



Produksi Daun Gergaji Baja 2 Sisi Tajam, Ukuran 310x30x0,8 mm, Kapasitas 20 Biji/Jam

Syamsul Hadi^{1*}, Rismatul Hasanah², Gilang Febriyan Mahendra³, Muhammad Ilham Sujatmiko⁴, Mukhamad Rony Efendi⁵, Ahmad Jibril Muqorrobin⁶

¹Program Studi Doktor Terapan, Optimasi Desain Mekanik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri, Indonesia

²⁻⁶Program Studi Diploma IV, Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri, Indonesia

E-mail: syamsul.hadi@polinema.ac.id¹, rismatulhasanah1805@gmail.com², gilangfebriyan2006@gmail.com³, muhammadilham05@gmail.com⁴, mukhamadronyefendi@gmail.com⁵, 4ahmadjibril@gmail.com⁶

*Penulis Korespondensi: syampol2003@yahoo.com

Abstract. *The frequent breakage of saw blades and the use of blades that are not suitable for beginner saw operators present a significant problem in metal sawing activities. This study aims to produce a double-sided sharp steel saw blade with dimensions of 310×30×0.8 mm. The production process consists of several stages, namely designing the double-sided sharp saw blade, cutting high-carbon steel material to size, drilling 4 mm diameter holes at both ends with a 310 mm distance between holes, forming sharp edges on both sides of the blade, hardening only the two cutting edges, followed by labeling, packaging, and quality and dimensional standard inspection. The production output is a double-sided sharp steel saw blade measuring 310×30×0.8 mm made from medium carbon steel. The manufacturing cost is Rp. 3,500 per unit with a processing time of 3 minutes per unit. These results indicate that the saw blade can be mounted on a general saw handle and has improved resistance to breakage, making it more suitable for beginner users whose sawing motion is not consistently aligned on a single flat plane.*

Keywords: *Beginner Saw; Medium Carbon Steel; Saw Blade; Steel Hardening; Two Sharp Edges.*

Abstrak. Seringnya mata gergaji mudah patah serta penggunaan mata gergaji yang tidak sesuai bagi pemula dalam pengoperasian gergaji menjadi permasalahan dalam kegiatan pemotongan logam. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan mata gergaji baja tajam dua sisi dengan dimensi 310×30×0,8 mm. Proses produksi meliputi beberapa tahapan, yaitu perancangan mata gergaji baja tajam dua sisi, pemotongan material baja karbon tinggi sesuai ukuran, pengeboran lubang berdiameter 4 mm pada kedua ujung dengan jarak 310 mm antar lubang, pembentukan sisi tajam pada kedua sisi mata gergaji, proses pengerasan hanya pada dua sisi tajam, kemudian pelabelan, pengemasan, serta inspeksi standar kualitas dan dimensi. Hasil produksi berupa mata gergaji baja tajam dua sisi berukuran 310×30×0,8 mm yang terbuat dari baja karbon menengah. Biaya produksi adalah Rp3.500 per unit dengan waktu proses 3 menit per unit. Hasil ini menunjukkan bahwa mata gergaji dapat dipasang pada gagang gergaji umum serta memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap risiko patah, sehingga lebih sesuai digunakan oleh pengguna pemula yang gerakan menggergajinya belum stabil dan tidak selalu berada pada satu bidang datar.

Kata kunci: Baja Karbon Menengah; Dua Sisi Tajam; Mata Gergaji; Pengerasan Baja; Penggergaji Pemula.

1. LATAR BELAKANG

Perkembangan industri manufaktur modern menuntut penggunaan alat potong yang mampu menghasilkan mutu pemotongan tinggi, produktivitas yang baik, dan umur pakai yang panjang. Dalam berbagai sektor industri, mulai dari pengolahan kayu, fabrikasi logam, hingga industri permesinan, daun gergaji merupakan satu komponen utama yang berperan dalam menentukan efisiensi dan mutu pemotongan. Kinerja daun gergaji tidak hanya dipengaruhi oleh desain geometrinya, tetapi juga oleh karakteristik bahan, mutu manufaktur, dan kemampuan mempertahankan ketajaman selama penggunaan. Penelitian terkini menunjukkan bahwa kinerja alat potong sangat berkaitan dengan mekanisme keausan, pembentukan panas selama pemotongan, dan stabilitas struktur alat ketika menerima beban kerja berulang (Kang et al.,

2023). Produksi daun gergaji dua sisi tajam memerlukan pengendalian proses yang ketat, terutama pada tahap pembentukan gigi, perlakuan panas, dan *finishing* untuk penjaminan keseragaman mutu produk. Dimensi 310 mm × 30 mm × 0,8 mm menuntut keseimbangan antara fleksibilitas dan kekuatan agar bilah tidak mudah mengalami deformasi saat digunakan yang menerapkan metode manufaktur yang efisien dapat menekan biaya produksi tanpa mengurangi kinerja teknis daun gergaji.

Perkembangan teknologi bahan telah membuka peluang untuk meningkatkan kinerja alat potong melalui pemilihan bahan dan perlakuan panas yang tepat. Bahan berbasis baja karbon tinggi dan baja perkakas masih menjadi pilihan utama karena mampu memberikan kombinasi sifat mekanik yang baik, khususnya kekerasan dan ketahanan aus, namun pencapaian sifat tersebut memerlukan pengendalian manufaktur yang cermat agar tidak mengorbankan ketangguhan bahan. Berbagai kajian mengenai umur pakai alat menunjukkan bahwa keberhasilan suatu alat potong tidak hanya ditentukan oleh jenis bahan yang digunakan, tetapi juga oleh mutu pembentukan, perlakuan panas, dan kondisi permukaan akhir produk (Ficak & Łukaszek-sołek, 2024). Kinerja daun gergaji dua sisi tajam tidak hanya dipengaruhi oleh pemilihan bahan, tetapi juga oleh mutu manufaktur yang diterapkan baja karbon tinggi yang diproses dengan perlakuan panas yang tepat mampu menghasilkan kombinasi kekerasan dan ketahanan aus yang mendukung kinerja pemotongan. Selain hal tersebut, ketelitian pada pembentukan gigi dan *finishing* permukaan berkontribusi terhadap peningkatan umur pakai dan konsistensi kualitas produk. Oleh karenanya, pengendalian setiap tahapan produksi menjadi faktor penting dalam menghasilkan daun gergaji yang andal dan tahan lama.

Dalam konteks manufaktur alat potong, daun gergaji baja dua sisi tajam menawarkan potensi peningkatan efisiensi penggunaan karena kedua sisi bilah dapat dimanfaatkan sebagai elemen pemotong. Konsep tersebut memungkinkan pemanfaatan bahan yang lebih optimal dan berpotensi memperpanjang masa penggunaan produk, namun desain dua sisi tajam menuntut tingkat presisi yang lebih tinggi dalam manufaktur, terutama terkait keseragaman geometri gigi, distribusi tegangan, dan mutu pengasahan pada kedua sisi bilah. Oleh karenanya, diperlukan pemahaman yang komprehensif mengenai hubungan antara bahan, produksi, dan karakteristik mekanik untuk menghasilkan produk yang memenuhi tuntutan kinerja industri modern (Yuan & Riaz, 2023). Desain daun gergaji dua sisi tajam meningkatkan efisiensi penggunaan karena kedua sisi bilah dapat dimanfaatkan untuk pemotongan, namun desainnya mutu pengasahan, dan stabilitas bilah. Keberhasilan produk mutu produksi, sehingga kinerja pemotongan dapat tetap optimal dan konsisten.

2. KAJIAN TEORITIS

Daun gergaji merupakan alat potong berbentuk pelat tipis yang bekerja berdasarkan mekanisme pembentukan geram (*chip formation*) melalui deformasi plastis dan kegagalan geser pada bahan benda kerja. Pada saat gigi gergaji bersentuhan dengan bahan, terjadi interaksi antara gaya geser, gaya tekan, dan gaya gesek yang menyebabkan bahan mengalami deformasi elastis, deformasi plastis, hingga akhirnya terpisah menjadi *chip*. Pembentukan *chip* tersebut sangat dipengaruhi oleh geometri gigi, kecepatan potong, dan sifat mekanik bahan. Dalam kondisi pemotongan kecepatan tinggi, energi pemotongan sebagian besar berubah menjadi panas yang terkonsentrasi pada zona geser primer dan sekunder, sehingga meningkatkan risiko keausan alat potong.

Mekanisme *chip formation* pada pemotongan logam tidak bersifat stabil, tetapi cenderung mengalami fenomena *serrated chip* atau chip bergerigi akibat instabilitas deformasi plastis pada bahan keras yang berkaitan langsung dengan gaya pemotongan dan temperatur lokal yang tinggi pada zona kontak (Duc et al., 2024). Fenomena *serrated chip* menunjukkan adanya ketidakstabilan pemotongan yang dapat meningkatkan gaya potong dan temperatur pada zona kontak yang menuntut daun gergaji memiliki ketahanan aus dan stabilitas mekanik yang baik agar kinerja pemotongan tetap terjaga selama penggunaan.

Bahan yang digunakan pada daun gergaji harus memiliki kombinasi sifat mekanik yang seimbang, terutama kekerasan tinggi, ketangguhan (*toughness*), ketahanan aus (*wear resistance*), dan stabilitas struktur mikro. Kekerasan diperlukan untuk mempertahankan ketajaman gigi selama pemotongan, sedangkan ketangguhan dibutuhkan untuk mencegah kegagalan patah akibat beban kejut dan getaran dinamis. Selain hal tersebut, ketahanan aus menjadi faktor utama dalam menentukan umur pakai alat, karena gigi gergaji terus mengalami kontak gesek dengan bahan kerja pada temperatur tinggi dan tekanan besar. Stabilitas struktur mikro juga penting untuk menjaga konsistensi sifat mekanik selama operasi berulang (Ficak & Łukaszek, 2024). Keseimbangan antara kekerasan, ketangguhan, dan ketahanan aus merupakan faktor penting dalam menentukan kinerja daun gergaji dua sisi tajam yang mana sifat tersebut memungkinkan gigi gergaji tetap tajam, tahan terhadap beban dinamis, dan tidak mudah mengalami kerusakan selama pemotongan, juga stabilitas struktur mikro yang baik membantu mempertahankan karakteristik mekanik bahan selama penggunaan berulang. Oleh karenanya, pemilihan bahan dan perlakuan panas yang tepat menjadi langkah penting untuk meningkatkan umur pakai dan keandalan produk.

Jenis bahan yang umum digunakan dalam pembuatan daun gergaji meliputi *High Carbon Steel*, *Spring Steel*, *Tool Steel*, dan *Bi-metal Steel*, yang masing-masing memiliki karakteristik berbeda sesuai kebutuhan aplikasi. *High Carbon Steel* memiliki kadar karbon tinggi yang memungkinkan peningkatan kekerasan melalui perlakuan panas, sehingga cocok untuk aplikasi pemotongan umum. *Spring Steel* memiliki sifat elastisitas tinggi yang sangat baik untuk menahan deformasi berulang, sehingga banyak digunakan pada bilah gergaji yang membutuhkan fleksibilitas. *Tool Steel* memiliki kombinasi kekerasan dan ketahanan aus yang lebih tinggi, sehingga cocok untuk pemotongan bahan keras. Sementara itu, *Bi-metal Steel* menggabungkan dua bahan berbeda untuk memperoleh keseimbangan antara fleksibilitas badan bilah dan ketahanan aus pada bagian gigi (Kalpakjian & Schmid, 2023). Pemilihan jenis baja harus disesuaikan dengan kebutuhan kinerja dan kondisi operasi daun gergaji desain dua sisi tajam, bahan yang dipilih perlu mampu memberikan ketahanan aus yang baik pada gigi dan menjaga kekuatan dan fleksibilitas bilah selama penggunaan.

Struktur mikro martensit hasil *quenching* memiliki pengaruh signifikan terhadap peningkatan kekerasan bahan baja karena struktur tersebut terbentuk melalui transformasi cepat austenit yang menghasilkan struktur kristal rapat dan keras, namun martensit murni bersifat sangat getas, sehingga rentan terhadap retak mikro dan kegagalan akibat beban dinamis. Oleh karenanya, *tempering* diperlukan untuk menurunkan tegangan internal dan meningkatkan ketangguhan tanpa mengurangi kekerasan secara signifikan. Kombinasi *quenching* dan *tempering* tersebut menghasilkan keseimbangan sifat mekanik yang optimal untuk aplikasi daun gergaji, terutama dalam kondisi kerja dengan beban kejut dan temperatur tinggi (Callister dan Rethwisch, 2021). Penerapan *quenching* dan *tempering* yang tepat pada produksi daun gergaji dua sisi tajam dapat menghasilkan kombinasi kekerasan dan ketangguhan yang seimbang yang penting untuk menjaga ketahanan gigi terhadap keausan sekaligus mengurangi risiko retak atau patah selama penggunaan.

Bahan merupakan faktor utama yang menentukan mutu dan umur pakai daun gergaji. Baja karbon tinggi untuk SK5 dan SKD11 banyak digunakan sebagai bahan alat potong karena memiliki kadar karbon yang tinggi, sehingga mampu menghasilkan kekerasan yang baik setelah perlakuan panas. Kadar karbon tersebut memungkinkan terbentuknya struktur martensit yang berkontribusi terhadap peningkatan ketahanan aus dan kemampuan mempertahankan ketajaman selama pemotongan (Setiawan & Khoeron, 2024). *Heat treatment* pada baja SKD11 mampu meningkatkan kekerasan bahan secara signifikan, sehingga cocok digunakan pada komponen yang mengalami gesekan dan pembebanan berulang.

Kadar karbon yang tinggi pada baja perkakas memungkinkan terbentuknya struktur martensit selama quenching. Struktur martensit memiliki karakteristik kekerasan tinggi yang berperan dalam mempertahankan ketajaman mata potong Saputra et al. (2020) Menjelaskan bahwa pembentukan martensit sangat dipengaruhi oleh temperatur austenitisasi dan pendinginan yang digunakan.

Selain karbon, unsur paduan untuk Kromium (Cr), Molibdenum (Mo), dan Vanadium (V) berfungsi meningkatkan *hardenability* dan ketahanan aus bahan. (Harningsih, dkk., 2022) menyatakan bahwa peningkatan kadar unsur paduan pada baja perkakas dapat memperbaiki ketahanan aus dan memperpanjang umur pakai alat potong pada kondisi operasi yang berat.

Pembentukan *chip* pada pemotongan dengan daun gergaji merupakan fenomena deformasi bahan yang kompleks, dimulai dari interaksi awal antara gigi gergaji dan permukaan benda kerja. Pada tahap awal, bahan mengalami deformasi elastis, yaitu kondisi yang mana bahan hanya mengalami perubahan bentuk sementara akibat gaya tekan dari gigi gergaji, dan kembali ke bentuk semula ketika gaya dihilangkan. Tahap tersebut terjadi sangat singkat namun penting karena menentukan transisi menuju deformasi permanen. Setelah batas elastis terlampaui, bahan memasuki kondisi deformasi plastis yang menjadi awal terbentuknya *chip* (Duc et al., 2024). Pada produksi daun gergaji baja dua sisi tajam, desain geometri gigi harus didesain secara cermat untuk menghasilkan pembentukan geram yang efisien dan mengurangi hambatan pemotongan. Ketepatan manufaktur pada pembentukan profil gigi memengaruhi distribusi gaya potong dan kestabilan kerja bilah selama digunakan. Selainhal tersebut, kualitas perlakuan panas yang baik diperlukan untuk menjaga ketahanan gigi terhadap beban mekanik dan temperatur yang timbul selama proses pemotongan.

Pada tahap deformasi plastis intensif, bahan mengalami perubahan struktur internal yang signifikan akibat tegangan geser tinggi yang terkonsentrasi pada zona geser primer (*primary shear zone*). Pada kondisi tersebut, kristal logam mengalami pergeseran bidang atom secara permanen, sehingga terjadi aliran bahan ke arah permukaan bebas. Besarnya deformasi plastis sangat dipengaruhi oleh kecepatan potong, sudut rake gigi, dan sifat mekanik bahan untuk kekerasan dan keuletan. Semakin tinggi kecepatan pemotongan, semakin besar panas yang dihasilkan, yang dapat mempercepat pelunakan bahan lokal (*thermal softening*) dan mempengaruhi stabilitas pembentukan *chip* (Ficak, 2024). Deformasi plastis yang terjadi pada zona geser primer menunjukkan bahwa kondisi pemotongan sangat dipengaruhi oleh geometri gigi dan parameter operasi. Pada daun gergaji dua sisi tajam, ketepatan bentuk gigi dan mutu bahan berperan penting dalam menghasilkan pembentukan *chip* yang stabil. Selain hal tersebut, peningkatan temperatur selama pemotongan dapat memengaruhi kinerja gigi gergaji. Oleh

karenanya, diperlukan bahan dan perlakuan panas yang mampu mempertahankan sifat mekaniknya pada kondisi kerja yang mengalami beban dan panas berulang.

Pada tahap akhir yaitu kegagalan geser (*shear failure*), bahan akhirnya terpisah dari benda kerja dan membentuk chip. Proses tersebut terjadi ketika tegangan geser melebihi kekuatan geser bahan, sehingga terjadi patahan mikro sepanjang bidang geser utama. *Chip* yang terbentuk kemudian mengalir di sepanjang permukaan rake gigi gergaji. Pada bahan yang memiliki kekerasan tinggi, pemotongan tidak berlangsung secara stabil, melainkan terjadi siklus deformasi cepat yang menghasilkan chip tidak kontinu. Fenomena tersebut sering menghasilkan peningkatan gaya potong yang tidak stabil selama proses berlangsung (Klippel et al., 2022). Mekanisme kegagalan geser dalam pemotongan, khususnya tegangan geser yang melebihi kekuatan bahan menyebabkan terbentuknya *chip* dan patahan mikro pada bidang geser juga menunjukkan pemahaman yang tepat terhadap fenomena deformasi plastis hingga fraktur.

Pada bahan keras, *chip* yang terbentuk sering berupa *serrated chip* (chip bergerigi) akibat terjadinya siklus deformasi adiabatik, yaitu kondisi yang mana panas yang dihasilkan selama deformasi tidak sempat terdisipasi ke lingkungan sekitar. Akumulasi panas tersebut menyebabkan pelunakan lokal yang tiba-tiba, diikuti oleh pengerasan kembali secara cepat, sehingga menghasilkan pola *chip* yang tidak seragam. Fenomena tersebut juga dipengaruhi oleh instabilitas termal dan mekanik pada zona geser, yang menyebabkan variasi gaya potong dan getaran selama pemotongan. Kondisi tersebut sangat umum terjadi pada pemesinan bahan keras untuk baja perkakas dan baja karbon tinggi (Duc et al., 2024). Fenomena *serrated chip* menunjukkan bahwa pemotongan pada bahan keras menghasilkan kondisi termal dan mekanis yang lebih kompleks dibandingkan material lunak. Pada produksi daun gergaji baja dua sisi tajam, kondisi tersebut menuntut gigi gergaji memiliki kekerasan dan ketahanan aus yang memadai agar tetap mampu bekerja stabil meskipun menerima beban dan temperatur yang berfluktuasi. Selain hal tersebut, ketahanan terhadap getaran dan perubahan gaya potong menjadi faktor penting untuk menjaga kualitas hasil pemotongan. Oleh karenanya, pemilihan material AISI 1095 dan penerapan perlakuan panas yang tepat berperan dalam meningkatkan stabilitas dan keandalan daun gergaji selama operasi.

Daun gergaji tipis memiliki kecenderungan tinggi untuk mengalami getaran transversal akibat rasio diameter terhadap ketebalan yang besar, yang menyebabkan struktur menjadi relatif fleksibel dan kurang stabil terhadap beban dinamis selama pemotongan. Ketika gigi gergaji masuk ke dalam bahan, gaya potong yang tidak konstan akan memicu osilasi pada bilah, sehingga muncul gerakan getar yang dapat mengganggu kestabilan kontak antara alat dan

benda kerja. Fenomena tersebut menjadi lebih signifikan pada kondisi kecepatan potong tinggi karena peningkatan gaya dinamis dan energi pemotongan yang tidak stabil (Yan et al., 2023). Oleh karenanya, produksi, pemilihan bahan AISI 1095, dan perlakuan panas harus didesain dengan baik untuk meningkatkan kekakuan bilah dan menjaga kestabilan pemotongan.

Mekanisme keausan pada daun gergaji dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis utama, yaitu *abrasive wear*, *adhesive wear*, *thermal fatigue*, dan *micro-chipping*. *Abrasive wear* terjadi akibat gesekan antara partikel keras pada bahan kerja dengan permukaan gigi gergaji yang menyebabkan pengikisan bahan secara bertahap. *Adhesive wear* terjadi ketika terjadi perlekatan lokal antara bahan kerja dan gigi gergaji, yang kemudian terlepas dan menarik sebagian bahan alat. Sementara itu, *thermal fatigue* disebabkan oleh siklus pemanasan dan pendinginan berulang selama pemotongan yang menyebabkan retak mikro akibat tegangan termal. Adapun *micro-chipping* merupakan fenomena patahan kecil pada ujung gigi akibat konsentrasi tegangan tinggi dan beban dinamis yang berulang (Klippel et al., 2022). Perlakuan panas dan pengasahan yang tepat dapat meningkatkan ketahanan gigi terhadap keausan dan kerusakan dini juga geometri gigi yang seragam membantu menjaga kinerja pemotongan dan memperpanjang umur pakai daun gergaji.

Bahan daun gergaji umumnya dipilih berdasarkan keseimbangan antara kekerasan, ketangguhan, dan ketahanan aus, karena alat tersebut bekerja dalam kondisi kontak gesek, beban dinamis, dan temperatur tinggi pada zona pemotongan. Jenis bahan yang sering digunakan meliputi *High Carbon Steel*, *Spring Steel*, *Tool Steel*, dan *Bi-metal Steel*, yang masing-masing memiliki karakteristik mekanik berbeda sesuai kebutuhan aplikasi pemotongan. Pemilihan bahan tersebut sangat menentukan kinerja gergaji, terutama dalam menjaga ketajaman gigi dan mencegah kegagalan akibat patah atau deformasi plastis selama operasi berlangsung (Callister & Rethwisch, 2021). Pemilihan bahan yang tepat menjadi faktor utama dalam menentukan mutu dan keandalan daun gergaji dua sisi tajam yang ketajamannya sesuai mendukung ketahanan gigi, menjaga stabilitas bentuk bilah, dan meningkatkan umur pakai produk selama penggunaan.

Bahan *High Carbon Steel* banyak digunakan karena memiliki kadar karbon tinggi yang memungkinkan peningkatan kekerasan melalui perlakuan panas, sehingga cocok untuk aplikasi pemotongan umum dengan beban sedang. *Spring Steel* dipilih karena memiliki sifat elastisitas dan ketahanan deformasi yang baik, sehingga mampu menahan beban dinamis dan getaran selama pemotongan. Sementara itu, *Tool Steel* memiliki kombinasi kekerasan dan ketahanan aus yang lebih tinggi, sehingga lebih cocok untuk pemotongan bahan keras. Adapun *Bi-metal Steel* merupakan bahan komposit yang menggabungkan fleksibilitas badan bilah dengan

ketahanan aus pada bagian gigi, sehingga memberikan keseimbangan antara kekuatan struktural dan umur pakai alat (Kalpakjian & Schmid, 2023). Setiap jenis bahan memiliki keunggulan tersendiri yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi pemotongan produksi daun gergaji dua sisi tajam, pemilihan bahan yang tepat berpengaruh langsung terhadap kinerja, keandalan, dan umur pakai produk. Bahan-bahan tersebut umumnya mengalami perlakuan panas untuk mencapai sifat mekanik yang diinginkan, terutama melalui *quenching* dan *tempering*. *Quenching* menghasilkan struktur martensit yang memiliki tingkat kekerasan tinggi akibat transformasi cepat dari fase austenit, namun struktur martensit yang terlalu keras cenderung bersifat getas, sehingga rentan terhadap retak mikro dan kegagalan akibat beban kejut. Oleh karenanya, *tempering* diperlukan untuk mengurangi tegangan sisa, meningkatkan ketangguhan, dan menstabilkan struktur mikro tanpa menghilangkan kekerasan secara signifikan. Kombinasi kedua proses tersebut menghasilkan bahan yang lebih stabil dan sesuai untuk aplikasi daun gergaji yang mengalami beban dinamis dan gesekan berulang (Callister & Rethwisch, 2021). Kombinasi *hardening* dan *tempering* yang terkontrol dapat menghasilkan sifat mekanik yang lebih seimbang pada daun gergaji dua sisi tajam tersebut membantu meningkatkan ketahanan terhadap beban dinamis, mengurangi risiko kerusakan dini, dan menjaga kinerja pemotongan selama penggunaan.

Perlakuan panas pada baja daun gergaji umumnya terdiri dari tiga tahapan utama, yaitu austenitisasi, *quenching*, dan *tempering*. Tahap austenitisasi dilakukan dengan memanaskan baja hingga mencapai fase austenit agar struktur kristal menjadi homogen dan siap untuk transformasi. Selanjutnya, *quenching* dilakukan dengan pendinginan cepat menggunakan media untuk air, oli, atau udara untuk menghasilkan struktur martensit yang memiliki kekerasan tinggi. Tahap terakhir yaitu *tempering* dilakukan dengan pemanasan ulang pada temperatur lebih rendah untuk mengurangi kerapuhan martensit, menurunkan tegangan sisa, dan meningkatkan ketangguhan bahan tanpa menghilangkan sifat keras yang telah terbentuk sebelumnya (Dong & Hu, 2021). Urutan austenitisasi, *hardening*, dan *tempering* harus dikendalikan secara tepat untuk memperoleh mutu daun gergaji yang optimal parameternya pada setiap tahap yang memengaruhi struktur mikro dan sifat mekanik akhir yang menentukan keandalan produk saat digunakan.

Penelitian oleh Nurtanto & Darmanto, (2023) SKD11 menunjukkan bahwa variasi temperatur *tempering* sangat mempengaruhi nilai kekerasan dan struktur mikro baja SKD11, yang mana semakin tinggi temperatur *tempering*, maka kekerasan cenderung menurun, tetapi ketangguhan meningkat. Carasi et al. (2021) menjelaskan bahwa *heat treatment* pada baja

perkakas menyebabkan perubahan signifikan pada struktur mikro dari fase austenit menjadi martensit yang meningkatkan kekerasan bahan secara drastis.

Tujuan perlakuan panas pada daun gergaji adalah untuk menghasilkan kombinasi sifat mekanik yang seimbang, yaitu peningkatan kekerasan untuk ketahanan aus, peningkatan ketangguhan untuk mencegah patah getas, pengurangan tegangan sisa akibat manufaktur, dan menjaga keseimbangan antara kekuatan dan elastisitas. Dengan tercapainya kombinasi sifat tersebut, daun gergaji mampu bekerja secara stabil pada kondisi pemotongan yang melibatkan beban dinamis, temperatur tinggi, dan gesekan berulang, sehingga umur pakai alat dapat meningkat secara signifikan (Ficak, 2024). Wu & Lan, (2023) menunjukkan bahwa variasi temperatur *tempering* secara langsung mempengaruhi nilai kekerasan SKD11, yang mana peningkatan temperatur menyebabkan penurunan kekerasan, tetapi meningkatkan ketangguhan bahan.

Ketahanan aus pada alat potong untuk mata gergaji merupakan faktor yang sangat krusial dalam menentukan efisiensi pemotongan dan umur pakai alat. Keausan terjadi sebagai hasil dari interaksi kompleks antara mata potong dan bahan benda kerja, yang melibatkan mekanisme untuk keausan abrasif, adhesif, termal, dan kelelahan bahan akibat beban siklik selama pemotongan. Seiring berjalannya waktu, proses tersebut menyebabkan degradasi geometri mata gergaji, peningkatan gaya potong, kenaikan temperatur, dan penurunan mutu hasil pemotongan.

Perkembangan teknologi pemantauan kondisi (*condition monitoring*) memberikan pendekatan yang lebih efektif dalam menganalisis keausan alat potong secara *real-time*. satu pendekatan yang banyak dikembangkan adalah penggunaan sinyal getaran (*vibration*) dan *noise* (akustik) selama pemotongan. Penelitian Ficak, (2024) menunjukkan bahwa perubahan kondisi keausan mata gergaji dapat tercermin secara signifikan pada karakteristik sinyal dinamis yang dihasilkan selama pemotongan. Ketika mata gergaji masih dalam kondisi tajam, sinyal getaran cenderung stabil dengan amplitudo rendah, sedangkan pada kondisi aus terjadi peningkatan amplitudo getaran, ketidakstabilan sinyal, dan perubahan karakteristik frekuensi akibat meningkatnya gesekan dan gaya pemotongan. Mac et al. (2023) yang menyatakan bahwa *thermal-assisted machining* dapat menurunkan gaya potong, getaran, dan meningkatkan mutu permukaan SKD11 tanpa mengubah struktur mikro secara signifikan.

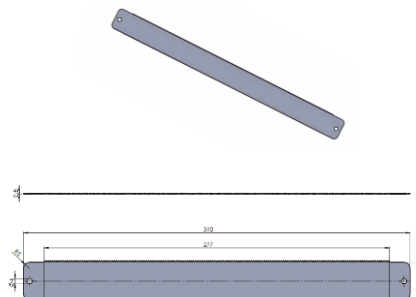
3. METODE PENELITIAN

Daun gergaji dengan spesifikasi panjang 310 mm, lebar 30 mm, dan tebal 0,8 mm merupakan satu konfigurasi yang menarik untuk dikaji karena memiliki karakteristik struktur yang relatif ramping. Ketebalan yang kecil memberikan keuntungan berupa efisiensi bahan dan potensi pengurangan gaya pemotongan, namun pada saat yang sama meningkatkan tantangan dalam menjaga kekakuan dan stabilitas bilah. Kondisi tersebut menuntut pengendalian yang baik pada setiap tahapan produksi, mulai dari pemilihan bahan baku, pembentukan profil, perlakuan panas, hingga *finishing* sebagai landasan ilmiah dalam pengembangan produk yang memiliki ketajaman tinggi, ketahanan aus yang baik, dan umur pakai yang lebih panjang.

Urutan perlakuan panas meliputi *austenitisasi*, *hardening*, dan *tempering* yang dikendalikan secara tepat untuk memperoleh mutu daun gergaji yang optimal parameternya pada setiap tahap yang memengaruhi struktur mikro dan sifat mekanik akhir yang menentukan keandalan produk saat digunakan.

Produksi menggunakan model eksperimen manufaktur yang berfokus pada optimasi alur produksi daun gergaji dua sisi tajam dengan integrasi antara pembentukan mekanis dan siklus perlakuan panas untuk mencapai spesifikasi dimensi panjang 310 mm, lebar 30 mm, dan tebal 0,8 mm. Bahan yang digunakan adalah pelat baja karbon menengah dengan uji Hardness Tester Rockwell (HRC) pada permukaan bilah gergaji sisi tajam setelah perlakuan panas. Tahapan produksi dilakukan secara sistematis sebagai berikut: pemotongan Plat (*blanking*), pembuatan 2 lubang di ujung bilah, pembentukan profil sisi tajam daun gergaji sepanjang 280 mm pada kedua sisinya dengan peggerindaan, pengerasan pada 850 °C dan tempering pada 300°C.

Desain gergaji 2 sisi tajam bahan baja karbon menengah ukuran 310x30x0,8 mm sebagaimana Gambar 1.



Gambar 1. Desain Gergaji 2 Sisi Tajam Bahan Baja Karbon Menengah Ukuran 310x30x0,8 mm.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kinerja daun gergaji baja sangat dipengaruhi oleh sifat mekanik bahan yang digunakan, terutama kekerasan, ketangguhan, dan ketahanan aus. Bahan untuk *high carbon steel*, *spring steel*, *tool steel*, dan *bi-metal steel* dipilih karena mampu memberikan kombinasi sifat tersebut melalui pengaturan komposisi kimia dan perlakuan panas. Kekerasan tinggi diperlukan untuk mempertahankan ketajaman gigi, sedangkan ketangguhan diperlukan agar gigi tidak mudah patah akibat beban kejut selama pemotongan.

Mikrostruktur baja hasil perlakuan panas sangat menentukan kinerja alat potong, khususnya struktur martensit yang terbentuk setelah *quenching* yang meningkatkan kekerasan secara signifikan, namun tetap memerlukan *tempering* untuk menjaga kestabilan struktur mikro (Callister & Rethwisch, 2021), (Ficak, 2024). Kinerja daun gergaji baja dua sisi tajam sangat dipengaruhi oleh sinergi antara karakteristik bahan dan manufaktur yang diterapkan pada *high carbon steel* yang dipilih karena memiliki kemampuan pengerasan yang baik, sehingga mampu menghasilkan gigi gergaji dengan ketahanan aus tinggi dan kemampuan mempertahankan ketajaman selama pemotongan, namun pencapaian sifat tersebut memerlukan pengendalian komposisi bahan dan perlakuan panas yang tepat agar tidak menimbulkan kerapuhan berlebihan pada bilah. Struktur mikro hasil perlakuan panas berperan penting dalam menentukan keandalan produk selama penggunaan. Pembentukan martensit melalui proses *quenching* dapat meningkatkan kekerasan secara signifikan, sedangkan *tempering* berfungsi memperbaiki ketangguhan dan menurunkan tegangan sisa yang berpotensi menyebabkan retak. Kombinasi kedua proses tersebut menghasilkan daun gergaji yang lebih stabil, tahan terhadap keausan, serta mampu bekerja secara efektif dalam kondisi pemotongan yang melibatkan beban dinamis dan gesekan berulang.

Dalam pemesinan baja perkakas SKD11, pemilihan parameter pemotongan untuk *cutting speed* (kecepatan potong), *feed rate* (laju pemakanan), dan *depth of cut* (kedalaman potong) memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap kinerja pemesinan secara keseluruhan. SKD11 dikenal sebagai bahan dengan kekerasan tinggi, ketahanan aus yang baik, dan kemampuan mempertahankan stabilitas dimensi, sehingga termasuk bahan yang relatif sulit untuk dimesin. Kondisi tersebut menyebabkan interaksi antara pahat dan benda kerja menjadi lebih intens, yang berdampak langsung pada gaya pemotongan, temperatur daerah potong, dan laju keausan pahat.

Secara umum, peningkatan *cutting speed* cenderung menyebabkan kenaikan temperatur pada zona pemotongan akibat peningkatan gesekan dan deformasi plastis bahan. Temperatur yang tinggi tersebut dapat mempercepat mekanisme keausan untuk *diffusion wear* dan

oxidation wear, yang pada akhirnya memperpendek umur pahat. Sementara itu, *feed rate* yang lebih tinggi meningkatkan beban mekanis pada pahat karena volume bahan yang dipotong per satuan waktu menjadi lebih besar. Hal tersebut menyebabkan peningkatan gaya potong dan potensi terjadinya getaran (*vibration*) yang dapat memperburuk mutu permukaan hasil pemesinan. Selain hal tersebut, *depth of cut* juga berperan penting dalam menentukan besarnya gaya potong total. Semakin besar kedalaman potong, semakin besar pula area kontak antara pahat dan benda kerja, sehingga gaya pemotongan meningkat secara signifikan. Kondisi tersebut tidak hanya mempercepat keausan pahat, tetapi juga dapat menyebabkan deformasi elastis maupun plastis pada sistem mesin-pahat-benda kerja, yang berkontribusi terhadap penurunan akurasi dimensi dan mutu permukaan.

Penelitian Chen et al. (2025) menunjukkan bahwa variasi kondisi pemotongan pada bahan SKD11 memberikan pengaruh yang signifikan terhadap respons pemesinan, khususnya pada gaya potong, tingkat keausan pahat, dan kekasaran permukaan (*surface roughness*). Pada kondisi pemotongan yang tidak optimal, terjadi peningkatan gaya potong yang diikuti oleh percepatan keausan pahat dan penurunan mutu permukaan hasil pemesinan. Sebaliknya, pemilihan parameter pemotongan yang lebih optimal mampu menyeimbangkan antara efisiensi proses dan mutu hasil, dengan mengurangi beban termal dan mekanis pada pahat.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pengaturan parameter pemesinan pada SKD11 tidak hanya mempengaruhi produktivitas proses, tetapi juga sangat menentukan umur pakai alat potong dan mutu akhir permukaan. Oleh karenanya, optimasi parameter pemotongan menjadi aspek penting dalam machining bahan keras untuk SKD11 untuk mencapai keseimbangan antara efisiensi, ketahanan alat, dan mutu produk.

Perlakuan panas (*austenitisasi*, *quenching*, dan *tempering*) terbukti menjadi faktor utama dalam peningkatan kinerja daun gergaji. *Quenching* menghasilkan struktur martensit yang keras, sementara *tempering* berfungsi mengurangi kerapuhan akibat tegangan internal. Kombinasi kedua proses tersebut menghasilkan bahan dengan keseimbangan optimal antara kekerasan dan ketangguhan.

Peningkatan kekerasan secara signifikan berbanding lurus dengan peningkatan ketahanan aus, namun tanpa *tempering* yang tepat bahan menjadi rentan terhadap retak mikro dan kegagalan dini (Kalpakjian & Schmid, 2023). Keberhasilan produksi daun gergaji dua sisi tajam sangat dipengaruhi oleh pengendalian parameter perlakuan panas dan yang tepat dapat meningkatkan ketahanan aus sekaligus menjaga ketangguhan bahan, sehingga umur pakai dan keandalan produk menjadi lebih baik.

Pembentukan *chip* pada pemotongan logam terjadi melalui tiga tahap utama yaitu deformasi elastis, deformasi plastis intensif, dan *shear failure*. Pada bahan keras, chip yang terbentuk sering berupa serrated chip akibat ketidakstabilan deformasi termal dan mekanik di zona geser. Fenomena tersebut menyebabkan fluktuasi gaya potong yang berdampak langsung pada kestabilan pemotongan dan mempercepat keausan gigi gergaji (Duc et al., 2024). Mekanisme pembentukan *chip* yang tidak stabil dapat menyebabkan fluktuasi gaya potong selama pemotongan yang berpotensi meningkatkan keausan gigi dan menurunkan mutu hasil potong, sehingga diperlukan bahan dan desain gigi yang mampu menjaga kestabilan pemotongan.

Getaran transversal pada daun gergaji tipis menjadi faktor dominan yang mempengaruhi mutu hasil pemotongan. Getaran tersebut dapat berupa *forced vibration*, *self-excited vibration*, dan resonansi struktural. Ketidakstabilan getaran menyebabkan permukaan hasil potong menjadi tidak halus, meningkatkan *noise*, dan mempercepat keausan gigi secara tidak merata.

Pengendalian getaran pada *circular saw blade* sangat penting untuk meningkatkan mutu pemotongan dan mengurangi energi yang hilang akibat osilasi struktur (Guo, 2024). Pengendalian getaran menjadi aspek penting dalam desain dan produksi daun gergaji dua sisi tajam, terutama pada bilah yang relatif tipis. Stabilitas struktur yang baik dapat membantu meningkatkan mutu pemotongan, memperpanjang umur pakai sisi tajam, dan menjaga konsistensi kinerja selama operasi.

Keausan pada daun gergaji terjadi secara bertahap melalui *abrasive wear*, *adhesive wear*, *thermal fatigue*, dan *micro-chipping*. Keausan tersebut menyebabkan perubahan geometri gigi untuk penumpulan ujung dan perubahan sudut potong, sehingga meningkatkan gaya pemotongan dan temperatur kerja.

Keausan progresif berbanding lurus dengan peningkatan energi pemotongan dan penurunan efisiensi proses, sehingga umur pakai alat sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi dan sifat bahan (Klippel et al., 2022). Keausan progresif pada gigi gergaji merupakan satu faktor yang secara langsung memengaruhi produktivitas dan biaya operasional pemotongan. Semakin tinggi tingkat keausan yang terjadi, semakin besar energi yang dibutuhkan untuk mempertahankan kinerja pemotongan, sehingga efisiensi penggunaan alat menjadi menurun. Dalam produksi daun gergaji baja dua sisi tajam, peningkatan ketahanan aus dapat dicapai melalui pemilihan bahan yang tepat dan penerapan perlakuan panas yang terkontrol. Dengan ketahanan aus yang lebih baik, ketajaman gigi dapat dipertahankan lebih lama, sehingga umur pakai alat meningkat dan frekuensi penggantian produk dapat diminimalkan.

Kinerja daun gergaji merupakan hasil interaksi kompleks antara bahan, perlakuan panas, mekanisme *chip formation*, getaran, dan keausan yang mana bahan dengan kekerasan tinggi meningkatkan ketahanan aus, tetapi juga meningkatkan risiko getas jika tidak diimbangi tempering yang tepat. Selain hal tersebut, getaran transversal mempercepat keausan tidak merata, sementara mekanisme *chip formation* yang tidak stabil menyebabkan fluktuasi gaya potong yang memperburuk kondisi dinamis sistem. Oleh karenanya, optimasi desain dan bahan menjadi kunci utama dalam meningkatkan efisiensi dan umur pakai daun gergaji baja. Estimasi biaya dan waktu produksi daun gergaji 2 sisi tajam sebagaimana Tabel 1.

Tabel 1. Estimasi Biaya dan Waktu Produksi Daun Gergaji 2 Sisi Tajam.

No.	Tahapan Proses	Biaya Produksi (Rp)	Durasi Proses (Detik)
1	Desain daun gergaji baja dua sisi tajam berukuran 310x30x0,8 mm	400	20
2	Pemotongan bahan baja karbon tinggi ukuran 310x30x0,8 mm	300	20
3	Pelubangan pada kedua ujungnya berdiameter 4 mm berjarak antar lubang 310 mm	600	20
4	Pembuatan sisi tajam pada dua sisi daun gergaji	900	70
5	Pengerasan hanya pada dua sisi tajam daun gergaji, pengerasan pada 850°C dan tempering 300°C	600	40
6	Pelabelan dan pengemasan	400	5
7	Pemeriksaan mutu-dimensi-standar	300	5
	Jumlah	3.500	180
	Pajak 10%	350	
	Laba 15%	525	
	Total/Harga jual/unit	3.370	

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil produksi daun gergaji baja dua sisi tajam berukuran panjang 310 mm, lebar 30 mm, tebal 0,8 mm dari bahan baja karbon menengah dengan total biaya produksi Rp 3.500,-/unit, dan durasi proses 3 menit/unit yang berdampak bahwa daun gergaji baja dua sisi tajam berukuran 310x30x0,8 mm dapat dipasangkan pada gagang gergaji standar dan tidak mudah patah terutama untuk pemakaian oleh penggergaji pemula yang berpotensi penggerakan daun gergajinya tidak dijamin bisa selalu bergerak pada satu bidang datar.

Saran tindak lanjut atas simpulan adalah perlu menguji pengaruh variasi baja terhadap umur pakai daun gergaji dalam kondisi pemotongan nyata, dan pengembangan desain pola sisi tajam dan geometri gigi gergaji untuk mengurangi gaya pemotongan dan meminimalkan efek getaran selama pemotongan.

DAFTAR REFERENSI

- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2021). *Materials science and engineering: An introduction* (10th ed.). Wiley. <https://www.wiley.com/en-us/Materials+Science+and+Engineering%3A+An+Introduction>
- Carasi, G., Yu, B., Hutten, E., Zurob, H., Casati, R., & Vedani, M. (2021). Effect of heat treatment on microstructure evolution of X38CrMoV5-1 hot-work tool steel produced by L-PBF. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 52(6), 2564–2575. <https://doi.org/10.1007/s11661-021-06248-y>
- Chen, G., Yao, Y., Su, B., Li, G., & Zeng, B. (2025). Effect of heat treatment process on microstructure and properties of base steel 30Cr4MoNiV for bi-metal band saw blade. *Heat Treatment of Metals*, 47(1), 266–271. <https://doi.org/10.13251/j.issn.0254-6051.2022.01.044>
- Dong, S., & Hu, J. (2021). Heat treatment process of 75Cr1 steel for saw blade substrate and its microstructure and mechanical properties. *Heat Treatment of Metals*, 46(9), 193–198. <https://doi.org/10.13251/j.issn.0254-6051.2021.09.035>
- Duc, T. M., Ngoc, T. B., & Tuan, N. M. (2024). A study on mechanisms of saw-tooth chip formation in hard turning under hybrid nanofluid-assisted MQL environment. *Advances in Mechanical Engineering*, 16(10), 1–13. <https://doi.org/10.1177/16878132241289286>
- Ficak, A. (2024). Finite element modeling of high-speed orthogonal cutting: A contribution to understanding the influence of mesh parameters on saw-toothed chip formation. *Materials*, 17(22), 5407. <https://doi.org/10.3390/ma17225407>
- Ficak, G., & Łukaszek-Sołek, A. (2024). Durability of forging tools used in the hot closed die forging process: A review. *Materials*, 17(22), 5407. <https://doi.org/10.3390/ma17225407>
- Guo, L. (2024). Design of vibration and noise reduction for ultra-thin cemented carbide circular saw blades in woodworking based on multi-objective optimization. *Machines*, 15(9), 1554. <https://doi.org/10.3390/f15091554>
- Harningsih, Litiyatmi, & Daryanto, T. (2022). Effects of heat treatment on microstructure and hardness of D2 tools. *Smart Technology*, 3(1), 1–3. <https://doi.org/10.23917/arstech.v3i1.761>
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2023). *Manufacturing engineering and technology in SI units*. Pearson. <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/manufacturing-engineering-and-technology/P200000003294>
- Kang, J., Zhang, J., & Bai, T. (2024). Early condition monitoring of circular saw blades with large diameter-to-thickness ratios under high-speed sawing of hard metals. *Measurement*, 235, 114933. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.114933>
- Kang, J., Zhang, J., Wang, K., Zhang, D., Bai, T., & Zhang, H. (2023). Analysis of wear mechanism and sawing performance of carbide and PCD circular saw blades in machining hard aluminum alloy. *Journal of Mechanical Engineering Science*, 237(6–7). <https://doi.org/10.1177/09544054221126969>
- Klippel, H., Stefan, S., Kuffa, M., & Wegener, K. (2022). Dry cutting experiments database Ti6Al4V and CK45. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2209.04197>

- Mac, T., Luyen, T., & Nguyen, D. (2023). Assessment of the effect of thermal-assisted machining on the machinability of SKD11 alloy steel. *Metals*, 13(4), 669. <https://doi.org/10.3390/met13040699>
- Nurtanto, F., & Darmanto, S. (2023). Analysis of the effect of tempering temperature on the formation of microstructure and hardness values in SKD11 steel. *Multidisciplinary Research and Analysis*, 6(1), 45–50. <https://doi.org/10.47191/ijmra/v6-i1-06>
- Saputra, I., Ariyanto, N. P., & Febri, M. (2020). Pengaruh temperatur tempering terhadap pembentukan struktur mikro dan kekerasan baja SKD 11 untuk tool steel. *Jurnal Teknologi*, 2(1), 10–13. <https://doi.org/10.30871/jatra.v2i1.1787>
- Setiawan, H., & Khoeron, S. (2024). Pengaruh heat treatment pada kekerasan material baja SKD 11. *Crankshaft*, 7(4), 22–33. <https://doi.org/10.24176/cra.v7i4.13872>
- Wu, X., & Lan, F. (2023). Study effect of HIP & heat treatment on MIM porous tool steel SKD11. *Journal of Physics: Conference Series*, 2582(1), 012057. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2528/1/012057>
- Yan, X., Cui, Y., Qiu, H., Ding, T., & Zhu, N. (2023). The transverse vibration characteristics of circular saw blade on mobile cantilever-type CNC sawing machine. *Machines*, 11(5), 549. <https://doi.org/10.3390/machines11050549>
- Yuan, Z., & Riaz, A. (2023). Precision machining by dicing blades: A systematic review. *Machines*, 11(2), 259. <https://doi.org/10.3390/machines11020259>