

Rekayasa Material Dan Modifikasi Desain Pisau Pencacah Limbah Plastik Di Tpsa Bagendung

Winda Sri Jaman¹, Asadian Puja Enggita², Adi Widodo³ dan Hendra Setyawan^{4,*}

¹ Teknologi Mesin Industri Petrokimia, Politeknik Industri Petrokimia Banten; email : winda.sri@poltek-petrokimia.ac.id

² Teknologi Mesin Industri Petrokimia, Politeknik Industri Petrokimia Banten; email : asadian.enggita@poltek-petrokimia.ac.id

³ Teknologi Mesin Industri Petrokimia, Politeknik Industri Petrokimia Banten; email : adi.aw982@gmail.com

⁴ Teknologi Mesin Industri Petrokimia, Politeknik Industri Petrokimia Banten; email : hendra.setyawan@poltek-petrokimia.ac.id

* Korespondensi : Hendra Setyawan

Abstract: Plastic waste is a serious environmental problem in Indonesia due to its non-biodegradable nature. One of the management efforts is carried out at TPSA Bagendung through the use of a plastic shredding machine. However, the shredder blades often experience wear and chipping, which reduces machine performance. This study aims to redesign the blade material and geometry to improve wear resistance and hardness. The initial material was medium carbon steel with an average hardness of 44.46 HRC and a composition of 0.410% C; 0.376% Cr; 1.14% Mn; and 0.223% Si. The replacement material was selected from D2 steel with higher carbon and chromium content, followed by heat treatment, resulting in an average hardness of 60.61 HRC with a composition of 1.62% C; 12.1% Cr; 0.270% Ni; 0.778% Mo; and 0.742% V. Metallographic analysis using an optical microscope at 1500× magnification after Nital etching revealed a dominant needle-shaped martensitic structure with chromium carbide precipitates uniformly distributed along grain boundaries. This microstructure strengthens the matrix, enhances wear resistance, and directly correlates with the increased hardness. In addition, the modification of the bolt slot length from 40 mm to 45 mm provided greater adjustability of the blade position, thereby extending its service life. Overall, the combination of material engineering and design modification resulted in shredder blades with improved mechanical properties, higher wear resistance, and longer durability compared to the original material.

Keywords: Engineering Materials; heat treatment ; Plastik Shredder Blade; D2 Material; Shredder Blade Modification

Diterima: Oktober 20, 2025
Direvisi: Oktober 28, 2025
Diterima: Oktober 29, 2025
Diterbitkan: November 2, 2025
Versi sekarang: November 2, 2025



Hak cipta: © 2025 oleh penulis.
Diserahkan untuk kemungkinan publikasi akses terbuka berdasarkan syarat dan ketentuan lisensi Creative Commons Attribution (CC BY SA) (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

Abstrak: Sampah plastik merupakan permasalahan lingkungan yang serius di Indonesia karena sifatnya yang sulit terurai. Salah satu upaya pengelolaan dilakukan di TPSA Bagendung melalui penggunaan mesin pencacah plastik. Namun, pisau pencacah sering mengalami keausan dan kerontokan sehingga menurunkan kinerja mesin. Penelitian ini bertujuan merekayasa material dan desain pisau pencacah agar lebih tahan aus serta memiliki kekerasan lebih tinggi. Material awal berupa baja karbon menengah dengan kekerasan rata-rata 44,46 HRC dan komposisi 0,410% C; 0,376% Cr; 1,14% Mn; dan 0,223% Si. Material pengganti dipilih dari baja D2 dengan kadar karbon dan krom lebih tinggi, kemudian dilakukan perlakuan panas sehingga diperoleh kekerasan rata-rata 60,61 HRC dengan komposisi 1,62% C; 12,1% Cr; 0,270% Ni; 0,778% Mo; dan 0,742% V. Analisis metalografi menggunakan mikroskop optik pada perbesaran 1500× setelah etsa Nital menunjukkan dominasi struktur martensit berbentuk jarum dengan presipitasi karbida krom yang terdistribusi merata di batas butir. Struktur ini memperkuat matriks, meningkatkan ketahanan aus, dan berhubungan langsung dengan peningkatan kekerasan material. Selain itu, modifikasi dimensi slot baut dari 40 mm menjadi 45 mm memberikan fleksibilitas pergeseran pisau sehingga umur pakai lebih panjang. Dengan kombinasi rekayasa material dan modifikasi desain, pisau pencacah yang dihasilkan terbukti memiliki sifat mekanik lebih baik, ketahanan aus lebih tinggi, serta umur pakai lebih lama dibandingkan material awal.

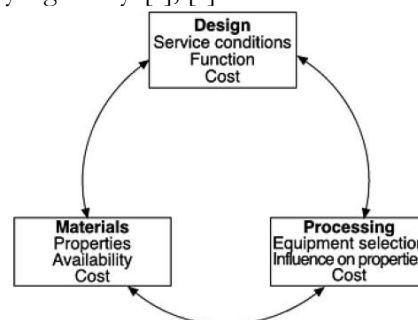
Kata kunci: : Rekayasa Material; Perlakuan Panas; Pisau Pencacah Plastik; Material D2; Modifikasi Pisau Pencacah

1. Pendahuluan

Permasalahan limbah plastik saat ini menjadi isu global sekaligus tantangan serius di Indonesia. Karakteristik plastik yang sulit terurai secara alami menyebabkan akumulasi limbah dalam jumlah besar di lingkungan, baik di darat maupun perairan[1]. Dampak negatifnya tidak hanya menurunkan kualitas lingkungan, tetapi juga membahayakan ekosistem serta kesehatan manusia. Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengurangi volume limbah plastik, salah satunya melalui pemanfaatan kembali plastik menjadi produk yang memiliki nilai tambah, seperti bahan baku untuk pembuatan eco brick[2].

Di Tempat Pengolahan Sampah Akhir (TPSA) Bagendung, upaya pemanfaatan plastik dilakukan dengan menggunakan mesin pencacah plastik yang beroperasi selama 24 jam. Mesin ini berfungsi untuk memperkecil ukuran plastik sehingga lebih mudah diolah dan diproses menjadi produk baru. Namun, dalam praktiknya terdapat kendala signifikan, yaitu kerusakan pada pisau pencacah akibat penurunan ketajaman (aus) maupun terkelupasnya material pada permukaan pisau[2], [3]. Kondisi ini menyebabkan proses produksi terganggu karena mesin harus berhenti untuk dilakukan perbaikan atau penggantian pisau. Oleh karena itu, diperlukan solusi melalui rekayasa material dan desain pisau pencacah agar lebih tahan aus, memiliki kekerasan tinggi, serta umur pakai yang lebih panjang[4], [5].

Pemilihan material yang tidak sesuai akan menyebabkan kerusakan pada produk dan akan menimbulkan biaya pemeliharaan yang over budget. Pemilihan material yang tepat akan memberikan unjuk kerja yang baik pada suatu produk sehingga mengurangi biaya pemeliharaan. Seperti pada Gambar 1, hubungan antara material desain dan proses yang akan selalu terhubung satu dengan yang lainnya[5], [6].



Gambar 1. Hubungan antara material, desain dan proses

Mesin Pencacah yang ada di TPSA Bagendung seperti Gambar 2 mempunyai kapasitas produksi 700 Kg/Jam, jumlah pisau pencacah 21 pcs dan pisau gerak 4 unit, motor penggerak adalah motor listrik dengan daya 30 HP.



Gambar 2. Mesin Pencacah Plastik di TPSA Bagendung

Sampah plastik yang akan dicacah tidak dilakukan penggolongan berdasarkan jenis polimernya. Sebelum proses pencacahan, plastik terlebih dahulu dikeringkan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Selanjutnya, plastik dicampurkan dengan katalis dan didiamkan selama beberapa hari hingga mengalami proses pelunakan, sehingga lebih mudah dicacah.

Hasil cacahan plastik kemudian disalurkan ke salah satu perusahaan BUMN untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan eco bricket yang digunakan sebagai substitusi batubara.



Gambar 3. Proses pengeringan sampah plastik

Pisau pencacah plastik pada mesin ini sering kali mengalami keusan yang menyebabkan pisau tersebut tumpul, sehingga harus dilakukan penasahan sehingga mengganggu jalannya produksi pembuatan bahan baku eco bricket[6], [7], [8]. Selain keausan terjadi juga pengelupasan material yang terjadi di permukaan pisau pencacah plastik ini. Hal ini menyebabkan proses pencacahan harus dilakukan berulang-ulang agar dihasilkan cacahan limbah plastik yang lebih kecil, seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Cacahan Limbah Plastik

Pada gambar 5 menunjukkan jenis pisau pencacah plastik adalah jenis shredder yang terdapat di TPSA Bagendung. Pisau shredder bekerja dengan cara merobek plastik dengan gaya yang dibebankan kepada ujung-ujung pisau shredder. Pada tanda panah kuning di gambar 5 menunjukkan pisau shredder mengalami keausan yang menyebabkan hilangnya ketajaman.



Gambar 5. Shredder Blade/Pisau Pencacah Plastik

Mengetahui mechanical properties dari material pisau pencacah merupakan langkah pertama untuk mengidentifikasi material awal pisau pencacah plastik. Pengujian komposisi material, pengujian kekerasan yang diperlukan untuk mengetahui jenis atau tipe material awal yang digunakan.

Rekayasa material pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik (mechanical properties) awal dan akhir dari material pisau pencacah plastik. Parameter utama yang menjadi dasar penelitian meliputi komposisi kimia material, nilai kekerasan, serta hasil observasi mikrostruktur. Data tersebut digunakan sebagai acuan untuk menentukan pendekatan material yang sesuai, sekaligus mengevaluasi peningkatan sifat mekanik setelah proses rekayasa dilakukan[9], [10].

Pengujian komposisi material dilakukan untuk mengidentifikasi unsur-unsur yang terkandung dalam pisau pencacah, sehingga dapat diketahui jenis baja paduan yang digunakan.

Hasil analisis komposisi dijadikan dasar dalam pemilihan material pengganti yang memiliki kandungan karbon dan unsur paduan lebih tinggi. Selanjutnya, pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode Rockwell untuk mengetahui ketahanan material terhadap deformasi plastis, khususnya dalam menahan beban gesek dan tumbukan selama proses pencacahan plastik [10], [11].

Rekayasa material merupakan pendekatan yang bertujuan untuk mendapatkan sifat mekanik (mechanical properties) sesuai kebutuhan operasi mesin pencacah plastik. Pada penelitian ini, material pisau pencacah didesain ulang dengan mempertimbangkan komposisi kimia, perlakuan panas (heat treatment), serta modifikasi dimensi. Salah satu inovasi yang dilakukan adalah menambahkan keluasan pada lubang baut pisau pencacah, sehingga memungkinkan pergeseran posisi ketika terjadi keausan. Modifikasi ini bertujuan memaksimalkan umur pakai tanpa harus segera melakukan penggantian pisau baru. Dengan demikian, kelemahan pada desain sebelumnya dapat diminimalkan, dan keunggulan produk yang baru dapat ditingkatkan [11], [12].

Selain itu, pemilihan material yang tepat menjadi faktor krusial untuk memastikan performa mesin pencacah tetap optimal. Baja dengan kadar karbon dan krom yang tinggi, ditambah dengan unsur paduan seperti nikel, molibdenum, dan vanadium, berpotensi menghasilkan kekerasan serta ketahanan aus yang lebih baik setelah melalui proses perlakuan panas. Analisis sifat mikrostruktur juga penting untuk mengetahui hubungan antara komposisi, perlakuan panas, dan sifat mekanik yang dihasilkan.

Dengan rekayasa material dan modifikasi desain ini, diharapkan umur pakai pisau pencacah dapat meningkat secara signifikan. Peningkatan umur pakai berdampak langsung pada efisiensi produksi, pengurangan biaya pemeliharaan, serta kapasitas daur ulang plastik yang lebih besar. Secara tidak langsung, hal ini juga memberikan kontribusi terhadap pengurangan limbah plastik yang mencemari lingkungan dan mendukung tercapainya tujuan pembangunan berkelanjutan di sektor pengelolaan sampah.

2. Tinjauan Literatur

2.1. Rekayasa Material pada Pisau Pencacah Plastik

Pemilihan material yang tepat pada pisau pencacah plastik sangat penting karena berhubungan langsung dengan umur pakai dan efisiensi mesin. Penelitian Kumar et al [14]. menunjukkan bahwa baja perkakas D2 memiliki ketahanan aus yang tinggi dibanding baja karbon sedang karena kandungan karbon ($\pm 1,6\%$) dan krom ($\pm 12\%$) yang memperkuat struktur martensit. Hal ini sejalan dengan temuan Al-Qawabah et al. [15] yang membuktikan peningkatan kekerasan hingga >60 HRC setelah perlakuan panas.

Selain itu, Patel dan Patel [16] membandingkan beberapa baja perkakas (D2, H13, SKD11) untuk aplikasi pisau shredder, dan hasilnya D2 lebih unggul dalam hal kekerasan serta ketahanan gesek. Namun, kelemahan D2 adalah sifat getasnya, sehingga perlakuan panas lanjutan seperti tempering sangat diperlukan untuk meningkatkan ketangguhan.

2.2 Pengaruh Perlakuan Panas terhadap Baja D2

Perlakuan panas (heat treatment) pada baja D2 bertujuan membentuk mikrostruktur martensit dengan presipitasi karbida yang merata. Xu dan Chen [17] melaporkan bahwa variasi suhu austenisasi memengaruhi distribusi karbida krom, yang berhubungan langsung dengan kekerasan dan ketahanan aus. Lebih lanjut, Gill et al. [18] meninjau perlakuan kriogenik pada baja perkakas, dan hasilnya mampu meningkatkan ketahanan aus hingga 30% dibanding perlakuan panas konvensional.

Penelitian Meddas et al. [19] juga menegaskan bahwa siklus perlakuan panas berulang dapat memperbaiki ketahanan deformasi plastis pada pisau pemotong kayu, yang prinsipnya dapat diaplikasikan pada pisau shredder plastik.

2.3 Modifikasi Desain Pisau Shredder

Selain material, modifikasi desain pisau shredder turut berperan penting. Sedani dan Shinde [20] melalui analisis elemen hingga (FEA) menunjukkan bahwa perubahan geometri pisau dapat mengurangi konsentrasi tegangan sehingga pisau lebih tahan lama. Studi lain oleh Nurprasetyo I. P [21] melakukan optimasi topologi pada shredder blade dan berhasil menurunkan kebutuhan gaya pemotongan hingga 15%.

Ajayi et al. [22] mengembangkan mesin pencacah busa dengan memodifikasi bentuk pisau, sehingga mampu meningkatkan kapasitas produksi. Di Indonesia, Saputra et al. [10] menekankan bahwa modifikasi slot baut pada pisau shredder dapat memperpanjang umur pakai karena memberikan fleksibilitas dalam penyesuaian posisi pisau.

2.4 Kesenjangan Penelitian

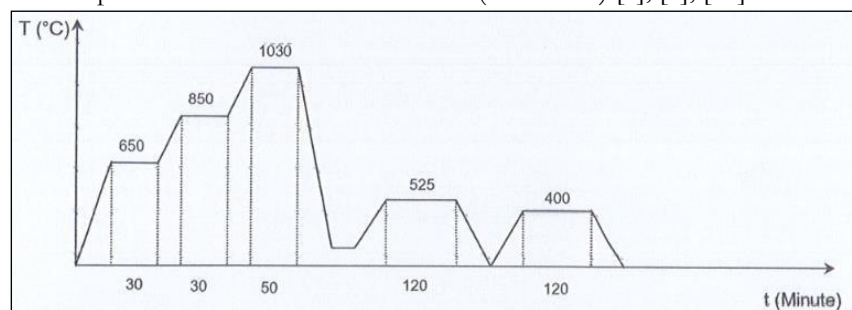
Berdasarkan literatur, dapat disimpulkan bahwa material D2 terbukti unggul dalam ketahanan aus, tetapi masih memiliki keterbatasan pada sifat getas jika tidak dikombinasikan dengan perlakuan panas tepat, Perlakuan panas lanjutan seperti tempering, siklus panas berulang, maupun perlakuan kriogenik masih jarang diterapkan pada pisau shredder plastik di Indonesia, Modifikasi desain pisau sebagian besar masih berfokus pada bentuk mata pisau, sedangkan perubahan sederhana seperti variasi slot baut belum banyak dieksplorasi secara akademis.

Penelitian ini hadir untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan mengombinasikan rekayasa material (pemilihan baja D2 + perlakuan panas) dan modifikasi desain slot baut untuk meningkatkan kinerja pisau shredder plastik di TPSA Bagendung

3. Metode

Proses rekayasa desain dilakukan melalui pendekatan reverse engineering untuk mempercepat tahapan perancangan produk. Dengan metode ini, desain pisau tidak perlu dibuat dari awal, melainkan didasarkan pada pengukuran dimensi dari pisau pencacah yang sudah ada. Tahapan reverse engineering dilakukan melalui beberapa langkah sistematis, yaitu: (1) melakukan pengukuran dimensi pisau pencacah plastik sebagai tahap awal (copy and paste design), (2) menyusun gambar teknis dua dimensi sebagai acuan dalam proses perancangan, (3) merencanakan modifikasi berdasarkan hasil perhitungan rekayasa sehingga desain yang dihasilkan sesuai dengan tuntutan fungsional serta mampu meningkatkan kinerja pisau pencacah, dan (4) melakukan pengujian serta validasi terhadap hasil modifikasi untuk memastikan kesesuaian desain dengan kebutuhan operasional.

Tahapan berikutnya adalah perlakuan panas (heat treatment) pada material rekayasa. Proses ini dilakukan untuk memperoleh struktur mikro yang lebih halus, meningkatkan kekerasan, serta memperbaiki ketahanan aus pisau pencacah. Perlakuan panas diawali dengan tahap preheating pada temperatur 650 °C selama 30 menit, kemudian dilanjutkan preheating kedua pada temperatur 850 °C selama 30 menit. Selanjutnya, material mengalami proses austenitisasi pada temperatur 1030 °C selama 50 menit dan segera dilakukan pendinginan cepat (quenching). Untuk menghilangkan tegangan sisa akibat pendinginan cepat, dilakukan proses tempering dua tahap, yaitu tempering I pada temperatur 525 °C selama 120 menit dan tempering II pada temperatur 400 °C selama 120 menit (Gambar 6) [4], [7], [13].



Gambar 6. Proses Heat Treatment

Modifikasi desain yang diusulkan difokuskan pada pengubahan dimensi lubang baut pisau pencacah agar lebih fleksibel ketika terjadi keausan. Dengan rancangan ini, umur pakai pisau diharapkan lebih panjang, biaya perawatan dapat ditekan, serta efisiensi operasional mesin pencacah plastik dapat meningkat.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Rekayasa Material

Berdasarkan hasil uji pada tabel 1 hasil pengujian material awal sebelum modifikasi, Tabel 2 menunjukkan material sesudah modifikasi.

Tabel 1. Hasil Pengujian Material Awal

Komposisi Kimia					
Unsur	Persen (%)	Unsur	Persen (%)	Unsur	Persen (%)
Fe	97,7	Ni	0,0322	Pb	<0,0150
C	0,410	Al	0,0205	Sn	0,0027
Si	0,223	Co	<0,0020	B	0,0010
Mn	1,14	Cu	0,0331	Ca	0,0010
P	0,0065	Nb	<0,0020	Zr	<0,0020
S	<0,0020	Ti	0,0130	As	0,0071
Cr	0,376	V	0,0016	Bi	<0,0250
Mo	0,0084	W	<0,0400		

Material sebelum dimodifikasi diketahui dengan kandungan unsur karbon 0,410 % dikategorikan sebagai material baja karbon menengah dengan unsur pepadu selain karbon adalah kurang dari 8% menunjukkan kekerasan untuk baja karbon menengah. [1],[4],[6].

Tabel 2. Hasil Pengujian Material Awal

Komposisi Kimia			
Unsur	Persen (%)	Unsur	Persen (%)
Fe	83,4	Ni	0,270
C	1,62	Al	0,0382
Si	0,457	Co	0,0142
Mn	0,426	Cu	0,0770
P	-	Nb	0,0225
S	-	Ti	<0,0040
Cr	12,1	V	0,742
Mo	0,778	W	<0,0500

Berdasarkan pendekatan pemilihan material menurut J.R. Dixon & C. Poli, terdapat empat tahapan yang perlu dilakukan, yaitu: menentukan jenis material berdasarkan sifat kritis yang diinginkan, menetapkan tahapan proses pembuatannya, mempersempit kategori atau tipe material yang relevan, kemudian memilih material tertentu sesuai dengan spesifikasi teknis yang dibutuhkan [3]. Pada aplikasi pisau pencacah plastik, sifat kritis yang dibutuhkan adalah ketahanan terhadap keausan, kekerasan tinggi, serta ketahanan pada temperatur kerja. High Speed Steel (HSS) secara umum digunakan pada pisau potong, pahat bubut, dan perkakas milling karena memiliki keunggulan tahan terhadap keausan dan temperatur, serta kekerasan tinggi yang dapat menjaga ketajaman pisau. Oleh karena itu, sifat-sifat tersebut menjadi acuan dalam pemilihan material baru untuk pisau pencacah di TPSA Bagendung.

Hasil uji komposisi kimia pada material awal (Tabel 1) menunjukkan dominasi unsur Fe sebesar 97,7% dengan kandungan C hanya 0,41% serta unsur paduan lain dalam jumlah kecil,

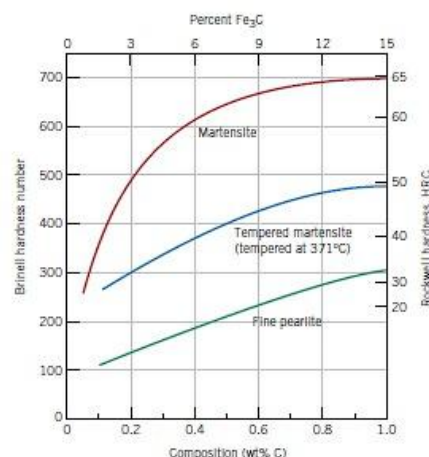
seperti Mn 1,14% dan Cr 0,376%. Komposisi ini mengindikasikan bahwa material awal termasuk kategori baja karbon menengah, yang umumnya memiliki kekerasan dan ketahanan aus terbatas. Kondisi ini menjelaskan mengapa pisau cepat tumpul dan memiliki umur pakai yang relatif singkat [3], [4], [6]. Sebaliknya, hasil uji pada material sesudah modifikasi (Tabel 2) memperlihatkan perubahan signifikan, di mana kandungan C meningkat menjadi 1,62%, Cr mencapai 12,1%, serta terdapat tambahan unsur paduan penting seperti Mo 0,778% dan V 0,742%. Komposisi ini mendekati karakteristik baja perkakas D2 sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 3, yaitu baja kromium tinggi dengan karbon tinggi, yang dikenal memiliki ketahanan aus, kekerasan, serta ketahanan temperatur lebih baik dibanding baja karbon biasa.

Dengan perbedaan komposisi tersebut, dapat disimpulkan bahwa material baru hasil modifikasi memiliki performa yang jauh lebih sesuai dengan kebutuhan pisau pencacah. Kandungan karbon yang lebih tinggi berperan dalam meningkatkan kekerasan dasar material, sementara unsur Cr, Mo, dan V berfungsi sebagai pembentuk karbida keras yang mampu meningkatkan ketahanan aus dan stabilitas pada temperatur tinggi. Hal ini menjadikan pisau lebih awet, tidak cepat tumpul, dan lebih efisien dalam proses pencacahan. Oleh karena itu, material D2 atau padanannya (XW-42) dipilih sebagai pengganti material lama karena selain memiliki sifat mekanik yang unggul, juga tersedia di pasaran sehingga lebih mudah diproduksi secara massal [11].

AISI Number	UNS Number	Composition (wt%) ^a						Typical Applications
		C	Cr	Ni	Mo	W	V	
M1	T11301	0.85	3.75	0.30 max	8.70	1.75	1.20	Drills, saws; lathe and planer tools
A2	T30102	1.00	5.15	0.30 max	1.15	—	0.35	Punches, embossing dies
D2	T30402	1.50	12	0.30 max	0.95	—	1.10 max	Cutlery, drawing dies
O1	T31501	0.95	0.50	0.30 max	—	0.50	0.30 max	Shear blades, cutting tools
S1	T41901	0.50	1.40	0.30 max	0.50 max	2.25	0.25	Pipe cutters, concrete drills
W1	T72301	1.10	0.15 max	0.20 max	0.10 max	0.15 max	0.10 max	Blacksmith tools, wood-working tools

Gambar 7 Komposisi kimia dan aplikasi dari Six Tool Steel [23], [24]

Hasil pengujian material rekayasa adalah kandungan unsur karbon 1,62 % dikategorikan sebagai material baja karbon tinggi dengan unsur pemadu selain karbon adalah lebih dari 8%. Nilai kekerasan rata-rata adalah 60,61 HRC menunjukkan kekerasan yang dihasilkan lebih tinggi dari material awal. Pengaruh unsur karbon sebagai element utama yang akan memberikan pengaruh dan sifat kekerasan material, semakin tinggi kadar karbon maka kekerasan semakin tinggi, seperti pada Gambar 8 dibawah ini. Ketahanan terhadap keausan akan meningkat dengan tingginya kekerasan pada material. Tinggi kadar karbon akan berpengaruh terhadap efektivitas atom karbon interstisial dalam menghambat gerakan dislokasi, sehingga dihasilkan material yang mempunyai kekerasan tinggi [23], [24].



Gambar 8 Pengaruh komposisi karbon terhadap kekerasan

Kandungan krom akan mempengaruhi sifat ketahanan terhadap korosi, kekuatan tarik, kekerasan, ketangguhan, keausan/abrasi, serta mempunyai ketahanan terhadap scalling pada temperatur tinggi. Penambahan nikel akan membuat material bertambah kekuatan dan kekerasannya tanpa menurunkan sifat keuletan dan ketangguhan material. Unsur Molibdenum

dapat meningkatkan kekuatan, kekerasan, ketahanan terhadap creep (mulur) pada temperature tinggi dan ketahanan terhadap red hardness [23], [24].

4.2. Hasil Uji Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan menunjukkan adanya peningkatan signifikan setelah dilakukan modifikasi material pisau pencacah sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 4. Pada material awal (baja karbon menengah), nilai kekerasan rata-rata hanya sebesar 44,46 HRC, dengan sebaran nilai yang relatif bervariasi antara 40,42 HRC hingga 48,76 HRC. Hal ini mengindikasikan bahwa material awal memiliki ketahanan aus yang terbatas dan rentan mengalami penurunan ketajaman lebih cepat selama proses pencacahan [25].

Tabel 4. Hasil Pengujian Material Sebelum dan Sesudah Modifikasi

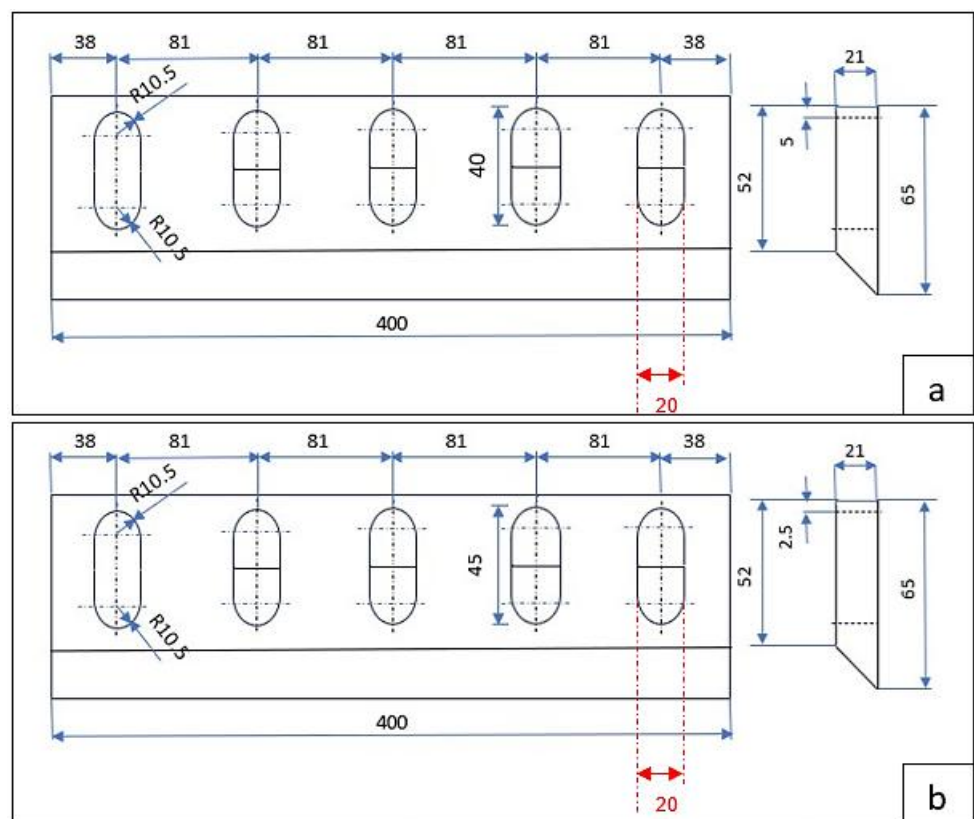
Hasil Uji Kekerasan		
Letak Pengujian	Sebelum	Sesudah
Titik Uji	Nilai (HRC)	Nilai (HRC)
Titik 1	40,60	60,29
Titik 2	47,47	60,95
Titik 3	48,76	60,47
Titik 4	40,42	60,48
Titik 5	41,05	60,86
Rata-Rata	44,46	60,61

Sebaliknya, setelah material diganti dengan baja D2 tool steel (XW-42), nilai kekerasan rata-rata meningkat secara signifikan menjadi 60,61 HRC, dengan konsistensi nilai uji pada setiap titik berkisar antara 60,29 HRC hingga 60,95 HRC. Kenaikan kekerasan ini mencerminkan peningkatan kemampuan pisau dalam menahan deformasi plastis dan keausan, yang sejalan dengan kebutuhan aplikasi pencacahan plastik. Kombinasi kadar karbon tinggi dengan unsur paduan kromium, molibdenum, dan vanadium dalam baja D2 menghasilkan struktur martensit yang stabil dengan karbida keras, sehingga mampu mempertahankan ketajaman pisau lebih lama. Dengan demikian, modifikasi material terbukti tidak hanya meningkatkan kekerasan, tetapi juga berimplikasi langsung terhadap umur pakai pisau dan efisiensi operasional mesin pencacah.

4.3. Hasil Modifikasi Geometri Pisau Pencacah

Pengambilan ukuran komponen dilakukan secara langsung di lapangan agar informasi yang diperoleh sesuai dengan kondisi aktual. Modifikasi desain pisau duduk pada mesin pencacah plastik ditunjukkan pada Gambar 9, di mana garis biru menunjukkan ukuran asli dan garis merah merupakan hasil perubahan dimensi [10], [11], [13].

Perubahan desain dapat dilihat pada Gambar 8. Perubahan utama dilakukan pada panjang lubang baut yang semula 40 mm menjadi 45 mm, serta diameter lubang baut yang semula mengikuti ukuran nominal M19 diperbesar menjadi 20 mm. Baut pengikat yang digunakan adalah tipe M19 sehingga toleransi diperbesar $\pm 0,5$ mm untuk mempermudah proses perakitan dan penyesuaian posisi di lapangan [11], [26], [27].



Gambar 9 Pisau duduk untuk mesin pencacah plastik (a) Desain sebelum (b) Desain sesudah modifikasi

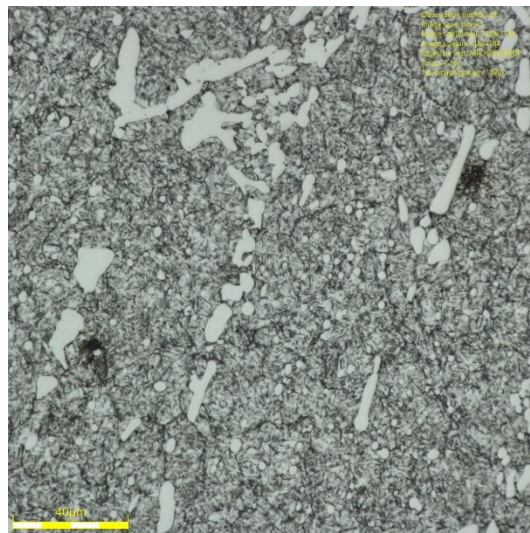
Tujuan modifikasi ini adalah untuk meningkatkan umur pakai pisau serta memperluas rentang pergeseran pisau apabila mengalami keausan atau kerusakan pada sisi potong. Dengan slot yang lebih panjang, pisau dapat digeser lebih fleksibel untuk memperoleh bidang potong baru tanpa perlu segera dilakukan penggantian. Selain itu, penambahan toleransi lubang memberikan kemudahan dalam proses pemasangan, terutama saat terjadi variasi dimensi akibat proses fabrikasi maupun kondisi lapangan [28], [29], [30]

Secara fungsional, modifikasi ini diharapkan dapat mengurangi downtime mesin karena pisau tidak perlu sering diganti, sekaligus meningkatkan efisiensi pemeliharaan. Perubahan desain tetap memperhatikan aspek kekuatan pengikat, di mana baut M19 masih mampu menahan gaya geser yang timbul selama proses pencacahan, asalkan pengencangan dilakukan sesuai torsi rekomendasi dan dilengkapi dengan washer penguat untuk meminimalkan keausan pada tepi slot.

Hasil pengujian lapangan menunjukkan bahwa pisau dengan desain modifikasi bekerja lebih baik dibandingkan desain awal. Slot yang lebih panjang memungkinkan pisau digeser lebih jauh ketika mengalami keausan sehingga umur pakai meningkat karena keausan tersebar lebih merata sepanjang mata pisau. Penambahan toleransi pada lubang baut juga memudahkan proses pemasangan, mengurangi risiko kerusakan akibat pemasangan paksa, serta menurunkan waktu downtime. Selain itu, fleksibilitas posisi pisau menjaga kestabilan jarak antar pisau sehingga kualitas cacahan tetap seragam. Dengan penggunaan washer penguat, potensi aus pada tepi slot dapat ditekan, sehingga kinerja pencacahan menjadi lebih stabil dan umur pisau bertambah panjang [5], [6].

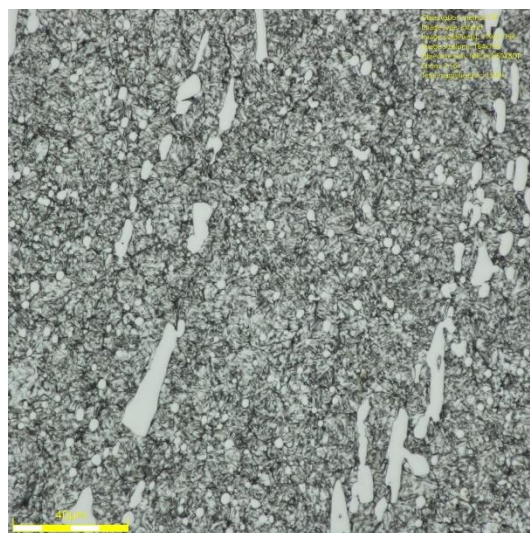
4.4 Hasil Pengujian Metalografi

Hasil pengamatan struktur mikro pada material pisau sebelum modifikasi menunjukkan dominasi matriks ferit-perlit dengan distribusi fasa karbida yang relatif tidak merata. Pada Gambar 10 terlihat adanya endapan karbida berwarna putih cerah yang berbentuk memanjang maupun tidak beraturan, tersebar di dalam matriks yang didominasi perlit. Struktur ini merupakan ciri khas baja karbon menengah dengan kadar karbon sekitar 0,4% [31].



Gambar 10 Metalografi Struktur Mikro Material Sebelum modifikasi

Kehadiran perlit yang cukup rapat memberikan tingkat kekerasan sedang, namun distribusi karbida yang tidak homogen berpotensi menimbulkan konsentrasi tegangan lokal sehingga material relatif kurang tahan terhadap keausan. Hal ini selaras dengan hasil uji kekerasan awal (rata-rata 44,46 HRC), yang menunjukkan bahwa material masih berada pada kategori menengah dan cenderung mengalami penurunan ketajaman lebih cepat saat digunakan sebagai pisau pencacah. Dengan demikian, kondisi struktur mikro material awal ini menjadi salah satu alasan utama perlunya dilakukan modifikasi material agar ketahanan aus dan kekerasannya meningkat [9], [12].



Gambar 11 Metalografi Struktur Mikro Material Sesudah modifikasi

Struktur mikro material pisau setelah melalui proses modifikasi dan heat treatment ditunjukkan pada Gambar 11. Struktur mikro tersebut menunjukkan adanya perubahan signifikan dibandingkan material awal. Matriks didominasi oleh fasa martensit halus dengan presipitasi karbida yang lebih merata, serta butir yang lebih rapat dan seragam. Endapan karbida kromium dan vanadium (tampak berwarna putih cerah) lebih terdistribusi homogen di dalam matriks sehingga mampu meningkatkan ketahanan aus dan kekerasan material. Kondisi ini sesuai dengan hasil uji kekerasan rata-rata sebesar 60,61 HRC, jauh lebih tinggi dibandingkan material awal.

Jika dibandingkan dengan struktur mikro sebelum modifikasi, distribusi karbida yang lebih homogen serta dominasi martensit pada material hasil modifikasi menjadikan pisau lebih tahan terhadap deformasi plastis, keausan, dan perubahan temperatur saat proses pencacahan. Dengan demikian, umur pakai pisau meningkat secara signifikan dan kinerjanya lebih stabil dalam jangka panjang. Hal ini memperkuat alasan pemilihan material baru (D2/HSS setara)

yang kaya akan unsur paduan Cr, Mo, dan V, yang memang berfungsi membentuk karbida keras dan tahan terhadap temperatur tinggi [10], [12], [28].

5. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil melakukan modifikasi desain dan material pada pisau pencacah plastik untuk meningkatkan performa dan umur pakai. Dari sisi desain, perubahan dimensi slot baut dari panjang awal 40 mm menjadi 45 mm memberikan fleksibilitas pergeseran pisau ketika mengalami keausan, sehingga umur pakai dapat diperpanjang. Modifikasi ini tetap memperhatikan aspek kekuatan pengikat, di mana baut M19 dengan bantuan washer penguat mampu menahan gaya geser yang bekerja selama proses pencacahan, serta mengurangi potensi kerusakan akibat pemasangan paksa. Hasil uji lapangan menunjukkan pisau dengan desain baru bekerja lebih stabil, downtime mesin berkurang, dan hasil cacahan tetap seragam.

Dari sisi material, analisis komposisi kimia menunjukkan bahwa material lama berupa baja karbon menengah ($C \pm 0,41\%$) diganti dengan baja D2 yang memiliki kandungan karbon lebih tinggi ($\pm 1,62\%$) serta unsur paduan Cr, Mo, dan V yang dominan. Perubahan komposisi ini meningkatkan sifat ketahanan aus, kekerasan, dan stabilitas pada temperatur tinggi. Hasil uji kekerasan mendukung temuan ini, di mana rata-rata kekerasan meningkat signifikan dari 44,46 HRC menjadi 60,61 HRC. Pengujian metalografi juga memperlihatkan bahwa struktur mikro awal berupa matriks ferit-perlit dengan distribusi karbida tidak merata telah berubah menjadi matriks martensit halus dengan presipitasi karbida yang lebih homogen. Kondisi ini menjadikan pisau lebih tahan deformasi plastis, lebih awet, dan mampu mempertahankan ketajaman dalam siklus kerja yang lebih panjang.

Secara keseluruhan, kombinasi antara modifikasi desain slot baut dan penggantian material pisau menghasilkan peningkatan kinerja yang signifikan. Pisau hasil modifikasi terbukti lebih tahan aus, memiliki kekerasan lebih tinggi, dan umur pakai lebih panjang, sehingga dapat meningkatkan efisiensi operasional mesin pencacah plastik serta mengurangi frekuensi perawatan.

Kontribusi Penulis: Penulis 1 berperan utama dalam merancang ide penelitian, menyusun metodologi, serta mengarahkan desain penelitian secara keseluruhan. Selain itu, Penulis 1 juga terlibat dalam supervisi jalannya penelitian dan penyusunan kerangka penulisan artikel ilmiah. Penulis 2, Penulis 3, dan Penulis 4 berperan sebagai pelaksana penelitian, yang mencakup pengumpulan data eksperimen, pelaksanaan pengujian material, pengolahan hasil pengukuran, serta penyusunan bagian hasil dan pembahasan. Seluruh penulis secara bersama-sama berkontribusi dalam analisis data, interpretasi hasil penelitian, penyusunan naskah, serta proses revisi dan penyuntingan akhir. Dengan demikian, tanggung jawab dalam penelitian ini dibagi secara proporsional sesuai dengan kompetensi masing-masing penulis.

Pendanaan: Penelitian ini sepenuhnya didukung oleh pendanaan internal dari Politeknik Industri Petrokimia Banten (PIPB) melalui skema penelitian kampus. Dukungan dana ini digunakan untuk menunjang kebutuhan penelitian, termasuk penyediaan material uji, penggunaan peralatan laboratorium, serta biaya operasional lain yang relevan dengan pelaksanaan kegiatan penelitian.

Pernyataan Ketersediaan Data: Seluruh data yang mendukung hasil penelitian ini tersedia melalui penulis koresponden dan dapat diberikan atas permintaan yang wajar. Data tersebut mencakup hasil uji komposisi kimia, data pengujian kekerasan, citra mikrostruktur hasil metalografi, serta data pendukung lain yang relevan. Pembaca atau peneliti lain yang berminat untuk mereplikasi atau mengembangkan penelitian ini dipersilakan menghubungi penulis koresponden melalui alamat email yang tercantum.

Ucapan Terima Kasih: Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Politeknik Industri Petrokimia Banten, khususnya Program Studi Teknologi Mesin Industri Petrokimia, atas dukungan penuh dalam bentuk fasilitas, pendanaan internal, serta kesempatan untuk melaksanakan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada pihak Tempat Pengolahan Sampah Akhir (TPSA) Bagendung yang telah memberikan izin dan akses untuk mendukung penelitian lapangan. Selain itu, penulis mengapresiasi

kontribusi rekan-rekan sejawat, teknisi laboratorium, serta konsultan akademik yang turut membantu dalam proses pengambilan data, analisis laboratorium, dan diskusi ilmiah yang memperkaya hasil penelitian ini. Dukungan moral maupun teknis dari berbagai pihak tersebut telah menjadi faktor penting dalam penyelesaian penelitian ini

Konflik Kepentingan: Para penulis menyatakan dengan tegas bahwa tidak terdapat konflik kepentingan dalam penelitian ini, baik yang berkaitan dengan aspek pendanaan, kepemilikan, maupun hubungan personal dan profesional. Seluruh proses penelitian, analisis data, dan penulisan artikel dilakukan secara independen, objektif, dan transparan.

Referensi

- [1] N. P. Decy Arwini, "Sampah Plastik Dan Upaya Pengurangan Timbulan Sampah Plastik," *Jurnal Ilmiah Vastuwidya*, vol. 5, no. 1, 2022, doi: 10.47532/jiv.v5i1.412.
- [2] M. I. Utami and D. E. A. Fitria Ningrum, "Proses Pengolahan Sampah Plastik di UD Nialdho Plastik Kota Madiun," *Indonesian Journal of Conservation*, vol. 9, no. 2, 2020, doi: 10.15294/ijc.v9i2.27347.
- [3] P. Purwaningrum, "UPAYA MENGURANGI TIMBULAN SAMPAH PLASTIK DI LINGKUNGAN," *INDONESIAN JOURNAL OF URBAN AND ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY*, vol. 8, no. 2, 2016, doi: 10.25105/urbanenvirotech.v8i2.1421.
- [4] C. A. Rahmayani and A. Aminah, "Efektivitas Pengendalian Sampah Plastik Untuk Mendukung Kelestarian Lingkungan Hidup Di Kota Semarang," *Jurnal Pembangunan Hukum Indonesia*, vol. 3, no. 1, 2021, doi: 10.14710/jphi.v3i1.18-33.
- [5] A. Sucipto et al., "PERANCANGAN PISAU PENCACAH MESIN PENCACAH PLASTIK POLYETHYLENE TEREPHTHALATE PET," *SINERGI POLMED: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 3, no. 1, 2022, doi: 10.51510/sinergipolmed.v3i1.706.
- [6] D. Sopyan and D. Suryadi, "PERANCANGAN MESIN PENCACAH PLASTIK KAPASITAS 25 KG," *Jurnal Media Teknologi*, vol. 6, no. 2, 2022, doi: 10.25157/jmt.v6i2.2796.
- [7] R. I. Yaqin, B. H. Priyambodo, A. B. Prasetyo, and M. L. Umar, "PENERAPAN METODE ELEMEN HINGGA DALAM PEMILIHAN BAHAN PADA DESAIN PISAU MESIN PENCACAH PLASTIK," *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, vol. 6, no. 2, 2021, doi: 10.20527/sjmekinematika.v6i2.190.
- [8] M. K. Usman and M. T. Qurohman, "PROSES PEMBUATAN MATA PISAU SHREDDER BERBAHAN STAINLESS STEEL 304 PADA MESIN PENCACAH SAMPAH (CRUSHER PLASTIK)," *Nozzle : Journal Mechanical Engineering*, vol. 10, no. 1, 2021, doi: 10.30591/nozzle.v10i1.2418.
- [9] S. A. Khan et al., "An in-depth analysis of tool wear mechanisms and surface integrity during high-speed hard turning of AISI D2 steel via novel inserts," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 122, no. 9–10, 2022, doi: 10.1007/s00170-022-10151-0.
- [10] S. M. Pinto, S. Campos, L. Oliveira, J. Atilano, L. Barros, and e. C. Pereira, "Environmental and economic assessment of food additive production from mushroom bio-residues," *Cleaner Environmental Systems*, vol. 6, 2022, doi: 10.1016/j.cesys.2022.100083.
- [11] D. Santoso, A. Waris, A. Apriliansyah, S. Sirait, and A. Murtalaksono, "DESAIN DAN UJI KINERJA MATA PISAU MODIFIKASI PADA MESIN PENCACAH LIMBAH PERTANIAN," *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*, vol. 25, no. 2, 2021, doi: 10.25077/jtpa.25.2.205-214.2021.
- [12] A. Hosseini, H. M. Hussein, and H. A. Kishawy, "On the machinability of die/mold D2 steel material," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 85, no. 1–4, 2016, doi: 10.1007/s00170-015-7971-8.
- [13] S. Ibrahim, M. Hersaputri, and V. I. Panjaitan, "Pembuatan Mata Pisau Mesin Pencacah Sampah Plastik dengan Material AISI D2 yang Dikeraskan," *JURNAL VOKASI TEKNOLOGI INDUSTRI (JVTI)*, vol. 3, no. 1, 2021, doi: 10.36870/jvti.v3i1.216.
- [14] S. Kumar, H. Singh, R. Kumar, and J. Singh Chohan, "Parametric optimization and wear analysis of AISI D2 steel components," *Mater Today Proc*, 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.01.247.
- [15] J. S. Park et al., "Effect of heat treatment on the characteristics of tool steel deposited by the directed energy deposition process," *Metals and Materials International*, vol. 22, no. 1, 2016, doi: 10.1007/s12540-016-5372-7.
- [16] L. Bourithis, G. D. Papadimitriou, and J. Sideris, "Comparison of wear properties of tool steels AISI D2 and O1 with the same hardness," *Tribol Int*, vol. 39, no. 6, 2006, doi: 10.1016/j.triboint.2005.03.005.
- [17] L. Maines, G. Straffelini, M. Pellizzari, and A. Molinari, "Influenza della temperatura di austenitizzazione sulla resistenza all'impatto di acciai per lavorazioni a freddo," *Metallurgia Italiana*, vol. 96, no. 6, 2004.
- [18] S. S. Gill, H. Singh, R. Singh, and J. Singh, "Cryoprocessing of cutting tool materials - A review," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 48, no. 1–4, 2010, doi: 10.1007/s00170-009-2263-9.
- [19] H. S. Meddas, M. Zorgani, M. Heidari, M. Javidani, T. Levasseur, and M. Jahazi, "Enhanced Durability of Wood Cutting Tools through Thermal Cycling," *Materials*, vol. 17, no. 20, Oct. 2024, doi: 10.3390/ma17205051.
- [20] C. M. Sedani, M. Sudarshan, and B. Shinde, "FEA AND DESIGN MODIFICATION OF SHREDDER BLADE USED FOR RECYCLING PLASTIC," 2022. [Online]. Available: www.ijariie.com3104
- [21] I. P. Nurprasetyo, B. A. Budiman, and F. Triawan, "Failure investigation of plastic shredding machine's flange coupling based on mechanical analysis," *Indonesian Journal of Science and Technology*, vol. 2, no. 2, 2017, doi: 10.17509/ijost.v2i2.7988.
- [22] A. B. Ajayi, H. A. Mustapha, A. F. Popoola, T. E. Folarin, and S. O. Afolabi, "Development of a Laboratory-Scale Steam Boiler for Polyurethane (Foam) Waste Recycling Machine," *Journal of Advanced Engineering and Computation*, vol. 7, no. 2, p. 133, Jun. 2023, doi: 10.55579/jaacc.202372.409.
- [23] G. Aggen et al., "ASM Handbook, Volume 1, Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys Section: Publication Information and Contributors Publication Information and Contributors Authors and Reviewers," 2005.

-
- [24] A. Adriyan, S. Sufiyanto, and M. Marfizar, "Investigasi tegangan kerja pada pisau pencacah di mesin shredder-extruder dalam satu penggerak utama menggunakan Metode Elemen Hingga," *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, vol. 12, no. 1, Jun. 2023, doi: 10.24127/trb.v12i1.2269.
- [25] H. Novianto, "Vibration analysis for failure detection in clean water distribution pumps: A case study in an oil and gas training center," *Disseminating Information on the Research of Mechanical Engineering-Jurnal Polimesin*, vol. 23, no. 1, pp. 2025–2027, 2025, [Online]. Available: <http://e-jurnal.pnl.ac.id/polimesin>
- [26] N. Nugraha, R. A. R. Marwan, and W. A. Saputra, "Pembuatan Pisau Dan Pengujian Mesin Pencacah Limbah Akrilik Tipe Crusher 9 Pisau," *Fti*, vol. X, no. X, 2022.
- [27] N. D. Anggraeni, A. E. Latief, A. Rhamdani, and R. R. Sandi, "Modifikasi Mesin Pencacah Plastik PET Tipe Gunting dengan Kapasitas 50 kg/jam," *Jurnal Rekayasa Energi dan Mekanika*, vol. 1, no. 2, 2021, doi: 10.26760/jrem.v1i2.72.
- [28] N. Desi, A. Dan, and A. E. Latief, "Modifikasi Mata Pisau Mesin Pencacah Plastik Tipe Polyethylene," *Seminar Nasional-XVI Kampus ITENAS*, 2017.
- [29] Amri Hidayat and R. Aldi Tri Pramudia, "Pembuatan Dan Pengujian Posisi Dudukan Pisau Mesin Chopper Pencacah Batang Jagung," *Jurnal Gear : Energi, Perancangan, Manufaktur & Material*, vol. 1, no. 1, 2023, doi: 10.36761/gear.v1i1.1979.
- [30] E. G. De Araujo and W. Wijaya, "Pengujian dan Modifikasi Mesin Pencacah Sampah Organik Rumah Tangga," *Rekayasa Industri dan Mesin (ReTims)*, vol. 3, no. 2, 2022, doi: 10.32897/retims.2022.3.2.1820.
- [31] J. Johnsson, T. Tufvesson, and J. Costa, "Characterization of D2 Tool Steel fabricated thru Fused Filament Fabrication Process," *U.Porto Journal of Engineering*, vol. 9, no. 3, 2023, doi: 10.24840/2183-6493_009-003_001844.