18	100.0%	0	.0%	18	100.0%

**Descriptives**

			Statistic	Std. Error	
Kapasitas Produksi kg/jam		Mean	233.4150	2.89100	
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	227.3155		
		Upper Bound	239.5145		
		5% Trimmed Mean	233.6183		
		Median	237.0000		
		Variance	150.442		
		Std. Deviation	12.26547		
		Minimum	206.67		
		Maximum	256.50		
		Range	49.83		
		Interquartile Range	20.18		
		Skewness	-.427		.536
		Kurtosis	.016		1.038
Homogenitas < 5 cm %		Mean	95.2100	.73742	
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	93.6542		
		Upper Bound	96.7658		

### Descriptives

		Statistic	Std. Error
Homogenitas < 5 cm %	5% Trimmed Mean	95.3722	
	Median	95.9450	
	Variance	9.788	
	Std. Deviation	3.12860	
	Minimum	88.00	
	Maximum	99.50	
	Range	11.50	
	Interquartile Range	5.26	
	Skewness	-.686	.536
	Kurtosis	-.143	1.038

### Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Kapasitas Produksi kg/jam	.186	18	.102	.950	18	.426
Homogenitas < 5 cm %	.193	18	.074	.937	18	.255

a. Lilliefors Significance Correction

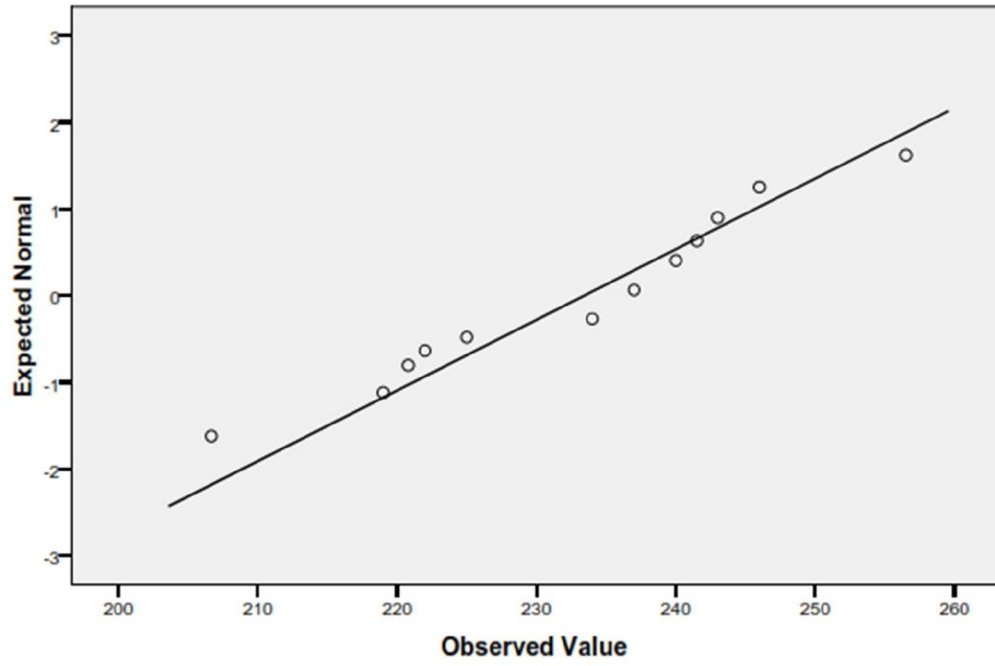
## Kapasitas Produksi kg/jam

Kapasitas Produksi kg/jam Stem-and-Leaf Plot

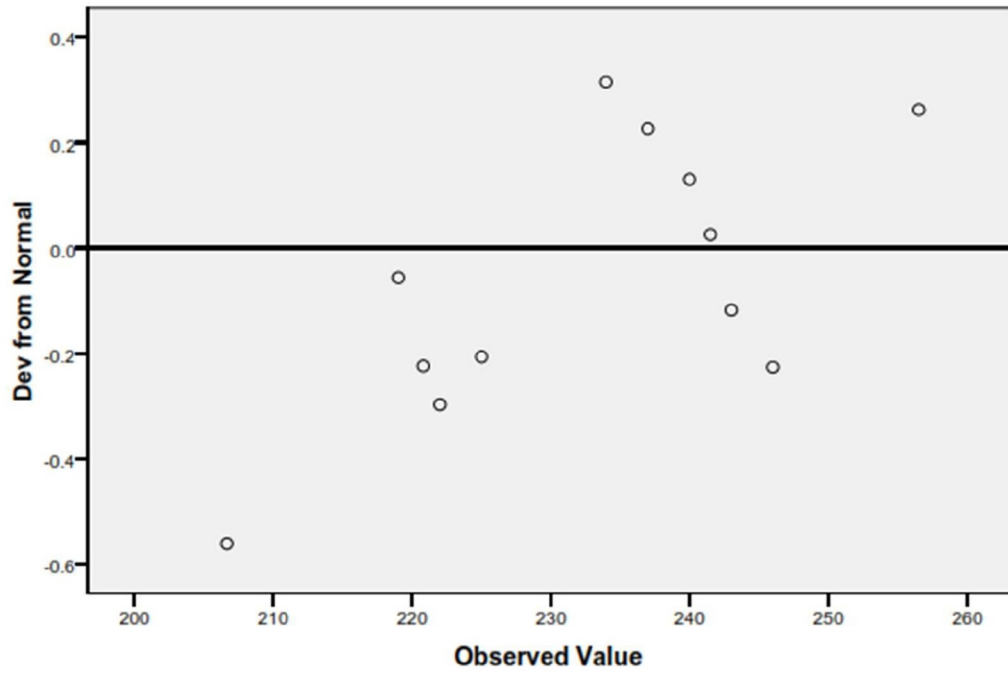
Frequency	Stem & Leaf
1,00	20 . 6
2,00	21 . 99
3,00	22 . 025
5,00	23 . 44777
6,00	24 . 001336
1,00	25 . 6

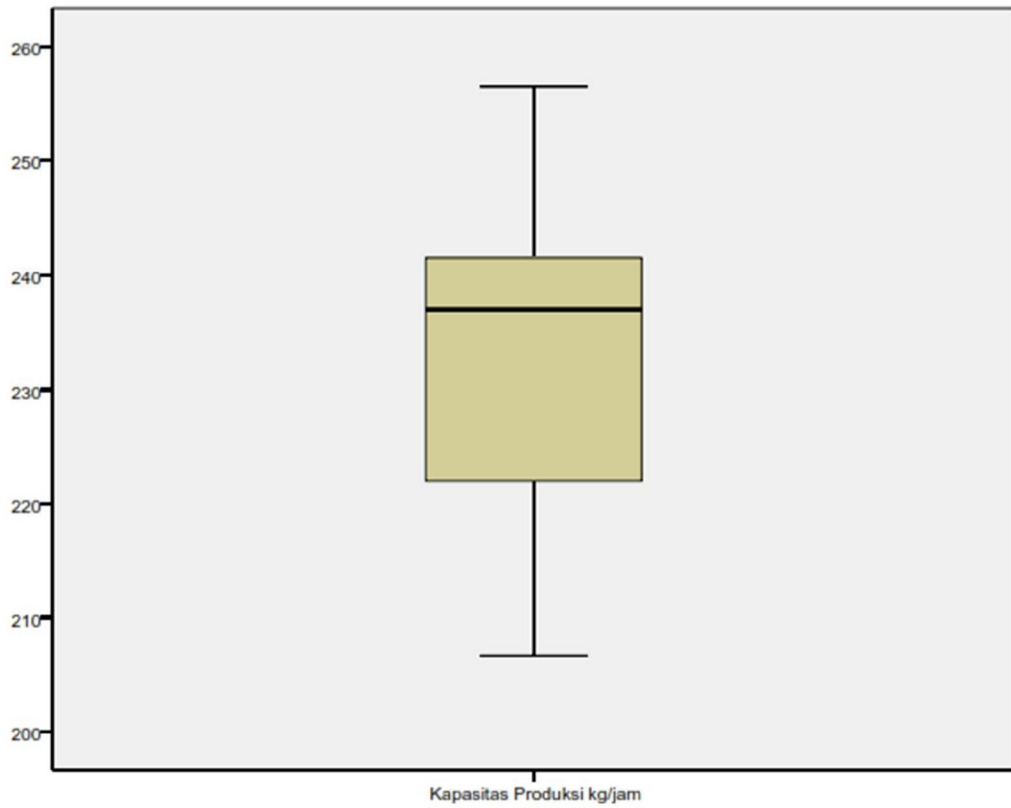
Stem width: 10,00  
Each leaf: 1 case(s)

Normal Q-Q Plot of Kapasitas Produksi kg/jam



**Detrended Normal Q-Q Plot of Kapasitas Produksi kg/jam**





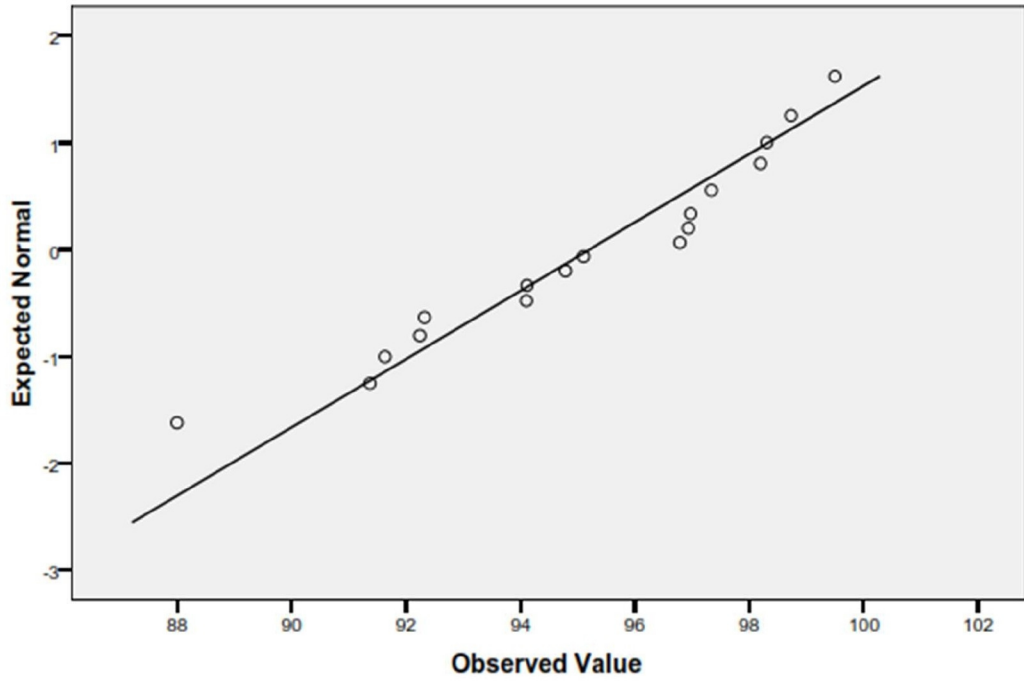
### Homogenitas < 5 cm %

Homogenitas < 5 cm % Stem-and-Leaf Plot

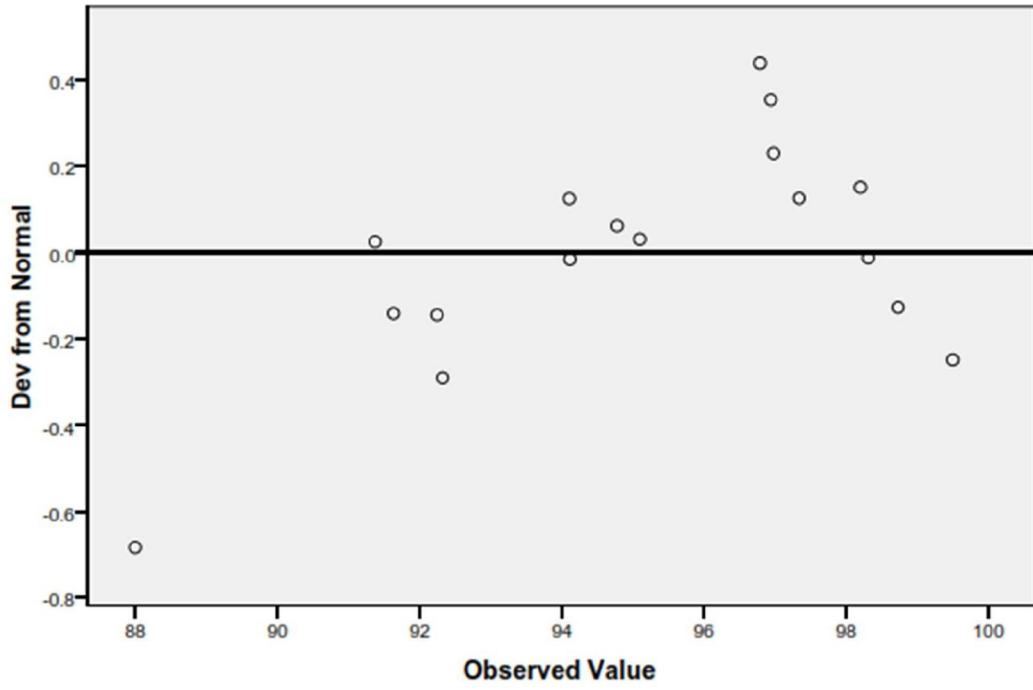
Frequency	Stem & Leaf
1,00	8 . 8
7,00	9 . 1122444
10,00	9 . 5666778889

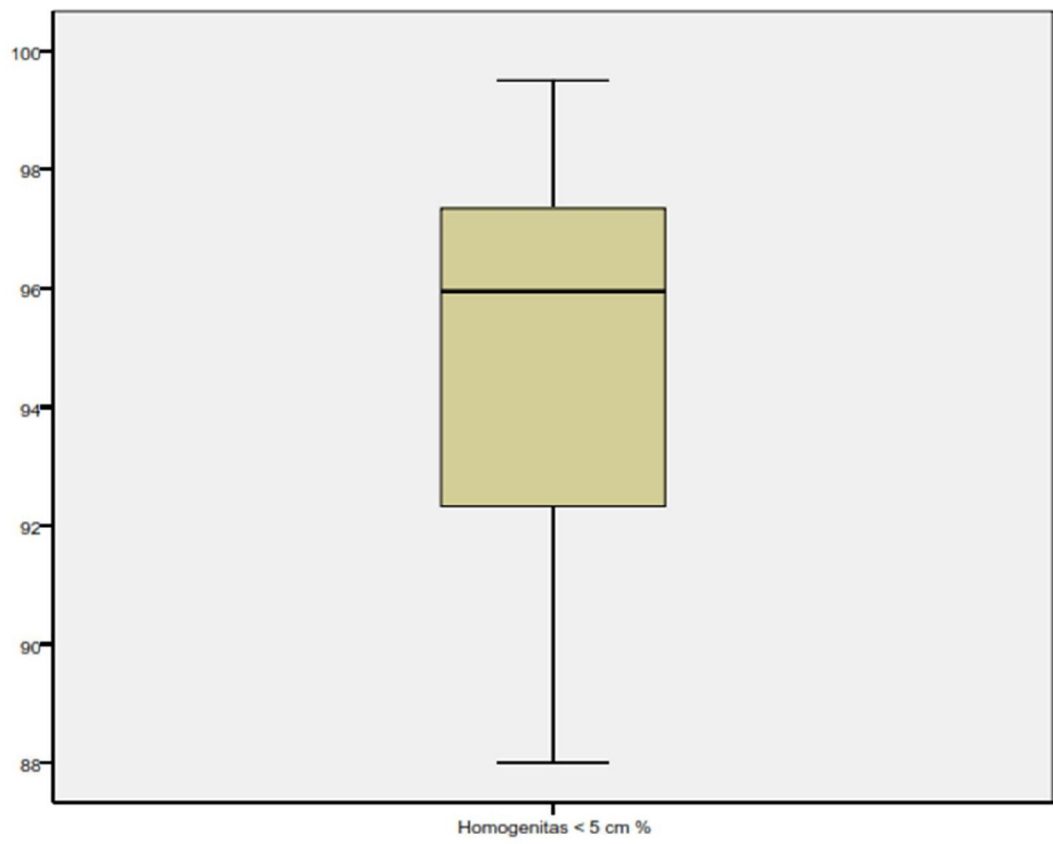
Stem width: 10,00  
 Each leaf: 1 case(s)

Normal Q-Q Plot of Homogenitas < 5 cm %



Detrended Normal Q-Q Plot of Homogenitas < 5 cm %





#### Lampiran 4 Dokumentasi Produksi



Proses pembuatan pisau dengan bahan baja SKS 3 dengan mesin *milling*, sedang dilakukan pembuatan alur slot dengan mata *endmill* 12 mm.



Proses produksi pisau pada persiapan *hardening* baja SKS 3 menggunakan oven *heat treatment*, dengan suhu terkontrol diantara 700–900°C. tidak diperbolehkan untuk melebihi suhu yang ditentukan karena akan terjadi bengkok atau *overheat*.



Bahan baku pisau baja SUB 9 berupa besi yang melengkung. Proses pembuatan pisau dengan pelurusan bahan baku Baja SUB 9 dengan bantuan dongkrak dan pemanasan LPG *furnace*.



Proses pembuatan pisau baja SUB 9 setelah proses *hardening*. Proses *hardening* yang pertama dilakukan adalah pemanasan pada suhu 700-900 °C, kedua pendinginan cepat cepat dengan dicelupkan ke oli bekas, ketiga adalah pembersihan dan juga dilakukan *tampering*.



Proses pembuatan pisau plat esser 20mm dilapisi HV600. Pada gambar diatas dilakukan proses pemotongan bahan baku yaitu menjadi ukuran panjang 40 cm dan lebar 10 cm.



Proses pengelasan pisau pada material plat esser. Proses pelapisan dengan menggunakan elektroda HV600 dengan menggunakan mesin las 3 phase 500A.



Posisi pemasangan pisau pada mesin pencacah sampah RDF. Pada gambar tersebut terlihat posisi pisau statis dan pisau dinamis. Masing-masing pisau ditahan oleh 5 baut baja. Untuk mengatur jarak antara pisau statis dan pisau dinamis, baut perlu dikendorkan terlebih dahulu kemudian pisau digeser.



Penggunaan *feeler gauge* dilakukan untuk mengukur celah antara pisau statis dan pisau dinamis. Celah ini memengaruhi dua hal utama yaitu pertama kapasitas dan ukuran cacahan RDF dengan semakin kecil celah, hasil cacahan lebih halus. Kedua keausan pisau dan konsumsi energi mesin dengan celah terlalu kecil bisa meningkatkan gesekan dan mempercepat keausan.



Proses pengencangan baut pisau pencacah RDF menggunakan kunci torsi (*torque wrench*) dengan nilai torsi sebesar 299 Nm. Penggunaan kunci torsi memastikan bahwa gaya penguncian setiap baut seragam, sehingga pisau dinamis terpasang kuat dan aman saat mesin beroperasi. Tahapan ini merupakan bagian dari proses kalibrasi mesin sebelum uji pencacahan dilakukan, untuk menjamin kestabilan putaran dan menghindari kerusakan pada komponen.



Mesin pencacah RDF berwarna biru dengan bagian *hopper* (tempat input material) yang berisi campuran sampah plastik, kemasan *multilayer*, dan kantong plastik bekas. Material ini dimasukkan ke dalam *hopper* (corong masuk) mesin pencacah melalui conveyor.



Tahap penimbangan hasil cacahan RDF setelah proses uji coba pencacahan pada mesin. Dilakukan untuk mengetahui jumlah massa bahan hasil pencacahan (kg/jam) dari masing-masing jenis pisau yang diuji.



Penggunaan *Smart Sensor Moisture Meter* AR991 untuk melakukan pengukuran kadar air RDF. Pengukuran ini dengan cara memasukkan ujung *moisture meter* kedalam tengah-tengah.



Tahap penimbangan sampel hasil cacahan RDF menggunakan timbangan digital presisi. Tahapan ini merupakan bagian dari pengujian homogenitas ukuran cacahan RDF, di mana sebagian hasil pencacahan diambil sebagai sampel uji untuk dimensi hasil cacahan sampah.

Bahan baku sampah anorganik yang digunakan dalam penelitian, terdiri dari berbagai jenis plastik seperti kantong kresek, kemasan makanan, *bubble wrap*, dan plastik *multilayer*. Bahan ini diambil dari hasil sortasi sampah kering di TPS dan berfungsi sebagai bahan uji dalam proses pencacahan RDF.

Tindaklanjut Sidang/Seminar Hasil Tanggal: . 10 desember 2025

<b>No</b>	<b>Masukan/Arahan/Pertanyaan</b>	<b>Jawaban/Tindaklanjut dari Masukan/Arahan/Pertanyaan</b>	<b>Halaman</b>
1	Sesuaikan dengan template tesis : Margin	Semua halaman sudah disesuaikan dengan template tesis (margin kiri = 4 cm, atas = 3 cm, kanan = 3 cm, bawah = 3 cm)	Semua
2	Tipe <i>font</i> disesuaikan	Tipe font sudah disesuaikan semua memakai <i>font</i> “ <i>times new roman</i> ” dengan ukuran sesuai template	Semua
3	Penomoran persamaan (halaman 19)	Persamaan sudah diberi penomoran	27
4	Abstrak dalam bahasa inggris belum ada	Sudah ada abstrak dalam bahasa inggris	vi
5	Penomoran sub bab	Sudah disesuaikan dengan template	1 – 44
6	Tabel diseragamkan	Tabel sudah diseragamkan	10 – 43
7	Daftar pustaka ( <i>font</i> )	Sudah disesuaikan menggunakan <i>font</i> “ <i>times new roman</i> ”	45 – 47
8	Bagian latar belakang diringkas	Sudah diringkas tanpa mengurangi makna dari isi latar belakang	1 – 3
9	Tabel dan gambar di latar belakang dipindah ke landasan teori	Sudah dipindah	8, 10, dan 11
10	Tambahkan ruang lingkup riset	Sudah dibuatkan batasan penelitian dengan 5 poin batasan	4 – 5
11	RDF di Indonesia (penjelasan)	Sudah ada di latar belakang	1 – 2
12	Alternatif penggunaan selain di RDF	Yaitu alternatif penggunaan sampah plastik/anorganik Sudah ada di latar belakang	
13	Benang merah Tabel 2.1	Sudah dibuatkan benang merah	12 – 13
14	Halaman 15 dan 16 buat diagram alir	Sudah dibuatkan diagram alir	22
15	Karakteristik sampah yang digunakan = buatan/asli (sumber), laju pemasukan sampah (berat/menit)	Karakteristik dan sumber sampah sudah dicantumkan pada Bab I dan Bab III, untuk laju pemasukan sampah ada di Bab IV	3, 18, dan 36

16	Analisis data dijelaskan lebih lanjut di Bab III	Sudah ditambahkan	29
17	Bab IV analisis/interpretasi data masih perlu ditambahkan	Interpretasi data hasil pengujian sudah ditambah beberapa poin	39 – 43
18	Data halaman 28 disederhanakan dengan grafik	Sudah dibuatkan grafik	32 – 36
19	Pengembangan lebih lanjut untuk alat	Sudah ditambahkan dalam Bab 5 poin 2	45
20			