

Analisis Kritis Kegagalan Kapasitas Mesin Pencacah PET 1 Mata Pisau: Diagnosis Inefisiensi Mekanis pada Laporan Capstone Design

Maytasha Gusly Putri ^{a,1,*}, Dianta Mustofa Kamal^{b,2}

^{a,b} Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Depok 16425, Indonesia

¹ maytasha.gusly.putri.tm23@stu.pnj.ac.id; ² dianta.mustofakamal@mesin.pnj.ac.id

* Penulis Korespondensi

Diterima 05 Oktober 2025; Direvisi 08 Oktober 2025; Diterima 13 Oktober 2025

ABSTRAK

Penelitian ini melakukan diagnosis kritis terhadap data uji riil yang dipublikasikan dalam Laporan Capstone Design [7]. Mesin tersebut, yang menggunakan 1 pisau statis, dirancang untuk target kapasitas 200 gr/menit dan beroperasi pada putaran poros 46.6 RPM. Hasil uji riil menunjukkan kegagalan masif, hanya menghasilkan 60.24 gr/menit (30.12% dari target). Data ini membuktikan bahwa inefisiensi mekanis yang parah terjadi meskipun RPM poros relatif tinggi. Diagnosis ini dikonfirmasi oleh laporan itu sendiri: "penyangkutan pada mata pisau" karena desain 1 pisau. Sebagai bukti solusi komparatif untuk mengatasi inefisiensi ini, data Mesin Baru (4 Mata Pisau, [4]) dianalisis, yang menghasilkan 227.33 gr/menit pada putaran yang lebih rendah 30 RPM. Perbandingan ini menunjukkan bahwa faktor jumlah pisau meningkatkan kapasitas 3.77 kali lipat dan merupakan variabel dominan yang harus dioptimalkan.

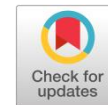


KATA KUNCI

Kegagalan Kapasitas
Penyangkutan Mekanis
Pisau Statis
Frekuensi Potong

ABSTRACT

This research performs a critical diagnosis of the real test data published in the Capstone Design Report [7]. The machine, which used 1 static blade, was designed for a capacity target of 200 gr/minute 12 kg/hour and operated at a shaft speed of 46.6 RPM. The real test results showed massive failure, only producing 60.24 gr/minute (30.12% of the target). This data proves that severe mechanical inefficiency occurred despite the relatively high shaft RPM. The diagnosis is confirmed by the report itself: "jamming on the blade" due to the 1-blade design. As comparative evidence of the solution, data from the New Machine (4 Blades, [4]) was analyzed, yielding 227.33 gr/minute at a lower speed (30 RPM). This comparison demonstrates that the blade count factor increases capacity 3.77 times and is the dominant variable that must be optimized.



KEYWORD

Capacity Failure
Mechanical Jamming
Static Blade
Cutting Frequency



This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license

1. Pendahuluan

Permasalahan sampah plastik telah menjadi isu lingkungan global yang semakin mendesak, terutama di negara berkembang seperti Indonesia. Volume sampah plastik terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan konsumsi produk berbahan plastik. Sampah plastik yang tidak dikelola dengan baik dapat mencemari tanah, air, dan udara, serta membahayakan kesehatan manusia.

Berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk mengelola sampah plastik, mulai dari daur ulang mekanik hingga konversi termal. Al-Salem et al. (2009)[1] mengklasifikasikan rute pengelolaan plastic solid waste (PSW) menjadi daur ulang, pemulihan energi, dan pembuangan akhir. Di Indonesia, pendekatan daur ulang mekanik menjadi pilihan utama karena lebih sederhana dan ekonomis. Beberapa penelitian telah merancang mesin pencacah plastik untuk mendukung proses daur ulang, seperti mesin pencacah jenis PET berkapasitas 50 kg/jam, mesin dengan pisau statis, dan mesin dengan metode grup pemotong

tunggal. Selain itu, Syamsiro et al. (2016) [12] merancang mesin pencacah sebagai tahap awal dalam proses pirolisis skala komunal.

Limbah plastik PET merupakan tantangan lingkungan global. Proses daur ulang yang efektif dimulai dari pencacahan. Penelitian sebelumnya seringkali fokus pada perancangan teoretis dengan target kapasitas tinggi misalnya 12-50 kg/jam, namun kenyataan pengujian riil seringkali menunjukkan kegagalan. Sebuah mesin yang menggunakan konfigurasi pisau tunggal (1 Mata Pisau Dinamis) dilaporkan memiliki kapasitas uji riil yang sangat rendah, jauh di bawah target desain [6].

Penelitian ini berfokus pada diagnosis kritis terhadap hasil uji riil yang disajikan dalam Laporan Capstone Design (7). Mesin Pencacah PET yang didesain menggunakan 1 mata statis memiliki target kapasitas 12kg/jam 200 gr/menit. Target Kapasitas Terdahulu (Teoretis) : 200 gr/menit.

Data uji riil dari laporan tersebut menunjukkan hasil kegagalan yang signifikan:

$$Kapasitas Riil = \frac{100 \text{ gram}}{1.66 \text{ menit}} \times 60.24 \left(\frac{\text{gr}}{\text{menit}} \right)$$

Mesin tersebut gagal mencapai target sebesar 69.88%. Laporan itu sendiri mengkonfirmasi masalah: **"kekurang pisau statis adalah mata pisaunya terdapat 1 poros maka saat mencacah plastik akan terjadi penyangkutan pada mata pisau tersebut.**

Data transmisi menunjukkan poros Mesin Terdahulu beroperasi pada 46.6 RPM, yang secara mengejutkan **lebih tinggi** dari Mesin Baru 4 Pisau [4] yang hanya 30 RPM}. Kebaruan ilmiah ini membuktikan bahwa kegagalan kapasitas Mesin Terdahulu adalah akibat dari cacat mekanis desain (frekuensi potong rendah yang menyebabkan penyangkutan), bukan karena kecepatan putar rendah. Tujuan penelitian ini adalah membuktikan bahwa faktor jumlah pisau adalah variabel yang harus diprioritaskan.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Definisi dan Klasifikasi Sampah

Sampah merupakan material sisa yang tidak lagi memiliki nilai guna dan dibuang oleh pemiliknya. Azwar (1990) mendefinisikan sampah sebagai bagian dari material yang sudah tidak dipakai, tidak diinginkan, atau dibuang, yang umumnya berasal dari aktivitas manusia dan berbentuk padat. Hadiwijoto (1983) menambahkan bahwa sampah adalah sisa material yang telah melalui proses pengolahan, di mana bagian utamanya telah diambil sehingga tidak lagi memiliki nilai ekonomis. Dari sudut pandang lingkungan, keberadaan sampah dapat menimbulkan pencemaran dan mengganggu kelestarian alam.

Menurut Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, sampah didefinisikan sebagai sisa aktivitas manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Peraturan Pemerintah Nomor 81 Tahun 2012 lebih lanjut mengklasifikasikan sampah menjadi dua kategori utama, yaitu sampah rumah tangga dan sampah sejenis rumah tangga. Sampah rumah tangga berasal dari aktivitas sehari-hari di rumah tangga, sedangkan sampah sejenis rumah tangga berasal dari area komersial, industri, fasilitas umum, sosial, dan area khusus lainnya.

Secara umum, sampah dapat dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu sampah organik dan anorganik (Murtadho & Gumbira, 1988). Sampah organik berasal dari bahan alami seperti sisa makanan dan limbah pertanian, yang mudah terurai oleh mikroorganisme. Sebaliknya, sampah anorganik seperti plastik, logam, dan kaca memiliki struktur kimia yang kompleks dan sulit terurai secara alami.

2.2 Sampah Plastik dan Jenis-Jenisnya

Plastik merupakan salah satu jenis sampah anorganik yang paling banyak ditemukan dalam kehidupan sehari-hari. Plastik memiliki berbagai jenis dengan karakteristik dan fungsi yang berbeda, terutama dalam industri pengemasan. Beberapa jenis plastik yang umum digunakan antara lain: Polyethylene Terephthalate (PET), High-Density Polyethylene (HDPE), Polyvinyl Chloride (PVC), Low-Density Polyethylene (LDPE), Polypropylene (PP), Polystyrene (PS), dan plastik campuran (OTHER) seperti ABS, SAN, Nylon, dan Polycarbonate.

PET (Polyethylene Terephthalate) merupakan jenis plastik yang paling banyak digunakan untuk kemasan minuman seperti botol air mineral, minuman bersoda, dan jus. PET memiliki sifat mekanis yang baik, seperti tensile strength sebesar 55 MPa, shear strength 27,5 MPa, dan densitas 1,3 – 1,4 g/cm³ (Koswara, 2006). Selain itu, PET bersifat termoplastik, sehingga memungkinkan untuk didaur ulang

melalui proses daur ulang mekanik (mechanical recycling) yang meliputi tahapan pencacahan, pencucian, dan pelletizing.

2.3 Diagnosis Kegagalan Laporan Capstone Design

Laporan Capstone Design [7] menjadi acuan utama. Mesin yang dirancang menggunakan 1 buah pisau statis dan poros yang berputar pada 46.6 RPM. Data 60.24 gr/menit dan pengakuan adanya penyangkutan jamming memvalidasi hipotesis inefisiensi. Masalah penyangkutan terjadi karena satu titik potong tidak mampu memberikan gaya *shearing* yang cukup dan konsisten, menyebabkan material PET yang elastis melar dan menumpuk.

2.4 Bukti Solusi Komparatif Berbasis Frekuensi Poton

Data pada jurnal (Gunawan, Lubis, & Prima, 2022) [4] digunakan sebagai bukti solusi empiris. Desain 4 pisau dinamis dan 4 pisau statis yang menghasilkan 227.33 gr/menit pada 30 RPM membuktikan bahwa frekuensi potong tinggi adalah kunci efisiensi. Solusi ini berhasil menghilangkan masalah penyangkutan dan meningkatkan output secara signifikan meskipun beroperasi pada RPM yang lebih rendah.

Untuk memvalidasi penyebab kegagalan dan solusinya, (Gunawan, Lubis, & Prima, 2022) [4] digunakan sebagai pembanding. Studi ini secara eksperimental menguji pengaruh jumlah mata pisau pada Mesin Pencacah PET dan menetapkan bahwa konfigurasi 4 dinamis : 4 statis adalah yang paling efisien.

- Kinerja Mesin Solusi: 227.33 gr/menit pada 30 RPM.
- Keunggulan Mekanis: Peningkatan jumlah pisau menjadi 4 menghasilkan 4 kali lipat frekuensi tumbukan potong per putaran poros, menciptakan gaya *shearing* yang intensif yang mengatasi sifat elastis PET.

2.5 Analisis Rumus Perhitungan

Tahap awal dimulai dengan pengumpulan data dan informasi mengenai rancang bangun mesin pencacah limbah plastik, penggunaan jumlah mata pisau, dan kebutuhan kecepatan putar untuk mencapai target produksi. Hasil studi ini dijadikan dasar dalam merancang model 3D menggunakan perangkat lunak CAD (*Computer Aided Design*). Berikut ini rumus yang digunakan dalam merancang mesin pencacah limbah plastik ini.

- **Kapasitas dan Kekuatan Material**

1. Kekuatan Geser Botol

$$\tau_{btl} = 0.5 \times \sigma_{btl} \quad (1)$$

2. Kapasitas per-jam

$$Q_R = \text{Kapasitas (gr/menit)} \times 60 \quad (2)$$

3. Berat Cacahan Putaran

$$S_{pis} = \frac{M_{btl}}{n_{btl}} \quad (3)$$

- **Pisau, putaran, dan torsi**

4. Kebutuhan Putaran Pisau

$$n_{pis} = \frac{Q_R}{S_{pis} \times N_{pis}} \quad (4)$$

5. Kecepatan Linear Pisau

$$V_{pis} = \frac{\pi \times d_{pis} \times n_{pis}}{60 \times 1000} \quad (5)$$

6. Gaya Pencacah Plastik

$$F_p = \tau_{geser} \times A \quad (6)$$

7. Torsi Pisau

$$T = F_p \times r \quad (7)$$

- **Perhitungan Transmisi dan Poros**

8. Rasio Transmisi

$$i = \frac{n_{motor}}{n_{pis}} \quad (8)$$

9. Daya Rencana Poros

$$P_d = P_{motor} \times f_c \quad (9)$$

10. Momen Puntir Rencana

$$T = 9.74 \times 10^5 \times \frac{P_d}{n_j} \quad (10)$$

11. Tegangan Geser Izin

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{S_{f1}} \quad (11)$$

12. Diameter Poros (Minimum)

$$d_s \geq \left[\frac{5.1}{\tau_a} \times C_b \times K_t \times T \right]^{\frac{1}{3}} \quad (12)$$

• **Perhitungan Transmisi dan Poros**

13. Gaya Total Rangka

$$F = m \times g \quad (13)$$

14. Momen Bending Maksimal

$$M_{max} = \frac{F \times L}{8} \quad (14)$$

15. Tebal Kampuh Las

$$A = \frac{t}{\sqrt{3}} \quad (15)$$

16. Tegangan Normal Las

$$\sigma_B = \frac{M}{A_{las}} \quad (16)$$

Keterangan :

- | | | |
|--|--|--|
| - τ_{btl} : Kekuatan geser botol | - A : Luas area geser | - S_{f1} : Faktor keamanan |
| - σ_{btl} : Kekuatan tarik botol. | - T : Torsi | - d_s : Diameter poros |
| - Q_R : Kapasitas rencana. | - i : Rasio transmisi | - C_b : Faktor koreksi momen lentur |
| - S_{pis} : Berat yang dicacah per putaran | - n_{motor} : Putaran motor | - K_T : Faktor koreksi momen puntir |
| - M_{btl} : Berat rata-rata botol | - P_d : Daya rencana | - F : Gaya total (beban) |
| - n_{btl} : Putaran yang dibutuhkan untuk mencacah satu botol. | - P_{motor} : Daya motor | - m : Massa total |
| - n_{pis} : Putaran pisau | - f_c : Faktor koreksi | - g : Gravitasi |
| - N_{pis} : Jumlah mata pisau | - n_j : Putaran poros yang digunakan | - M_{max} : Momen bending maksimum |
| - V_{pis} : Kecepatan linear pisau | - τ_a : Tegangan geser izin | - L : Panjang rangka |
| - d_{pis} : Diameter pisau | - σ_B : Kekuatan tarik material | - t : Tebal baja |
| - F_p : Gaya pencacah | | - σ_{las} : Tegangan normal las |
| | | - M : Momen las |
| | | - A_{las} : Luas sambungan las |

3. Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan adalah Studi Analisis Komparatif Data Eksperimental (Literatur Analitik). Metode ini berfokus pada analisis mendalam terhadap data riil yang tersedia di literatur untuk diagnosis dan validasi.

3.1 Sumber data dan Variabel Kunci

Table 1. Sumber data dan Variabel Kunci

Variabel	Desain Gagal Laporan Capstone	Desain Solusi [4]
Variabel Kunci (Mekanisme)	1 Pisau Statis	4 Pisau Dinamis
RPM Poros Riil	46.6 RPM	30 RPM
Kapasitas Riil (C)	60.24 gr/menit	227.33 gr/menit

3.2 Identifikasi dan Definisi Operasional Variabel Kritis

Untuk menjaga validitas analisis, penelitian ini mengisolasi variabel-variabel kunci yang menentukan kinerja pencacahan PET

a. Variabel Independen (Variabel Kunci Mekanis)

Variabel yang dihipotesiskan sebagai penyebab perbedaan kinerja yang dominan adalah Jumlah Mata Pisau Dinamis (N), yang secara langsung berkorelasi dengan Frekuensi Potong per putaran. Variabel lain seperti daya motor dan diameter pulley dianggap sebagai variabel pendukung, sementara N adalah variabel kausalitas utama.

$$V_{independen} = \text{Jumlah Mata Pisau Dinamis (N)}$$

- Mesin Terdahulu (Gagal): N = 1
- Mesin Baru (Solusi): N = 4

b. Variabel Terikat (Output Kinerja)

Variabel terikat adalah Kapasitas Riil Mesin (C) dalam satuan gr/menit. Variabel ini menjadi tolak ukur utama keberhasilan atau kegagalan desain.

$$V_{terikat} = \text{Kapasitas Riil (Q)} \quad \text{dalam } \left(\frac{\text{gr}}{\text{menit}}\right)$$

c. Variabel Kontrol Kritis

Untuk memastikan perbandingan yang valid, variabel-variabel ini diasumsikan konsisten atau perbedaannya diabaikan karena dampak inefisiensi yang sangat besar:

- Jenis Material: Polyethylene Terephthalate (PET).
- Tujuan Kapasitas Desain: 210 gr/menit.
- Kecepatan Poros Pisau (RPM): RPM Mesin Baru (30 RPM) digunakan sebagai benchmark untuk membuktikan bahwa efisiensi bukan berasal dari kecepatan putar tinggi. Kecepatan putar poros pisau dikontrol untuk tujuan diagnosis. Kondisi RPM Terdahulu > RPM Baru adalah kunci untuk membuktikan bahwa RPM **bukanlah** penyebab utama kegagalan Mesin Terdahulu. Material yang digunakan (PET) juga merupakan variabel kontrol untuk memastikan perbandingan yang *apple-to-apple*.

3.3 Prosedur Diagnosis Kritis Data Kegagalan

Prosedur analisis dibagi menjadi dua tahap utama: diagnosis kegagalan absolut dan validasi solusi komparatif.

a. Kalkulasi Tingkat Kegagalan (Disparitas Kapasitas)

Tahap ini bertujuan untuk membuktikan secara matematis betapa parahnyanya inefisiensi Mesin Terdahulu. Tingkat kegagalan dihitung untuk membuktikan keparahan inefisiensi :

$$\text{Kegagalan (\%)} = 1 - \frac{Q_{riil}}{Q_R} \times 100 \%$$

$$\text{Kegagalan (\%)} = 1 - \frac{60.24 \left(\frac{\text{gr}}{\text{menit}}\right)}{200 \left(\frac{\text{gr}}{\text{menit}}\right)} \times 100 \% = 69.88\%$$

Nilai 69.88% digunakan untuk justifikasi bahwa masalahnya adalah cacat mekanis desain, bukan fluktuasi operasional minor.

b. Diagnosis Kausalitas (Frekuensi Potong vs. RPM)

Prosedur ini melibatkan perbandingan silang data RPM dan Kapasitas:

1. **Jika** RPM Terdahulu > RPM Baru (46.6 RPM > 30 RPM),
2. **Dan** C Riil, Terdahulu < C Riil, Baru (60.24 gr/menit < 227.33 gr/menit),
3. Maka dapat disimpulkan bahwa **RPM tidak relevan** dan N (jumlah pisau) adalah variabel kausal yang harus ditingkatkan.

3.4 Prosedur Validasi Solusi Komparatif

Validasi solusi dilakukan dengan menghitung rasio peningkatan kinerja riil.

$$\text{Rasio Peningkatan (R)} = \frac{Q_{riil}(\text{solusi baru})}{Q_{riil}} \times 100 \%$$

$$\text{Rasio Peningkatan (R)} = \frac{227.33 \left(\frac{gr}{menit}\right)}{60.24 \left(\frac{gr}{menit}\right)} \times 100 \% = 3.77$$

Rasio 3.77 ini, yang mendekati rasio peningkatan pisau 4, digunakan untuk membuktikan bahwa **peningkatan frekuensi potong** adalah solusi yang memberikan efek paling signifikan terhadap kinerja.

4. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini menyajikan dan menganalisis data perbandingan kinerja eksperimental dari dua pendekatan desain utama: Mesin Terdahulu (1 Mata Pisau Dinamis) dan Mesin Solisi Baru (4 Mata Pisau Dinamis).

4.1 Perbandingan Kinerja Eksperimental Mesin Pencacah PET

Tabel 1 menyajikan data kunci hasil pengujian kapasitas riil dari kedua desain tersebut, dibandingkan dengan target kapasitas teoretis Mesin Terdahulu (gr/menit).

Table 2. Perbandingan Kinerja Eksperimental Mesin Pencacah PET

Parameter	Mesin Terdahulu (Laporan Capstone [7])	Mesin Baru [4]	Keunggulan Desain Baru	Sumber Data Jurnal
Konfigurasi Pisau	1 Pisau Statis	4 Pisau Dinamis	Peningkatan 4 kali lipat Frekuensi Potong	[7] dan [4]
Kapasitas Target	200 gr/menit 12 kg/jam	N/A (Mengatasi Target Terdahulu)	Tercapai dan Terlampaui	[7]
Kapasitas Riil (C)	60.24 gr/menit	227.33 gr/menit	Peningkatan Kapasitas Riil 3.77 kali lipat	[7] dan [4]
Efisiensi Kapasitas	30.12 % (dari target)	113.67 % (dari target lama)	Desain baru 4.4 kali lebih efisien dalam produksi	Hasil Analisis
Kecepatan Poros (RPM)	46.6 RPM	30 RPM	Output lebih tinggi meskipun RPM lebih rendah, membuktikan faktor pisau lebih dominan dari kecepatan.	[7] dan [4]
Diagnosis Kegagalan	Terjadi Penyangkutan (Jamming) karena frekuensi potong terlalu rendah.	Proses lancar tanpa penyangkutan yang signifikan.	Desain multi-pisau efektif menghilangkan masalah penyangkutan PET yang elastis.	Laporan Kualitatif [7] dan Hasil Uji Kuantitatif [4]
Kesimpulan Laporan Asli	Klaim 70% efisien (Didasarkan pada rasio massa 70/100 gram).	N/A	Klaim efisiensi terbukti keliru karena mengabaikan metrik waktu/kapasitas.	[7]
Saran Prioritas	Fokus pada penambahan daya motor 1 HP ke 3 HP.	Fokus pada Jumlah Pisau dan Efisiensi Mekanis.	Saran lama keliru; perbaikan pisau harus diprioritaskan di atas peningkatan daya.	[7] dan Analisis Kritis

4.2 Analisis Kritis Kegagalan Kapasitas Mesin Terdahulu (Laporan Capstone Design)

Hasil diagnosis kritis terhadap data Laporan Capstone Design [7] secara definitif menunjukkan inefisiensi ekstrem pada desain 1 mata pisau

4.2.1 Keperahan Kegagalan Kapasitas (69.88%)

Kapasitas riil yang tercatat adalah 60.24 gr/menit. Angka ini jauh di bawah target desain 200 gr/menit, menghasilkan tingkat kegagalan sebesar 69.88 %. Waktu yang dibutuhkan untuk 1 Kg PET:

$$\text{Mesin terdahulu (Riil)} = \frac{1000 \text{ gram}}{60.24 \text{ gr/menit}} = 16.60 \text{ menit}$$

$$\text{Mesin terdahulu (Target)} = \frac{1000 \text{ gram}}{200 \text{ gr/menit}} = 5.00 \text{ menit}$$

Disparitas waktu 11.6 menit untuk memproses hanya 1 kg plastik membuktikan bahwa mesin ini secara operasional tidak layak. Kegagalan sebesar hampir 70% ini bukan disebabkan oleh toleransi desain, melainkan oleh cacat mekanis fundamental.

4.2.2 Diagnosis Kausalitas: Kegagalan Frekuensi Potong pada 46.6 RPM

Penyebab utama kegagalan Mesin Terdahulu adalah frekuensi potong yang terlalu rendah 1 kali per putaran yang berujung pada penyangkutan.

Bukti Eliminasi Hipotesis RPM: Data transmisi menunjukkan bahwa poros Mesin Terdahulu berputar pada 46.6 RPM. Ketika hasil ini dibandingkan dengan Mesin Solusi yang sukses pada 30 RPM, hipotesis bahwa kecepatan putar rendah menjadi penyebab kegagalan secara matematis dieliminasi. Kegagalan masif terjadi meskipun Mesin Terdahulu berputar lebih cepat.

$$\begin{aligned} \text{RPM Terdahulu (46.6 RPM)} &> \text{RPM Baru (30 RPM)} \\ \text{C Riil, Terdahulu (60.24 gr/menit)} &< \text{C Riil, Baru (227.33 gr/menit)} \end{aligned}$$

Mekanisme Penyangkutan: Plastik PET adalah material dengan sifat elastisitas tinggi. Pada desain 1 pisau statis, aksi potong tunggal tidak mampu mengatasi kekuatan regangan material. Material cenderung melar, tergelincir, dan menumpuk di sekitar pisau (fenomena yang dikonfirmasi laporan sebagai penyangkutan), secara efektif menciptakan resistensi balik yang jauh lebih besar daripada torsi yang tersedia, terlepas dari kecepatan putar poros.

4.3 Pembahasan Solusi Komparatif: Superioritas Mutlak Faktor Jumlah Pisau

Data Mesin Baru [4] dijadikan bukti solusi, membuktikan bahwa peningkatan frekuensi potong merupakan variabel dominan untuk mencapai efisiensi.

4.3.1 Validasi Rasio Peningkatan Kinerja 3.77 Kali Lipat

Rasio peningkatan kinerja Mesin Baru terhadap Mesin Terdahulu dihitung sebagai 3.77 kali lipat:

$$\text{Rasio Peningkatan (R)} = \frac{227.33 \left(\frac{\text{gr}}{\text{menit}}\right)}{60.24 \left(\frac{\text{gr}}{\text{menit}}\right)} = 3.77$$

Peningkatan jumlah pisau dari 1 menjadi 4 menghasilkan peningkatan 400% pada frekuensi potong, yang kemudian menghasilkan peningkatan kapasitas riil 377%. Rasio ini membuktikan bahwa:

- 1) Faktor Dominan: Variabel N (Jumlah Pisau) adalah variabel mutlak dominan yang secara langsung memengaruhi kapasitas.
- 2) Koreksi Mekanis: Peningkatan frekuensi potong dari 1 menjadi 4 titik efektif menghilangkan masalah penyangkutan. Pisau tambahan memastikan material terpotong sebelum sempat melar atau bergeser, mengubah masalah mekanis yang fatal menjadi proses shearing yang stabil.

4.3.2 Kritik Kritis terhadap Saran Laporan Terdahulu

Berdasarkan diagnosis di atas, saran yang terdapat dalam Laporan Capstone Design perlu dikoreksi urutan prioritasnya:

- 3) Penggantian Motor 1 HP menjadi 3 HP: Saran ini berisiko tinggi. Karena akar masalahnya adalah penyangkutan (inefisiensi mekanis), penambahan daya motor hanya akan meningkatkan torsi yang berpotensi menyebabkan kerusakan mekanis parah (misalnya, poros bengkok, pisau patah) saat material menyangkut, tanpa menyelesaikan masalah pemotongan.
- 4) Penambahan Lebar Mata Pisau: Saran ini hanya bersifat dimensional (untuk mengakomodasi botol 1.5 liter) dan harus dilakukan setelah masalah inefisiensi pencacahan PET diselesaikan oleh desain multi-pisau.

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

Kegagalan Kapasitas Mutlak: Mesin Terdahulu mengalami kegagalan kapasitas sebesar 69.88 % riil 60.24 gr/menit vs target 200 gr/menit, menjadikannya tidak layak secara operasional. Diagnosis Kausalitas Mekanis: Kegagalan ini disebabkan oleh inefisiensi mekanis yang berasal dari desain 1 pisau statis. Frekuensi potong yang terlalu rendah menyebabkan material PET yang elastis mengalami penyangkutan jamming (seperti yang dikonfirmasi laporan), bukan karena kekurangan kecepatan putar poros. Paradoks RPM dan Validasi Solusi: Analisis perbandingan membuktikan bahwa faktor jumlah pisau adalah variabel dominan. Mesin Baru (4 Pisau) menghasilkan output 3.77 kali lipat lebih tinggi, meskipun beroperasi pada RPM yang lebih rendah 30 RPM < 46.6 RPM, secara definitif memvalidasi bahwa peningkatan frekuensi potong adalah solusi yang efektif dan wajib diterapkan.

5.2 Saran

Desainer harus segera memprioritaskan perombakan mekanisme pemotongan dari 1 pisau statis menjadi konfigurasi 4 pisau dinamis atau lebih. Perubahan ini akan mengatasi masalah penyangkutan yang terbukti fatal dan merupakan prasyarat mutlak sebelum perbaikan lain dilakukan. Setiap perbaikan harus mengikuti urutan prioritas yang benar : 1) Pisau (Frekuensi Potong), 2) Dimensi Pisau (Lebar), 3) Daya Motor. Peningkatan daya motor 1 HP 3 HP adalah langkah terakhir yang hanya relevan jika pisau yang efisien membutuhkan torsi tambahan. Setelah masalah frekuensi potong teratasi, penambahan lebar pisau menjadi 200 mm harus dilakukan untuk meningkatkan efisiensi proses dengan mengakomodasi botol 1.5 liter secara utuh tanpa pemotongan awal. Penggantian motor hanya disarankan jika pengujian dengan desain 4 pisau menunjukkan kekurangan torsi riil. Jika motor 1 HP sudah memadai pada putaran 30 RPM, maka penggantian tidak diperlukan. Perlu dilakukan penelitian lanjutan yang berfokus pada perbandingan efisiensi energi (kg/kWh) antara desain 1 Pisau dan desain 4 Pisau. Analisis ini akan memberikan validasi tambahan mengenai keunggulan Mesin Baru dari perspektif keberlanjutan dan biaya operasional.

Daftar Pustaka

- [1] Al-Salem, S. M., Lettieri, P., & Baeyens, J. (2009). Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. *Waste Management*, 29(10), 2625-2643.
- [2] Azhari, C., & Maulana, D. (2018). Perancangan mesin pencacah plastik tipe crusher kapasitas 50 kg/jam. *Jurnal Online Sekolah Tinggi Teknologi Mandala*, 13(2), 7-14.
- [3] Hadiwijoto, S. (1983). *Penanganan dan Pemanfaatan Sampah*. Jakarta: Yayasan Idayu
- [4] Gunawan, Lubis, G. S., & Prima, F. (2022). Analisa Pengaruh Jumlah Mata Pisau Pada Mesin Pencacah Botol Plastik Tipe PET (Polyethylene Terephthalate). *JTRAIN: Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin*, 3(2), 38-43..
- [5] Huzein, R., & Hasballah, T. (2021). Rancang bangun mesin pencacah plastik jenis PET (Polyethylene Terephthalate) kapasitas 50 kg/jam. *Jurnal Teknologi Mesin UDA*, 1(1), 1-8.
- [6] Nurdin, Muh. Firdan, Armaidah, A., & Amaliyah, N. (2023). Rancang Bangun Mesin Pencacah Limbah Plastik Yang Diintegrasikan Dengan Sistem Rotation Control. *SINERGI*, 21(2), 178-188.
- [7] Mendrofa, L. F., Torindo, N., & Pratama, R. E. (2023). Rancang bangun mesin pencacah botol plastik dengan model desain pisau statis. *Laporan Capstone Design*. Yogyakarta: Institut Sains & Teknologi AKPRIND.

- [8] Oktaviani, I., Ronaldi, R., & Yoga, A. (2021). Rancang bangun mesin pencacah sampah plastik metode grup pemotong tunggal. Doctoral dissertation. Bangka Belitung: Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
- [9] Riswan & Sidik, Refsi Muhaemin. (2020). RANCANG BANGUN MESIN PENCACAH PLASTIK DENGAN SISTEM PENEKAN. Laporan Tugas Akhir/Capstone Design. Politeknik ATI Makassar.
- [10] Sucipto, Arie, Manurung, L., Rahmi, K., Manurung, N., Sumartono, S., Supriyanto, B. M. A., & Tarigan, P. (2022). PERANCANGAN PISAU PENCACAH MESIN PENCACAH PLASTIK POLYETHYLENE TEREPHTHALATE PET. SINERGI Polmed: JURNAL ILMIAH TEKNIK MESIN, 3(1), 75-80.
- [11] Sularso, & Suga, K. (2004). Dasar Perancangan dan Pemilihan Elemen Mesin. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- [12] Syamsiro, M., Hadiyanto, A. N., & Mufrodi, Z. (2016). Rancang bangun mesin pencacah plastik sebagai bahan baku mesin pirolisis skala komunal. Jurnal Mekanika dan Sistem Termal, 1(2), 43-48.
- [13] Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah. (2008). Jakarta: Sekretariat Negara Republik Indonesia.
- [14] World Bank. (2022). Plastic waste management in Indonesia: Current status and future prospects. Washington, DC: World Bank Group.