

PENGARUH BENTUK MATA POTONG DAN PERLAKUAN PANAS TERHADAP KETAHANAN PEMAKAIAN PADA MESIN PENCACAH BOTOL PLASTIK BEKAS

Puji Basuki^{1*}, Niyar Candra Agustin², Candra Wahyu Sportyawan³,
Ratih Setyaningrum⁴, Muhammad Sagaf⁵

^{1,3} Prodi Teknik Mesin, ² Prodi Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Pandanaran
Jl. Banjarsari Barat No.1 Pedalangan, Banyumanik, Kota Semarang 50268.

⁴ Prodi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Dian Nuswantoro
Jl. Nakula I No. 5-11, Pendrikan Kidul, Semarang Tengah, Kota Semarang 50131.

⁵ Prodi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung
Jl. Raya Kaligawe KM 4, Terboyo Kulon, Genuk, Kota Semarang 50112.

*Email: basuki.p@unpand.ac.id

Abstrak

Sampah plastik telah menjadi topik lingkungan yang sampai saat ini belum bisa tuntas dengan baik. Botol plastik kosong jika disimpan menyita ruang yang sama dengan ketika masih ada isinya, oleh karena itu dibutuhkan alat pencacah plastik agar menjadi ringkas dan siap dilakukan daur ulang. Penelitian bertujuan untuk memperoleh bentuk mata potong yang sesuai dalam mencacah botol plastik. Metode penelitian dengan cara melakukan pembuatan pisau 3 (tiga) variasi sudut potong yaitu 90°, 70°, dan 50°. Masing-masing dilakukan pengujian meliputi pengukuran sudut potong, kekerasan material, tingkat kebisingan, getaran, arus listrik, bentuk cacahan, dan kecepatan kerja. Mesin menggunakan daya motor 3PK, putaran motor 1400 rpm, roda gigi reduksi 1:20. Hasil yang diperoleh adalah pada sudut 50° merupakan paling optimal, mampu menjaga putaran pisau potong tertinggi yaitu pada nilai 69,93 rpm, memiliki konsumsi energi listrik terendah yaitu sebesar 0,0043A dan menghasilkan temperatur motor yang rendah pada nilai 44,57°C, getaran paling kecil yaitu pada nilai 0,03Hz dan tingkat kebisingan rendah pada 72,63dB. Dari segi ukuran hasil cacahan, menghasilkan ukuran cacahan paling kecil dan lebih seragam pada ukuran 323,36mm². Sedangkan penggunaan sudut alat potong 90° terjadi kemacetan, plastik terselip karena tidak terpotong, terjadi lonjakan arus listrik ke motor.

Kata kunci: kekerasan bahan, mesin, pencacah, plastik, sampah

PENDAHULUAN

Latar Belakang Dan Rumusan Masalah

Botol bekas plastik air minum kemasan sebagai limbah rumah tangga selalu ditemukan pada tempat sampah. Walaupun paham masih punya nilai ekonomis tetapi tidak semua orang bersedia menyimpannya. Botol plastik berisi air atau kosong akan memerlukan volume yang sama sehingga menyita tempat penyimpanan sementara. Sebagai dasar perhitungan berat sampah dengan satu botol dibuat dari 25gram plastik maka 1kg sampah terdiri dari 40 buah botol (Silva *et al.*, 2024)

Hasil penelitian rata-rata produksi sampah plastik rumah tangga dari 100 keluarga di Kota Balikpapan adalah 9,55 Kg/hari dengan komposisi sampah plastik tertinggi didominasi oleh PET sebesar 3,14 Kg/hari (Prasaningtyas *et al.*, 2025). Sedangkan untuk seluruh dunia saat ini menunjukkan bahwa dari 359 juta ton plastik yang diproduksi setiap tahun, 150–200 juta ton menumpuk di tempat pembuangan sampah (Tournier *et al.*, 2020).

Studi pemanfaatan limbah plastik daur ulang seperti kantong plastik, wadah plastik, dan produk plastik dapat digunakan sebagai batu bata plastik yang lebih murah, tahan lama, dan ringan (Kassim *et al.*, 2020). Selain itu penggunaan plastik bekas pada arsitektur menjadi mampu menjadi bahan bangunan yang menarik. Caranya adalah dengan cara dicacah kemudian diolah lagi untuk dijadikan produk bahan bangunan rumah (Cudzik and Kropisz, 2024). Selain mudah dijadikan produk lain sampah plastik yang telah dicacah menghasilkan potongan kecil sehingga volume penyimpanan berkurang, mudah dalam penyimpanan, hemat biaya transportasi (Sharma, Washimkar and Belkhode, 2025).

Daur ulang mekanis adalah metode daur ulang plastik yang paling umum dilakukan dengan cara dan pengurangan ukuran dengan bantuan penghancur dan penggiling. Selanjutnya diproses dengan pemanasan dan pembentukan ulang (Pandey *et al.*, 2023). Salah satu penelitian membuat mesin pencacah dengan prioritas pada kemudahan penggunaan dan keselamatan kerja. Caranya

adalah dengan memperhatikan elemen yang berputar seperti sabuk, *pulley*, dan roda gigi tertutup, sehingga sepenuhnya aman bagi operator (Reddy and Raju, 2018). Sementara yang lain melakukan uji coba desain pencacah menggunakan mata potong model lembaran (*blade*) ketebalan 8mm (Buckshumiyen *et al.*, 2023). Bentuk dan kekerasan mata potong berpengaruh terhadap umur alat, hasil potongan, dan kecepatan kerja. Studi alat potong ketika digunakan terjadi kenaikan temperatur pada sisi potong, hal ini mengakibatkan efek seperti dilunakkan (*tempering*) kembali sehingga mudah tumpul (Duc and Le, 2025).

Sedangkan dari bentuk pisau model lembaran (*blade*) pada sisi potong sudut 30° diperoleh hasil mudah terlilit pada mata pisau sehingga cenderung menjepit limbah plastik. Sedangkan mata pisau sudut 60° malah lebih baik untuk menggunting atau menyobek limbah plastik menjadi serpihan yang lebih kecil (Saputra *et al.*, 2023). Dengan metode yang mirip penelitian dengan mata potong sudut 35° menghasilkan cacahan yang lebih banyak dibandingkan mata potong sudut 25° (Nicola, Yudo and Yunus, 2025). Penelusuran artikel pengasahan alat potong proses bubut pada area sudut tatal (*rake angle*) dengan berbagai bentuk kontur jalur tekukan tatal dapat mempengaruhi kinerja berupa pengurangan gaya potong 19,3%, penurunan suhu potong 14,2%, dan masa pakai alat bertambah 33,3% (Zou, Zhang and He, 2025). Sedangkan penelitian pada proses *frais* sudut potong makin kecil maka makin tajam, tetapi juga semakin cepat aus pada bagian ujung mata potong (Bohland, Hilligardt and Schulze, 2024).

Kekerasan yang tinggi pada alat potong diharapkan dapat memperpanjang umur pakai akan tetapi dapat mengakibatkan sebagai terjadi kenaikan suhu lokal di zona pemotongan yang mengakibatkan efek *tempering* material dengan demikian kehilangan kekerasan (Dutka *et al.*, 2012). Hasil penelitian proses bubut menggunakan alat potong yang sama pada benda kerja dengan tingkat kekerasan berbeda dengan cara membandingkan tingkat kekerasan alat potong pada benda kerja yang sama 35 HRC dan 45 HRC akan mengakibatkan lebih cepat aus pada benda kerja yang lebih keras, mata potong lebih cepat rusak (Chinchani and Choudhury, 2013).

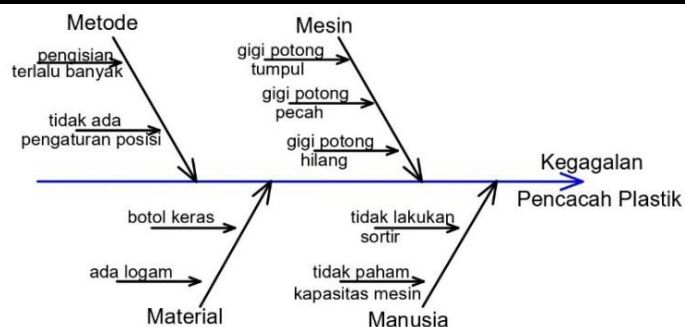
Pemilihan material mata potong telah dilakukan menggunakan baja Bohler K110 dapat digunakan dengan baik (Marvel, 2024), kemudian baja SUP9 yaitu jenis paduan karbon dan mangan tinggi serta silikon, memberikan kemampuan pengerasan yang baik setelah perlakuan panas dan ketahanan terhadap kelelahan (Gunawan, Lubis and Prima, 2022). Inovasi yang lebih maju dikembangkan dengan cara menggunakan getaran dan saluran pendingin pada mata potong dengan hasil mengurangi gesekan 52.5% dan menurunkan temperatur area potong 10.5% (Qian *et al.*, 2019).

Dari literatur yang ada terdapat hal yang belum diteliti di antaranya secara terkait keawetan umur pakai terhadap bentuk, kekerasan, efek getaran, tingkat kebisingan. Oleh karena itu diperlukan penelitian agar dapat menemukan mata potong dengan bentuk, kekerasan, sudut potong yang sesuai agar bisa digunakan pada mesin pencacah dengan kondisi saat digunakan ringkas, awet, tidak menimbulkan kebisingan, daya listrik rendah, getaran kecil.

METODE

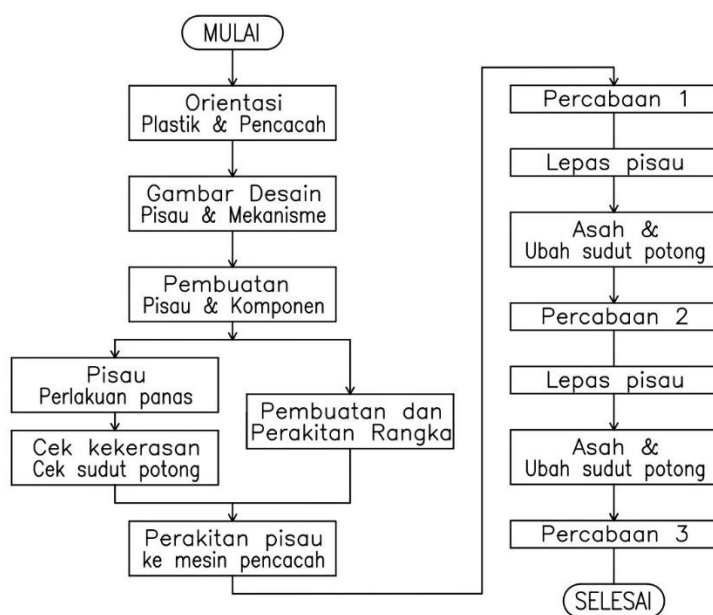
Penelitian diawali dari orientasi untuk memahami jenis dan karakter plastik pada botol bekas, mempelajari cara pencacahan plastik dan melakukan analisa kerusakan pada mesin pencacah yang selama ini sudah ada. Analisa menggunakan diagram *fishbone* Gambar 1. Dari diagram tersebut mata potong adalah hal yang dominan sebagai penyebab kegagalan. Oleh karena itu penelitian berfokus pada mata potong dan kekerasan material dengan tujuan mendapatkan kualitas tinggi.

Untuk memperoleh bentuk mata potong pisau pencacah yang baik maka dilakukan uji coba pembuatan pisau dari material yang belum dikeraskan. Setelah dibentuk melalui proses permesinan kemudian dikeraskan. Mata pisau tersebut dipasang pada mesin pencacah yang telah disesuaikan konstruksinya. Proses uji meliputi kemampuan unjuk kerja, kecepatan hasil, tingkat kebisingan dalam desibel, tingkat getaran dengan frekuensi, kenaikan temperatur, arus listrik ketika pembebanan. Oleh karena itu perlu dibuat rangka dan konstruksi mesin pencacah dengan pertimbangan kemudahan ganti pisau pemotong. Uji coba akan diulang dengan cara melakukan perubahan sudut pada mata potong ketika dilakukan pengasahan.

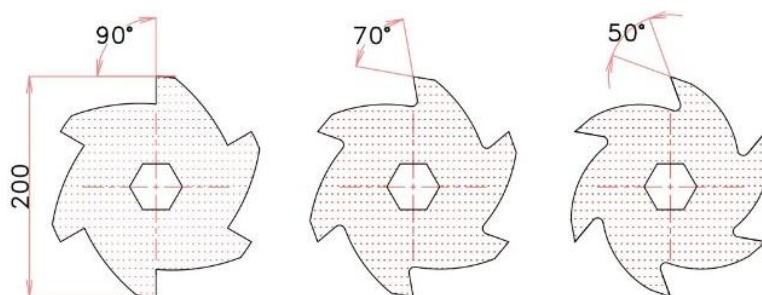


Gambar 1. Diagram fishbone

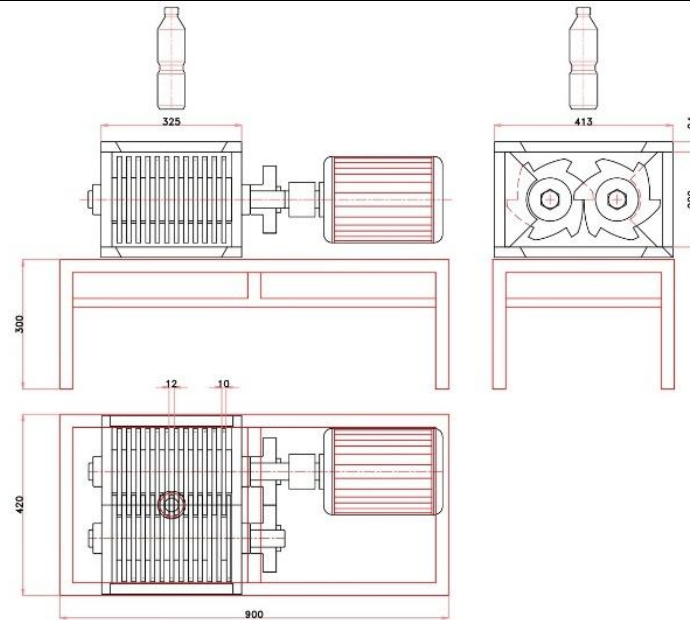
Pelaksanaan penelitian mengikuti diagram alir seperti pada Gambar 2. Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan gambar desain mata pisau pencacah. Sudut mata potong dibuat 3 macam yaitu 90°, 70°, dan 50° (Gambar 3). Masing-masing diuji menggunakan mesin pencacah (Gambar 4). Alat uji coba yang digunakan adalah: a. *Thermometer*, b. *Jangka sorong*, c. *Tang ampere*, d. *Vibration meter*, e. *Sound level meter*, f. *Tachometer* (Gambar 5).



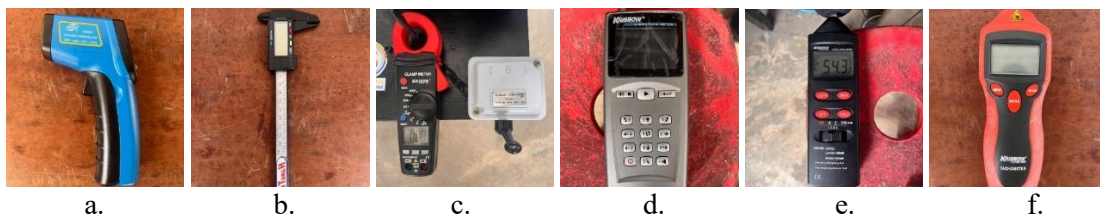
Gambar 2. Diagram alir penelitian



Gambar 3. Desain bentuk pisau pencacah



Gambar 4. Rancangan mesin pencacah

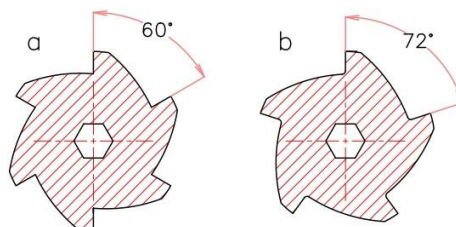


Gambar 5. Alat ukur a. *Thermometer*, b. *Jangka sorong*, c. *Tang ampere*, d. *Vibration meter*, e. *Sound level meter*, f. *Tachometer*

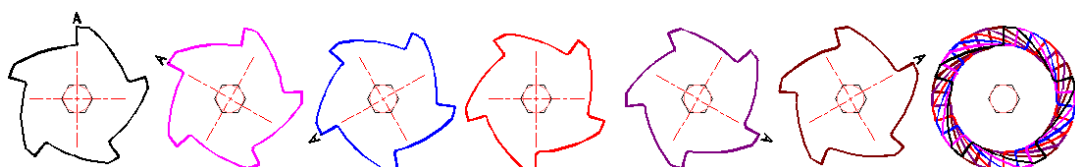
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pembuatan Mata Potong dan Mesin *Shredder*

Bentuk pisau semula dirancang terdiri dari 6 mata potong dalam satu lingkaran dengan sudut 60° (Gambar 6.a) atas dasar keberlanjutan (*continuitas*) ketika berputar dirubah menjadi 5 mata potong dengan sudut 72° (Gambar 6.b). Tujuan perubahan ke 5 mata potong adalah agar ketika disusun pada poros bentuk hexagonal tidak menjadi satu garis lurus (Gambar 7). Kekerasan mata potong 55HRC.

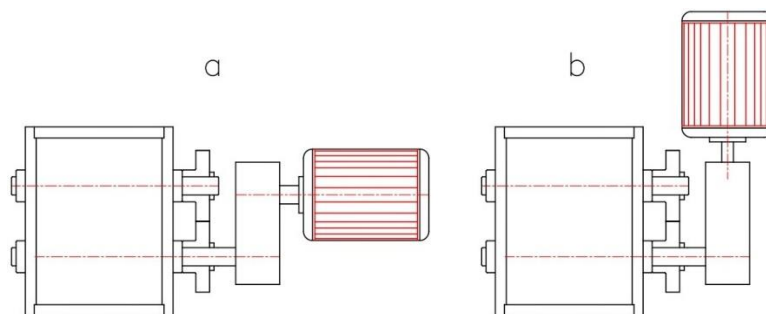


Gambar 6. Desain jumlah mata potong



Gambar 7. Tumpukan mata potong jarak 72° terhadap poros hexagonal

Motor penggerak menggunakan daya 3PK dengan putaran poros 1400 rpm. Untuk menurunkan putaran menggunakan reduksi roda gigi perbandingan 1:20. Posisi motor penggerak semula direncanakan sejajar sumbu mesin *shredder* (Gambar 8.a). dalam pengerjaannya diputar 90°. Hal ini disebabkan *reducer* roda gigi rasio 1:20 bersumbu tegak lurus antara poros masuk dan poros keluar (Gambar 8.b). Hasil akhir pembuatan mesin *shredder* pada Gambar 9.



Gambar 8. Posisi motor penggerak. a Rancangan awal, b Hasil akhir



Gambar 9. Hasil pembuatan *shredder*

Proses uji coba dan analisa data

Pengambilan data dilakukan secara serentak dengan alat yang sudah menempel pada tempat masing-masing agar tidak terjadi perbedaan kondisi (Gambar 10). Simulasi pengambilan data sempat dilakukan beberapa kali sebelum pengambilan data resmi untuk memastikan metode yang dilakukan layak. Kondisi dan situasi lingkungan dibuat tidak boleh ada yang melakukan aktivitas suara dan getaran yang berpotensi mengganggu kinerja alat ukur. Hasil trial tercantum pada Tabel 1.

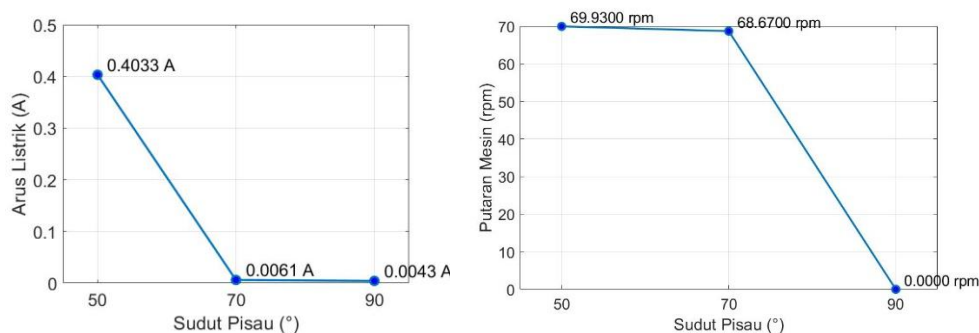


Gambar 10. Proses pengukuran

Tabel 1. Data pengukuran hasil uji coba

Jenis Pengujian	Satuan	3 kali trial	SUDUT MATA POTONG					
			90°		70°		50°	
			Tanpa Beban	Ketika Proses	Tanpa Beban	Ketika Proses	Tanpa Beban	Ketika Proses
Getaran	Hz	1	0,018	0,063	0,018	0,092	0,018	0,034
		2	0,018	0,063	0,018	0,099	0,018	0,034
		3	0,018	0,045	0,018	0,098	0,018	0,032
Kebisisngan	dB	1	65,8	73,5	65,8	72,5	65,8	72,5
		2	65,8	74,1	65,8	75,4	65,8	70,8
		3	65,8	72,9	65,8	73,9	65,8	74,6
Temperatur mata potong	°C	1	34,2	34,8	34,2	34,2	34,2	34,2
		2	34,2	34	34,2	34,8	34,2	34,4
		3	34,2	34,2	34,2	34,9	34,2	34,1
Temperatur motor penggerak	°C	1	37,9	48,8	37,9	46,6	37,9	44,5
		2	37,9	48,2	37,9	47,1	37,9	44,1
		3	37,9	48,5	37,9	48,6	37,9	45,1
Arus listrik	A	1	0,006	0,4	0,006	0,009	0,006	0,005
		2	0,006	0,41	0,006	0,008	0,006	0,004
		3	0,006	0,4	0,006	0,0014	0,006	0,004
Putaran poros shredder	RPM	1	76,3	0	76,3	72,8	76,3	64
		2	76,3	0	76,3	62,1	76,3	73
		3	76,3	0	76,3	71,1	76,3	72,8
Hasil cacahan	mmxmm	1		Tidak				
		2		ada		63,14x15,7		34,4x9,4
		3		hasil				

Pada sudut alat potong 50° dan 70° memberikan gaya potong yang tajam. Pada sudut potong 50° menghasilkan efisiensi energi yang terbaik dengan konsumsi terendah pada nilai arus rata-rata 0,0043A dan kecepatan putar pisau 69,93 rpm. Sudut yang lancip pada pengujian ini yaitu pada sudut 50° mengurangi penetrasi hambatan material. Selain itu torsi juga turun dan memungkinkan motor beroperasi mendekati kecepatan tanpa beban. Sedangkan pada sudut alat potong 90° memiliki bentuk pisau datar atau tumpul. Oleh karena itu, gaya gesek (*shear force*) tidak akan terbentuk secara efektif. Pada sudut pisau 90° juga memiliki bidang kontak terdistribusi yang mengakibatkan plastik tersangkut pada celah pisau (*jamming*). Hal ini mengakibatkan pisau berhenti berputar. Karena poros pisau terkunci tidak bergerak, arus melonjak 6500% dari kondisi tanpa beban 0,006 A hingga mencapai 0,4033A. Lonjakan arus ini menghasilkan lonjakan panas pada kumparan motor. Data rata-rata arus dan kecepatan putaran pisau potong dapat dilihat pada Gambar 11.

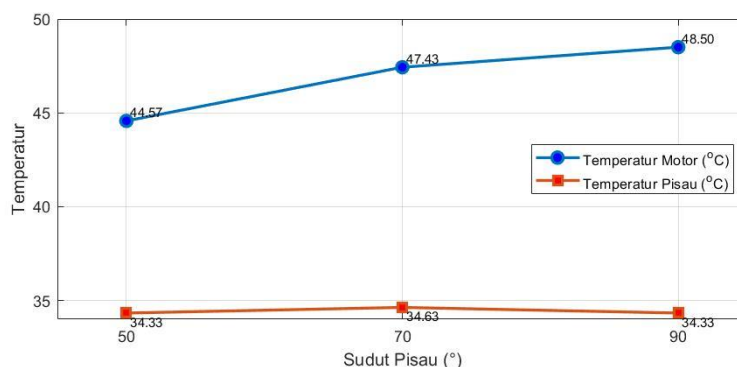


Gambar 11. Arus listrik dan kecepatan putar pisau

Pada sisi temperatur didapat nilai temperatur hasil uji coba pada motor dan pisau potong. Temperatur motor tertinggi tercatat pada sudut alat potong 90° dengan nilai 48,50°C, disusul oleh sudut alat potong 70° dengan nilai 47,43°C dan terendah pada sudut potong 50° dengan nilai 44,57°C. Peningkatan suhu motor pada sudut alat potong 90° dipicu oleh terkuncinya poros pisau sehingga arus naik dikonversi menjadi panas sesuai persamaan berikut:

$$P_{loss} = I^2 R \dots \dots \dots (1)$$

Pada sudut alat potong 70°, gaya potong masih relatif besar sehingga menyebabkan fluktuasi beban torsi yang tinggi. Ini menyebabkan efisiensi motor sedikit turun dan melepas panas yang lebih tinggi dibanding dengan penggunaan sudut alat potong 50°. Selain itu, temperatur pisau relatif stabil pada ketiga sudut alat potong yaitu berkisar antara 34,23°C hingga 34,63°C dengan kenaikan <2% dari suhu awal tanpa beban yaitu 34,2°C. Hal ini mengindikasikan bahwa gesekan material plastik tidak sampai mengubah struktur mikro pisau potong sehingga tidak terjadi perubahan temperatur yang signifikan. Data rata-rata temperatur pisau dan motor dapat dilihat pada Gambar 12.

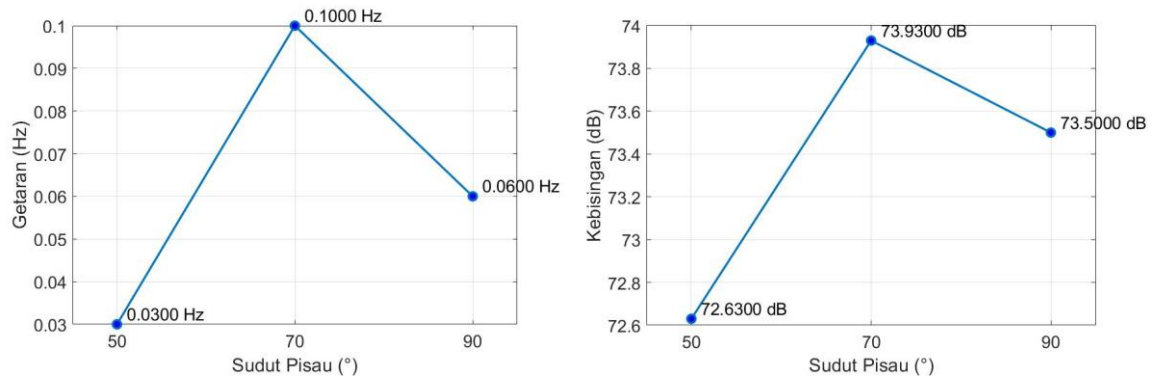


Gambar 12. Temperatur pisau dan motor

Pada pengujian menggunakan sudut alat potong 90°, mesin macet (Gambar 13) sehingga getaran mesin menurun pada 0,6 Hz. Pada proses normal, getaran tertinggi terjadi pada pemakaian sudut alat potong 70° yaitu pada 0,1 Hz dengan peningkatan 400% dari kondisi awal tanpa beban yaitu 0,018 Hz. Getaran terendah tercatat pada sudut alat potong 50° yaitu pada 0,03 Hz dengan peningkatan 89 % dari kondisi awal tanpa beban. Data ini menunjukkan bahwa sudut alat potong 50° memotong material plastik dengan penetrasi yang lebih baik sehingga meminimalkan respon impluls gaya saat terjadi kontak antara pisau dengan material plastik. Data rata-rata getaran dan kebisingan dapat dilihat pada Gambar 14.

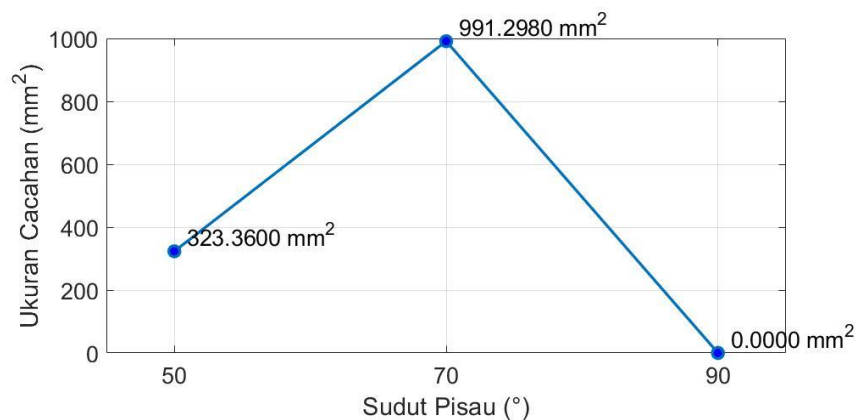


Gambar 13. Sudut 90° terjadi macet



Gambar 14. Getaran dan kebisingan

Pada sudut alat potong 90° tidak menghasilkan cacahan karena mesin macet dan tidak berputar. Sedangkan pada sudut alat potong 70° menghasilkan ukuran luas hasil cacahan 991,3 mm² dan pada sudut alat potong 50° menghasilkan ukuran luas hasil cacahan 323,4 mm². Ini menunjukkan bahwa penggunaan sudut alat potong 50° menghasilkan reduksi ukuran 67% lebih kecil dibanding penggunaan sudut alat potong 70°. Data rata-rata ukuran hasil cacahan dapat dilihat pada Gambar 15 dan Gambar 16.



Gambar 15. Ukuran hasil cacahan



Gambar 16. Hasil cacahan mata pisau 70° dan mata pisau 50°

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa penggunaan sudut alat potong sebesar 50° merupakan konfigurasi geometris yang paling optimal untuk mesin pencacah plastik dibandingkan dengan sudut alat potong 70° dan 90°. Penggunaan sudut alat potong sebesar 50° dinilai mampu menjaga putaran pisau potong tertinggi yaitu pada nilai 69,93 rpm, memiliki konsumsi energi listrik terendah yaitu sebesar 0,0043 A dan menghasilkan temperatur motor yang rendah pada nilai 44,57°C. Selain itu penggunaan sudut alat potong sebesar 50° dinilai minim getaran yaitu pada nilai 0,03Hz dan tingkat kebisingan rendah pada 72,63 dB. Dari segi ukuran hasil cacahan, penggunaan sudut alat potong sebesar 50° juga menghasilkan ukuran cacahan paling kecil dan lebih seragam pada ukuran 323,36 mm². Sedangkan penggunaan sudut alat potong 90° perlu dihindari karena dapat memicu jamming, kerusakan motor akibat lonjakan arus serta kegagalan pemotongan pada proses pencacahan plastik.

Ucapan Terima kasih

Penelitian ini terlaksana dengan baik atas dukungan pembiayaan hibah Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi, Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat – Dirjen Riset dan Pengembangan Nomor Kontrak 285/C3/DT.05.00/PL-BARU/2026 tanggal 30 Januari 2026 (Nomor DIPA : SP DIPA-139.04.1.693320/2026 revisi ke 01 tanggal 24 Desember 2025) Kontrak Turunan LLDIKTI WILAYAH VI Nomor 019/LL6/AL.04.03/PL-BARU/2026. Skema Penelitian Dosen Pemula. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada Universitas Pandanaran dan PT Sejong Matrasindo sebagai mitra dalam pengambilan data.

DAFTAR PUSTAKA

- Bohland, F., Hilligardt, A. dan Schulze, V. (2024) "Analysis of subsurface damage during milling of CFRP due to spatial fibre cutting angle , tool geometry and cutting parameters," 281(April). doi: 10.1016/j.compositesb.2024.111533.
- Buckshumiyani, A. *et al.* (2023) "Materials Today : Proceedings Recycling of plastic wastage by die shredder machine," *Materials Today: Proceedings*, (xxxx). doi: 10.1016/j.matpr.2023.04.022.
- Chinchanikar, S. dan Choudhury, S. K. (2013) "Effect of work material hardness and cutting parameters on performance of coated carbide tool when turning hardened steel: An optimization approach," *MEASUREMENT*, 46(4), hal. 1572–1584. doi: 10.1016/j.measurement.2012.11.032.
- Cudzik, J. dan Kropisz, K. (2024) "Assessment of Utilizing Hard-to-Recycle Plastic Waste from the Packaging Sector in Architectural Design — Case Study for Experimental Building Material."
- Duc, P. M. dan Le, H. G. (2025) "Enhancing Hard Turning Performance : The Crucial Role of Cutting Parameters and Tool Geometry," 73(2), hal. 73–91.
- Dutka, V. A. *et al.* (2012) "Computer Aided and Experimental Study of Hardness Distribution in Cutting Tool Steel Body Due to Phase Transformations During Induction Hardening," 34(2), hal. 131–140. doi: 10.3103/S1063457612020074.
- Gunawan, G., Lubis, G. S. dan Prima, F. (2022) "Analisa Pengaruh Jumlah Mata Pisau Pada Mesin Pencacah Botol Plastik Tipe PET (Polyethylene Terephalate)," 3(2), hal. 38–43.
- Kassim, U. *et al.* (2020) "Sustainable Brick Plastic Recycle," (Icamet), hal. 1–6.
- Marvel, M. (2024) "Tugas akhir." Rancang Bangun Pembuatan Mata Pisau Mesin Pencacah Plastik Pada Injection Molding.
- Nicola, A. A., Yudo, E. dan Yunus, M. (2025) "Analisis Pengaruh Sudut Mata Potong Bahan S55C Tipe Flate Terhadap Hasil Cacahan Plastik," 03(1).
- Pandey, K. P. *et al.* (2023) "Practical ways to recycle plastic : current status and future aspects," *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 25(3), hal. 1249–1266. doi: 10.1007/s10163-023-01611-0.
- Prasaningtyas, A. *et al.* (2025) "Community participation in 3R (Reduce , Reuse and Recycle) of household plastic waste Balikpapan." doi: 10.1088/1755-1315/1438/1/012078.
- Qian, P. *et al.* (2019) "Research on Cooling Technology of Shredder Cutting Tool With Ultrasonic Vibration-Assisted Cutting," *IEEE Access*, 7, hal. 140513–140523. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2941645.
- Reddy, S. dan Raju, T. (2018) "Design and Development of mini plastic shredder machine." doi:

10.1088/1757-899X/455/1/012119.

- Saputra, S. R. *et al.* (2023) “Pengaruh besar sudut potong mata pisau tipe flate terhadap hasil cacahan plastik pada mesin pencacah The significant impact of a flat-type blade ’ s cutting angle on a plastic- chopping machine ’ s output,” 10, hal. 30–37. doi: 10.37373/tekno.v10i1.252.
- Sharma, V. R., Washimkar, P. dan Belkhode, P. N. (2025) “A Review of Shredder Machines for Sustainable Solid Waste Processing.”
- Silva, B. *et al.* (2024) “Environmental performance of different water bottles with different compositions : A cradle to gate approach,” 6(March). doi: 10.1016/j.clpl.2024.100061.
- Tournier, V. *et al.* (2020) “An engineered PET depolymerase to break down and recycle plastic bottles,” *Nature*, 580(April). doi: 10.1038/s41586-020-2149-4.
- Zou, Z., Zhang, T. dan He, L. (2025) “Multi-Objective Optimization of Tool Edge Geometry for Enhanced Cutting Performance in Turning Ti6Al4V,” hal. 1–25.