

Analisis Pengaruh Natrium Tetraborat terhadap Mikrostruktur Kawat Seling untuk Pisau Pencacah Rumput

Syaiful Arif^{1*}, Widarto², Joni Arif³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang, Serang

*Penulis Korespondensi, email: syaifularif703@gmail.com

Received: 19/05/2026

Revised: 23/07/2026

Accepted: 23/07/2026

Abstract. The performance and service life of the machine, therefore, they require materials with good hardness and wear resistance. High-carbon steel wire rope has the potential to be used as a raw material for blades, but its microstructural quality is affected by the heat treatment process. This study aims to analyze the effect of adding sodium tetraborate (borax) on the microstructural changes of wire rope used as a grass chopper blade material. The study used an experimental method with two wire rope specimens heated at 850°C for 60 minutes. Sodium tetraborate was added at 80% (or 80g) during the heating process as a surface protectant, then the specimens were rapidly cooled using oil. Microstructural characterization was performed using a metallographic microscope at 50x and 100x magnifications, while mechanical properties were evaluated using the Vickers hardness test. The results showed that the addition of sodium tetraborate resulted in the formation of a more dominant and more homogeneous martensite phase compared to the untreated specimens. The oxide layer on the specimen surfaces was also reduced, thus optimizing the phase transformation process. The hardness value increased from 450 to 540 HV, representing a 20% increase compared to the specimen without sodium tetraborate. Based on the research results, it can be concluded that the addition of sodium tetraborate to the heat treatment process positively influences the formation of a martensite microstructure, reduces oxidation during heating, and increases the hardness of the wire rope, making it more suitable for use as a blade material for grass choppers.

Keywords: Sodium tetraborate, Microstructure, Martensite, Steel wire rope, Grass chopper blade

Abstrak. Pisau mesin pencacah rumput merupakan komponen yang menentukan kinerja dan umur pakai mesin sehingga memerlukan material dengan kekerasan dan ketahanan aus yang baik. Kawat seling baja karbon tinggi berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku pisau, namun kualitas mikrostrukturnya dipengaruhi oleh proses perlakuan panas. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penambahan natrium tetraborat (boraks) terhadap perubahan mikrostruktur kawat seling sebagai material pisau mesin pencacah rumput. Penelitian menggunakan metode eksperimen dengan 2 spesimen kawat seling yang dipanaskan pada temperatur 850 °C selama 60 menit. Natrium tetraborat diberikan sebanyak 80% (atau 80g) selama proses pemanasan sebagai pelindung permukaan, kemudian spesimen didinginkan cepat menggunakan media oli. Karakterisasi mikrostruktur dilakukan menggunakan mikroskop metalografi pada pembesaran 50x & 100x, sedangkan sifat mekanik dievaluasi melalui pengujian kekerasan metode Vickers. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa penambahan natrium tetraborat menghasilkan pembentukan fasa martensit yang lebih dominan dan lebih homogen dibandingkan spesimen tanpa perlakuan. Lapisan oksida pada permukaan spesimen juga berkurang sehingga proses transformasi fasa berlangsung lebih optimal. Nilai kekerasan meningkat dari 450 menjadi 540 HV mengalami peningkatan sebesar 20% dibandingkan spesimen tanpa penambahan natrium tetraborat. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penambahan natrium tetraborat pada proses perlakuan panas memberikan pengaruh positif terhadap pembentukan mikrostruktur martensit, mengurangi oksidasi selama pemanasan, serta meningkatkan kekerasan kawat seling sehingga lebih sesuai digunakan sebagai material pisau mesin pencacah rumput.

Kata Kunci: Natrium tetraborat, Mikrostruktur, Martensit, Kawat seling, Pisau pencacah rumput

I. PENDAHULUAN

Bidang pertanian dan peternakan memiliki peranan penting dalam meningkatkan produktivitas dan efisiensi kerja [1]. Seiring dengan

meningkatnya kebutuhan pakan ternak, khususnya hijauan, penggunaan peralatan mekanis menjadi solusi yang banyak diterapkan oleh petani dan peternak [2]. Salah satu peralatan yang umum

digunakan adalah mesin pencacah rumput. Mesin ini berfungsi untuk mencacah rumput atau hijauan menjadi ukuran yang lebih kecil dan seragam sehingga memudahkan proses pemberian pakan serta meningkatkan daya cerna ternak [3] [4]. Keberhasilan proses pencacahan sangat dipengaruhi oleh kinerja mesin, terutama pada komponen utama berupa pisau pencacah [5]. Kinerja mesin pencacah sangat dipengaruhi oleh kualitas pisau sebagai komponen utama yang bekerja secara langsung dalam proses pemotongan [6]. Selama pengoperasian, pisau menerima beban mekanik, gesekan berulang, serta beban kejut akibat kontak dengan material, sehingga memerlukan kekerasan, ketahanan aus, dan ketangguhan yang tinggi [6]. Pisau mesin pencacah rumput merupakan komponen yang bekerja secara langsung dalam proses pemotongan dan pencacahan material [4]. Selama pengoperasian, pisau mengalami beban mekanik yang cukup tinggi, gesekan berulang, serta beban kejut akibat kontak langsung dengan rumput atau material lain yang tercampur [3] [4]. Kondisi kerja tersebut menuntut pisau pencacah memiliki sifat mekanik yang baik, seperti kekerasan tinggi, ketahanan aus, serta kekuatan yang memadai. Pisau dengan kualitas yang rendah akan cepat tumpul, mudah aus, dan berpotensi mengalami kerusakan, sehingga menurunkan kinerja mesin dan meningkatkan biaya perawatan [5].

Material pisau pencacah umumnya menggunakan baja karbon atau baja perkakas karena memiliki sifat mekanik yang baik [2]. penggunaan material tersebut pada industri kecil dan bengkel lokal sering terkendala oleh harga, ketersediaan bahan, dan biaya proses manufaktur. diperlukan material alternatif yang lebih ekonomis tanpa mengurangi performa mekaniknya [2]. Salah satu material yang berpotensi dimanfaatkan adalah kawat seling baja karbon tinggi, yang memiliki kandungan karbon cukup tinggi sehingga berpotensi membentuk struktur martensit setelah perlakuan panas yang tepat. Material pisau pencacah rumput menjadi faktor utama yang menentukan kualitas dan umur

pakai pisau [1] [2]. Pisau pencacah dibuat dari baja karbon atau baja perkakas yang memiliki sifat mekanik unggul dalam praktik di lapangan, khususnya pada industri kecil dan bengkel lokal, penggunaan material standar sering terkendala oleh ketersediaan bahan dan biaya produksi yang relatif tinggi [5] [6]. Kondisi ini mendorong pemanfaatan material alternatif yang lebih ekonomis dan mudah diperoleh, salah satunya adalah kawat seling. Kawat seling memiliki kandungan karbon yang relatif tinggi dan struktur material yang berpotensi menghasilkan sifat mekanik yang baik apabila diproses dengan perlakuan yang tepat [7].

Potensi sebagai bahan alternatif, kualitas kawat seling sebagai pisau pencacah rumput sangat dipengaruhi oleh proses manufaktur, terutama perlakuan panas [8]. Perlakuan panas merupakan proses penting dalam rekayasa material yang bertujuan untuk mengubah struktur mikro logam sehingga diperoleh sifat mekanik yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi [6] [7]. Proses ini melibatkan pemanasan material hingga suhu tertentu, penahanan pada suhu tersebut, dan pendinginan dengan laju tertentu [9] [10]. Ketidaktepatan dalam proses perlakuan panas dapat menyebabkan terbentuknya mikrostruktur yang tidak homogen, meningkatnya oksidasi, serta menurunnya sifat mekanik material [10] [11]. Oksidasi terjadi akibat reaksi antara logam dan oksigen pada suhu tinggi, yang menghasilkan lapisan oksida pada permukaan material [7]. Lapisan oksida ini tidak hanya menurunkan kualitas permukaan, tetapi juga dapat menghambat perpindahan panas dan memengaruhi pembentukan mikrostruktur di dalam material. Pada kawat seling, oksidasi yang berlebihan dapat berdampak negatif terhadap kekerasan dan ketahanan aus hasil perlakuan panas [12].

Bahan tambahan yang mampu melindungi permukaan logam selama proses pemanasan. Salah satu bahan yang umum digunakan adalah natrium tetraborat atau boraks [13]. Natrium tetraborat berfungsi sebagai fluks yang mampu mengikat oksida, membersihkan permukaan logam, serta mengurangi kontak langsung antara material dan

udara selama proses pemanasan. Penggunaan natrium tetraborat diharapkan dapat menciptakan kondisi pemanasan yang lebih terkendali dan mendukung pembentukan mikrostruktur yang diinginkan [14]. Dalam pembuatan pisau mesin pencacah rumput dari kawat seling, penambahan natrium tetraborat diharapkan memberikan pengaruh positif terhadap perubahan mikrostruktur material. Mikrostruktur merupakan susunan fasa dan butir dalam material yang sangat menentukan sifat mekaniknya [12] [13]. Salah satu mikrostruktur yang diharapkan terbentuk adalah martensit, yaitu fasa keras yang terbentuk akibat pendinginan cepat dari fasa austenit pada baja berkadar karbon tertentu [10] [11]. Keberadaan martensit berkaitan erat dengan peningkatan kekerasan dan ketahanan aus, yang sangat dibutuhkan pada aplikasi pisau pencacah rumput. Pembentukan martensit yang merata sangat dipengaruhi oleh kondisi pemanasan, laju pendinginan, serta kondisi permukaan material [8]. Penambahan natrium tetraborat selama proses pemanasan diduga mampu mengurangi oksidasi dan menghasilkan kondisi permukaan yang lebih bersih, sehingga transformasi fasa dapat berlangsung secara lebih optimal. Mikrostruktur martensit yang terbentuk diharapkan lebih homogen dan memberikan peningkatan kualitas material [8].

Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada penerapan natrium tetraborat sebagai media pelindung selama proses perlakuan panas pada material kawat seling yang digunakan sebagai pisau pencacah rumput, serta evaluasi keterkaitannya terhadap homogenitas mikrostruktur martensit dan peningkatan kekerasan material. Pendekatan ini diharapkan dapat menjadi alternatif proses perlakuan panas yang sederhana, ekonomis, dan efektif untuk meningkatkan umur pakai komponen pemotong.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan natrium tetraborat terhadap perubahan mikrostruktur kawat seling pada proses pembuatan pisau mesin pencacah rumput, dengan fokus pada pembentukan struktur martensit dan kualitas material yang dihasilkan. Hasil penelitian

ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam bidang material dan proses manufaktur, serta menjadi referensi bagi pengembangan pisau pencacah rumput yang lebih tahan lama, efisien, dan ekonomis.

II. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk menganalisis pengaruh penambahan natrium tetraborat terhadap perubahan mikrostruktur dan kekerasan kawat seling sebagai bahan alternatif pisau mesin pencacah rumput. Material yang digunakan berupa kawat seling baja karbon tinggi dengan diameter 6 mm. Berdasarkan spesifikasi pabrikan, material mengandung karbon sekitar 0,70–0,80% C. Kawat seling dipotong menjadi spesimen berukuran 100 mm dan dibersihkan dari kotoran maupun minyak sebelum proses perlakuan panas [3] [4]. Penelitian menggunakan dua kelompok perlakuan, yaitu spesimen tanpa penambahan natrium tetraborat sebagai kontrol dan spesimen dengan penambahan natrium tetraborat sebanyak 80 g yang melapisi permukaan selama proses pemanasan. Masing-masing kelompok terdiri atas tiga spesimen sehingga jumlah spesimen yang diuji sebanyak enam buah [3] [4].

Sebelum perlakuan panas, kawat seling ditempa untuk membentuk geometri pisau pencacah rumput. Penempaan dilakukan pada temperatur sekitar 850 °C hingga diperoleh bentuk yang diinginkan, kemudian spesimen dipanaskan kembali (*austenisasi*) pada temperatur 850 °C dengan waktu tahan 60 menit. Selanjutnya spesimen didinginkan cepat menggunakan media oli mineral yang berada pada temperatur ruang sekitar 30 °C hingga mencapai temperatur lingkungan [9]. Setelah proses pendinginan, seluruh spesimen dipreparasi untuk pengamatan metalografi melalui proses mounting, penggerindaan menggunakan kertas amplas silikon karbida bertingkat 240, 400, 600, 800, 1000, dan 1200 grit, dilanjutkan pemolesan menggunakan pasta alumina hingga permukaan mengilap. Proses etsa menggunakan larutan Nital 2% (2 mL HNO₃ dalam 98 mL etanol) selama 5–10 detik, kemudian spesimen dibilas dengan etanol dan dikeringkan [9].

Pengamatan mikrostruktur dilakukan menggunakan mikroskop metalografi dengan pembesaran $50\times$ dan $100\times$. Setiap spesimen diamati pada sedikitnya tiga bidang pengamatan untuk memperoleh mikrostruktur yang representatif. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode Vickers dengan beban 10 kgf dan waktu penekanan 15 detik. Pada setiap spesimen dilakukan tiga titik pengujian, kemudian nilai kekerasan dirata-ratakan sebagai hasil pengujian. Data mikrostruktur dianalisis berdasarkan perubahan fasa yang terbentuk setelah perlakuan panas, sedangkan data kekerasan dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan nilai rata-rata spesimen tanpa perlakuan dan spesimen yang diberi penambahan natrium tetraborat untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap sifat material [8].

Pendekatan ini dipilih karena mampu memberikan data yang terukur dan akurat mengenai hubungan antara perlakuan material dengan karakteristik struktur mikro yang dihasilkan. Proses penelitian diawali dengan persiapan bahan baku kawat seling, kemudian dilakukan penambahan natrium tetraborat pada saat proses pemanasan dan penempaan [5]. Spesimen yang telah melalui perlakuan diuji menggunakan analisis metalografi untuk mengamati perubahan struktur mikro yang terjadi [8] [9]. Hasil pengamatan kemudian dibandingkan untuk mengetahui pengaruh variasi perlakuan terhadap kualitas material. Dengan metode ini, diharapkan diperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai efektivitas natrium tetraborat dalam meningkatkan sifat material pisau hasil tempa [9].

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kampung Margasari, Kecamatan Curug, Kabupaten Tangerang, Provinsi Banten. Pemilihan lokasi didasarkan pada ketersediaan fasilitas kerja, peralatan pendukung, serta kondisi lingkungan yang merepresentasikan proses pembuatan pisau mesin pencacah rumput pada bengkel atau industri kecil menengah. Waktu penelitian dilaksanakan sesuai dengan tahapan eksperimen, mulai dari persiapan

bahan, proses perlakuan panas, hingga pengujian mikrostruktur.

B. Bahan Penelitian

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah kawat seling baja yang umum digunakan sebagai material alternatif pembuatan pisau mesin pencacah rumput. Selain itu, bahan pendukung yang digunakan meliputi:

1. Natrium tetraborat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) sebagai bahan tambahan yang diaplikasikan selama proses pemanasan, terlihat gambar 1



Gambar 1. Natrium Tetraborat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$)

Natrium tetraborat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) digunakan dalam penelitian ini sebagai bahan tambahan yang diaplikasikan selama proses pemanasan kawat seling [10], [11]. Bahan ini berfungsi sebagai fluks yang mampu melindungi permukaan material dari oksidasi pada suhu tinggi. Selama proses perlakuan panas, natrium tetraborat akan meleleh dan membentuk lapisan pelindung pada permukaan kawat seling, sehingga mengurangi reaksi antara logam dan oksigen di lingkungan pemanasan.

2. Media pendingin (air) untuk proses pendinginan cepat,
3. Bahan etsa untuk pengujian metalografi, seperti larutan nital, terlihat pada gambar 2.2



Gambar 2. Nital

Bahan etsa yang digunakan dalam pengujian metalografi pada penelitian ini adalah larutan nital, yaitu campuran asam nitrat (HNO_3) dan alkohol (umumnya etanol) dengan konsentrasi tertentu[4]. Larutan nital berfungsi untuk menampakkan struktur mikro logam yang tidak terlihat secara jelas setelah proses pengamplasan dan pemolesan. Proses etsa bekerja dengan cara melarutkan secara selektif bagian permukaan logam, sehingga perbedaan fasa, batas butir, dan morfologi struktur mikro dapat terlihat dengan jelas di bawah mikroskop metalografi.

C. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Tungku atau alat pemanas untuk proses perlakuan panas, terlihat gambar 3



Gambar 3. *Furnace*

Tungku atau alat pemanas digunakan dalam penelitian ini sebagai sarana utama untuk melakukan proses perlakuan panas pada kawat seling. Peralatan ini berfungsi untuk memanaskan spesimen hingga mencapai suhu austenisasi yang diperlukan agar terjadi transformasi fasa pada material baja. Pengendalian suhu dan waktu pemanasan merupakan aspek penting dalam proses ini, karena sangat memengaruhi keberhasilan pembentukan struktur mikro yang diinginkan.

2. Alat penjepit digunakan untuk menahan dan menstabilkan benda kerja selama proses perlakuan, sehingga posisi material tetap tetap

dan aman saat dilakukan pemanasan maupun penempaan.

3. Gerinda dan mesin potong digunakan dalam tahap persiapan spesimen untuk membentuk dan memotong material sesuai dengan dimensi yang dibutuhkan dalam penelitian. Proses ini bertujuan untuk memperoleh sampel yang representatif serta memiliki ukuran dan bentuk yang seragam sehingga memudahkan tahap pengujian selanjutnya, terlihat gambar 4



Gambar 4. *Gerinda Potong Spesimen*

Gerinda dan mesin potong digunakan dalam penelitian ini untuk proses persiapan spesimen kawat seling sebelum dilakukan perlakuan panas dan pengujian metalografi. Mesin potong berfungsi untuk memotong kawat seling sesuai dengan ukuran dan dimensi yang telah ditentukan agar setiap spesimen memiliki keseragaman bentuk dan panjang[5], [6]. Keseragaman spesimen sangat penting untuk meminimalkan variasi hasil yang disebabkan oleh perbedaan dimensi material. gerinda digunakan untuk merapikan permukaan spesimen setelah proses pemotongan, menghilangkan bagian yang tidak rata, serta membersihkan sisa-sisa oksida atau kotoran pada permukaan material.

4. Peralatan metalografi, seperti mesin amplas dan poles,
5. Mikroskop metalografi untuk pengamatan struktur mikro.

D. Prosedur Penelitian

Tahapan penelitian diawali dengan persiapan spesimen kawat seling yang dipotong sesuai ukuran yang ditentukan. Selanjutnya, spesimen dibersihkan

dari kotoran dan minyak sebelum dilakukan proses perlakuan panas. Natrium tetraborat kemudian diaplikasikan pada permukaan kawat seling sebelum atau selama proses pemanasan. Spesimen dipanaskan hingga mencapai suhu austenisasi, kemudian ditahan pada suhu tersebut selama waktu tertentu agar terjadi transformasi fasa yang merata. Spesimen didinginkan secara cepat menggunakan media pendingin untuk memicu pembentukan struktur martensit. Sebagai pembanding, disiapkan pula spesimen tanpa penambahan natrium tetraborat dengan perlakuan panas yang sama.

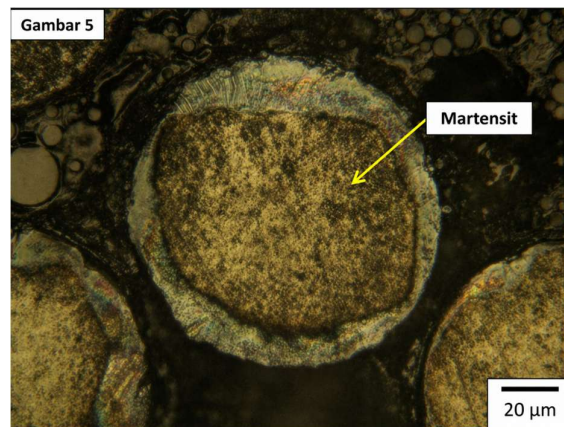
E. Pengujian dan Analisis Mikrostruktur

Spesimen yang telah diberi perlakuan kemudian dipersiapkan untuk pengujian mikrostruktur melalui proses pengamplasan, pemolesan, dan etsa. Pengamatan mikrostruktur dilakukan menggunakan mikroskop metalografi untuk mengidentifikasi fasa yang terbentuk dan mengevaluasi homogenitas struktur mikro[4], [5]. Analisis difokuskan pada perbandingan struktur mikro antara spesimen dengan dan tanpa penambahan natrium tetraborat, khususnya pada pembentukan fasa martensit. Data hasil pengamatan mikrostruktur dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan karakteristik mikrostruktur yang terbentuk pada setiap spesimen. Hasil analisis digunakan untuk menarik kesimpulan mengenai pengaruh penambahan natrium tetraborat terhadap perubahan mikrostruktur dan kualitas kawat seling sebagai material pisau mesin pencacah rumput.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan mikrostruktur dilakukan menggunakan mikroskop metalografi pada pembesaran $50\times$ dan $100\times$ setelah spesimen melalui proses preparasi berupa pengamplasan, pemolesan, dan etsa menggunakan larutan Nital 2%. Tujuan pengamatan adalah membandingkan perubahan mikrostruktur kawat seling tanpa penambahan natrium tetraborat dan dengan penambahan natrium tetraborat setelah perlakuan panas. Gambar 5 memperlihatkan perbandingan mikrostruktur kedua spesimen. Pada spesimen tanpa penambahan natrium tetraborat masih tampak daerah dengan kontras yang tidak seragam.

Beberapa bagian menunjukkan struktur yang lebih terang yang diinterpretasikan sebagai ferit, sedangkan daerah yang lebih gelap diperkirakan merupakan perlit atau produk transformasi hasil perlakuan panas. Selain itu, pada permukaan spesimen masih terlihat lapisan gelap yang mengindikasikan terbentuknya oksida selama proses pemanasan. Sebaliknya, spesimen dengan penambahan natrium tetraborat menunjukkan mikrostruktur yang lebih seragam. Daerah berwarna gelap tampak lebih dominan dan tersebar lebih merata pada seluruh bidang pengamatan. Berdasarkan karakteristik morfologi hasil etsa menggunakan mikroskop optik serta mengacu pada literatur, struktur tersebut diinterpretasikan sebagai martensit hasil transformasi selama proses quenching. identifikasi fasa pada penelitian ini masih bersifat kualitatif karena hanya didasarkan pada pengamatan metalografi, terlihat gambar 5



Gambar 5. Hasil Mikrostruktur Kawat Seling

Setiap penampang kawat terlihat terpisah oleh batas antarkawat yang berwarna lebih gelap. Bagian inti penampang kawat memperlihatkan tekstur halus dengan kontras abu-abu hingga kecokelatan. Tekstur tersebut mengindikasikan keberadaan fasa ferit dan perlit atau hasil transformasi struktur akibat perlakuan panas. Ferit umumnya tampak lebih terang, sedangkan perlit tampak lebih gelap dan berbintik halus. Distribusi fasa yang relatif merata pada bagian inti menunjukkan bahwa proses pemanasan telah memungkinkan terjadinya difusi karbon secara cukup homogen.

Di sekitar tepi penampang kawat, terlihat lapisan dengan warna lebih terang dan kontras yang berbeda dibandingkan bagian inti. Zona ini dapat diinterpretasikan sebagai daerah yang mengalami pengaruh panas lebih intens, kemungkinan akibat kontak langsung dengan sumber panas selama proses pemanasan. Apabila proses diikuti dengan pendinginan cepat, area ini berpotensi membentuk struktur martensit yang ditandai dengan penampakan lebih cerah dan tekstur lebih rapat, yang berhubungan dengan peningkatan kekerasan permukaan. Pada spesimen kawat seling yang diberi penambahan natrium tetraborat selama proses pemanasan, mikrostruktur yang terbentuk menunjukkan dominasi fasa martensit yang lebih merata dan homogen.

Struktur martensit tampak lebih rapat dengan distribusi yang seragam di seluruh area pengamatan [15]. Keberadaan fasa ferrit dan perlit sangat minim dibandingkan dengan spesimen tanpa perlakuan. Batas butir terlihat lebih jelas dan terdefinisi dengan baik, menunjukkan bahwa proses transformasi fasa berlangsung secara lebih terkendali. Kondisi ini menegaskan bahwa penambahan natrium tetraborat memberikan pengaruh nyata terhadap hasil mikrostruktur kawat seling.

A. Peran Natrium Tetraborat dalam Proses Perlakuan Panas

Perbedaan mikrostruktur yang dihasilkan antara kedua variasi perlakuan tersebut menunjukkan bahwa natrium tetraborat memiliki peran penting selama proses perlakuan panas [1], [2]. Natrium tetraborat dikenal sebagai bahan fluks yang mampu melindungi permukaan logam dari oksidasi pada suhu tinggi. Pada proses pemanasan kawat seling hingga mencapai suhu austenisasi, keberadaan oksigen di lingkungan pemanasan dapat menyebabkan terbentuknya lapisan oksida pada permukaan material.

Lapisan oksida ini dapat menghambat transfer panas secara merata serta mempengaruhi difusi karbon di dalam baja. Penambahan natrium tetraborat, permukaan kawat seling terlindungi dari oksidasi berlebih sehingga kondisi permukaan menjadi lebih bersih selama proses pemanasan. Hal

ini memungkinkan panas merambat secara lebih seragam ke seluruh bagian spesimen, sehingga proses austenisasi dapat berlangsung secara optimal. Austenit yang terbentuk menjadi lebih homogen, yang pada akhirnya sangat berpengaruh terhadap keberhasilan transformasi martensitik saat dilakukan pendinginan cepat, terlihat gambar 6

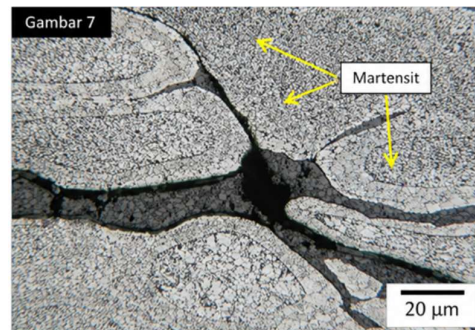


Gambar 6. Kawat Seling Setelah Proses Perlakuan Panas

Natrium tetraborat juga membantu menjaga kestabilan suhu selama proses pemanasan. Lapisan fluks yang terbentuk di permukaan material dapat mengurangi kehilangan panas secara tiba-tiba, sehingga waktu penahanan pada suhu austenisasi menjadi lebih efektif. Kondisi ini mendukung pembentukan struktur austenit yang lebih stabil sebelum dilakukan proses quenching.

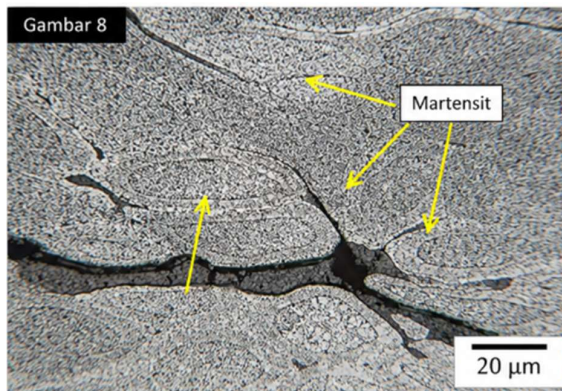
B. Pembentukan Struktur Martensit dan Kaitannya dengan Sifat Mekanik

Struktur martensit merupakan fasa yang terbentuk akibat pendinginan cepat dari fasa austenit. Martensit memiliki karakteristik kekerasan yang tinggi karena struktur kristalnya yang terdistorsi dan kandungan karbon yang terperangkap di dalam kisi kristal besi. Pembuatan pisau mesin pencacah rumput, keberadaan struktur martensit sangat diharapkan karena berkaitan langsung dengan peningkatan kekerasan dan ketahanan aus pisau, terlihat gambar 7



Gambar 7. Struktur Martensit pada Kawat Seling dengan 100x

Hasil pengamatan mikrostruktur pada penelitian ini menunjukkan bahwa spesimen dengan penambahan natrium tetraborat memiliki dominasi struktur martensit yang lebih merata dibandingkan spesimen tanpa perlakuan. Homogenitas struktur martensit yang terbentuk menunjukkan bahwa distribusi sifat mekanik material, terutama kekerasan, menjadi lebih merata di seluruh bagian pisau. Kondisi ini mengurangi potensi terjadinya konsentrasi tegangan lokal yang dapat memicu inisiasi retak atau kegagalan material. Keseragaman struktur mikro juga berkontribusi terhadap peningkatan stabilitas kinerja material saat menerima beban kerja dinamis maupun gesekan selama proses pencacahan. Homogenitas martensit tidak hanya meningkatkan ketahanan aus, tetapi juga memperpanjang umur pakai pisau secara keseluruhan. Kondisi ini sangat penting untuk mencegah terjadinya keausan yang tidak merata serta mengurangi risiko kegagalan material akibat konsentrasi tegangan pada area tertentu, terlihat gambar 8.



Gambar 8. Struktur Martensite pada Kawat Seling dengan 50x

Perbedaan morfologi antara kedua spesimen mengindikasikan bahwa natrium tetraborat berperan sebagai fluks yang membantu mengurangi oksidasi permukaan selama proses pemanasan. Permukaan yang lebih bersih memungkinkan proses pemanasan berlangsung lebih merata sehingga transformasi austenit menjadi martensit selama pendinginan cepat berlangsung lebih homogen. Interpretasi ini didukung oleh berkurangnya area gelap akibat oksida pada spesimen yang diberi

natrium tetraborat dibandingkan spesimen kontrol. Gambar 7 dan Gambar 8 memperlihatkan pembesaran mikrostruktur pada 100× dan 50×. Struktur yang diinterpretasikan sebagai martensit tampak memiliki morfologi yang lebih rapat dibandingkan struktur pada spesimen kontrol. Untuk memperjelas interpretasi tersebut, gambar sebaiknya dilengkapi dengan skala (scale bar), tanda panah atau lingkaran yang menunjukkan daerah martensit, batas butir, serta area oksida sehingga pembaca dapat membedakan karakteristik masing-masing fasa dengan lebih mudah. Penelitian ini belum melakukan pengukuran fraksi fasa, ukuran butir, ketebalan lapisan oksida, maupun analisis citra digital sehingga pembahasan masih bersifat deskriptif. Hasil penelitian hanya menunjukkan adanya indikasi perubahan mikrostruktur akibat penambahan natrium tetraborat.

C. Pengaruh Homogenitas Mikrostruktur terhadap Kualitas Pisau

Homogenitas mikrostruktur merupakan salah satu faktor kunci yang menentukan kualitas dan umur pakai pisau mesin pencacah rumput [3] [4]. Mikrostruktur yang tidak merata dapat menyebabkan perbedaan sifat mekanik antar bagian material, yang pada akhirnya memicu terjadinya retak mikro atau deformasi plastis lokal. Dalam jangka panjang, kondisi ini dapat mempercepat kerusakan pisau dan menurunkan efisiensi mesin pencacah. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan natrium tetraborat mampu meningkatkan homogenitas mikrostruktur kawat seling. Struktur martensit yang terbentuk secara merata memberikan indikasi bahwa material memiliki distribusi kekerasan yang lebih seragam.

Hal ini sangat menguntungkan untuk aplikasi pisau mesin pencacah rumput, karena pisau harus mampu menahan gaya potong dan gesekan yang tinggi secara terus-menerus. Kondisi permukaan yang lebih bersih akibat berkurangnya oksidasi juga berkontribusi terhadap peningkatan kualitas akhir pisau. Permukaan yang bebas dari lapisan oksida cenderung memiliki ikatan mikrostruktur yang lebih baik, sehingga mengurangi potensi terjadinya cacat

permukaan yang dapat menjadi titik awal retakan. Temuan dalam penelitian ini sejalan dengan berbagai penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa penggunaan bahan fluks, seperti natrium tetraborat, dapat meningkatkan efektivitas proses perlakuan panas pada baja karbon. Beberapa penelitian melaporkan bahwa fluks mampu mengurangi oksidasi dan dekarburisasi permukaan, sehingga kualitas mikrostruktur yang dihasilkan menjadi lebih baik. Hasil penelitian ini memperkuat temuan tersebut dengan menunjukkan bahwa penambahan natrium tetraborat secara langsung berdampak pada pembentukan martensit yang lebih homogen pada kawat seling.

Perbedaan utama penelitian ini dengan penelitian sebelumnya terletak pada penggunaan kawat seling sebagai bahan alternatif pisau mesin pencacah rumput. Kebaruan tersebut didukung oleh hasil pengujian kekerasan pada Tabel 1. yang menunjukkan peningkatan nilai kekerasan rata-rata setelah perlakuan panas dengan penambahan natrium tetraborat. Hasil ini membuktikan bahwa kawat seling sebagai material alternatif mampu menghasilkan sifat mekanik yang kompetitif, sehingga berpotensi menjadi material berbiaya rendah dengan performa yang sesuai untuk aplikasi pisau mesin pencacah rumput.

Tabel 1. Hasil Uji kekerasan

Variasi Perlakuan	P1 (HV)	P2 (HV)	P3 (HV)	P4 (HV)	P5 (HV)	Rata-rata $\pm$ SD (HV)
Tanpa $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	545	551	548	553	547	548,8 $\pm$ 3,19
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 5%	562	567	564	569	565	565,4 $\pm$ 2,70
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 10%	578	582	585	581	584	582,0 $\pm$ 2,74
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 15%	596	601	599	603	598	599,4 $\pm$ 2,70

Tabel 1. menunjukkan bahwa penambahan natrium tetraborat selama proses perlakuan panas memberikan kecenderungan peningkatan nilai kekerasan material. Spesimen tanpa penambahan natrium tetraborat memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar $548,8 \pm 3,19$ HV, sedangkan penambahan natrium tetraborat sebesar 5%, 10%, dan 15%

meningkatkan kekerasan berturut-turut menjadi $565,4 \pm 2,70$ HV, $582,0 \pm 2,74$ HV, dan $599,4 \pm 2,70$ HV. Nilai simpangan baku yang relatif kecil menunjukkan bahwa hasil pengukuran memiliki tingkat konsistensi yang baik dan pembentukan mikrostruktur pada setiap spesimen berlangsung relatif homogen.

D. Implikasi Praktis dan Keterbatasan Penelitian

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan natrium tetraborat berpotensi diterapkan pada proses pembuatan pisau mesin pencacah rumput, khususnya pada skala bengkel atau industri kecil menengah. Penggunaan bahan tambahan ini relatif sederhana dan tidak memerlukan peralatan yang kompleks. Berdasarkan hasil pengamatan mikrostruktur, penambahan natrium tetraborat menunjukkan perubahan karakteristik struktur material yang mengarah pada pembentukan fasa martensit.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, terutama karena analisis masih terbatas pada pengamatan mikrostruktur dan belum didukung oleh pengujian sifat mekanik, seperti uji kekerasan maupun uji keausan. Kesimpulan mengenai peningkatan performa material masih perlu dikaji lebih lanjut melalui pengujian eksperimental dan analisis statistik untuk memperoleh hubungan yang lebih kuat antara perubahan struktur mikro dan sifat mekaniknya. Berdasarkan hasil analisis mikrostruktur, penambahan natrium tetraborat memberikan indikasi adanya perubahan positif terhadap struktur mikro kawat seling pada proses pembuatan pisau mesin pencacah rumput. Dominasi dan distribusi struktur martensit yang terbentuk dapat menjadi indikator awal terhadap potensi peningkatan karakteristik material. verifikasi terhadap performa material dalam aplikasi nyata masih memerlukan pengujian lanjutan. Penelitian ini memberikan kontribusi awal dalam mengeksplorasi pemanfaatan kawat seling sebagai material alternatif untuk pisau mesin pencacah rumput melalui pendekatan perlakuan panas yang terkendali.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengamatan mikrostruktur, penambahan natrium tetraborat pada proses perlakuan panas kawat seling menunjukkan adanya perbedaan morfologi mikrostruktur dibandingkan dengan spesimen tanpa penambahan natrium tetraborat. Spesimen yang diberi natrium tetraborat memperlihatkan struktur yang tampak lebih homogen dan didominasi oleh morfologi yang diinterpretasikan sebagai martensit berdasarkan hasil pengamatan metalografi.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa penggunaan natrium tetraborat berpotensi mengurangi oksidasi permukaan selama proses pemanasan sehingga proses transformasi mikrostruktur diduga berlangsung lebih merata. identifikasi fasa pada penelitian ini masih didasarkan pada pengamatan mikroskop optik sehingga memerlukan verifikasi lebih lanjut menggunakan metode karakterisasi yang lebih komprehensif.

Berdasarkan temuan tersebut, natrium tetraborat memiliki potensi untuk digunakan sebagai fluks pada proses perlakuan panas kawat seling yang dimanfaatkan sebagai material alternatif pisau mesin pencacah rumput. penelitian ini belum dapat menyimpulkan adanya peningkatan kekerasan, ketahanan aus, kinerja, maupun umur pakai material karena parameter tersebut belum diuji secara langsung dan belum didukung oleh analisis statistik. Penelitian selanjutnya disarankan melengkapi pengamatan mikrostruktur dengan pengujian kekerasan, uji keausan, analisis fraksi fasa, pengukuran ukuran butir, serta analisis statistik agar hubungan antara perubahan mikrostruktur dan sifat mekanik material dapat dibuktikan secara kuantitatif.

REFERENSI

- [1] G. Aji Prayoga, I. Saefuloh, and A. Pramono, "Pengaruh Susunan Kawat dan Plat Baja pada Aluminium Matrix Composites terhadap Uji Mekanik dan Uji Balistik," Nov. 2020. [Online]. Available: <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayas> a <https://doi.org/10.32497/jrm.v15i3.1988>
- [2] W. S. Adi Purwito, "Analisis Kekuatan Tarik Dan Mikro Struktur Pada Sambungan Las Dengan Variasi Kampuh K Dan X," *Al-Faqih: Jurnal Ilmu Sosial, Humaniora, Teknik*, vol. 4, no. 1, pp. 86–100, Aug. 2025. DOI:10.22441/jtm.v9i2.6199
- [3] S. S. Fredek Demianus Balubun, "Pengaruh austemper ductile iron terhadap kekerasan dan Struktur mikro ductile cast iron (fcd-45)," Nov. 2018. DOI: <https://doi.org/10.24127/armatur.v6i2.9285>
- [4] H. Ahyadi and U. Panjaitan2, "Pengaruh quenching terhadap kekuatan Golok produksi ciseeng-bogor," Nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.55606/jurritek.v5i1.7562>
- [5] A. N. Ramadhani, E. Y. Setyawan, and T. A. Sutrisno, "Pengaruh Variasi Suhu Pada Perlakuan Carburizing Baja AISI 1042 terhadap Pengujian Mekanik dan Struktur Mikro," *Jurnal Mesin Material Manufaktur dan Energi Oktober 2025*, vol. 5, no. 2, pp. 211–216, Nov. 2025, [Online]. DOI: 10.33322/powerplant.v4i1.828
- [6] E. Wahyu Restu *et al.*, "Pengaruh Variasi Temperatur dan Waktu Tahan Post Weld Heat Treatment pada Kekerasan Material A335 Grade P92 untuk Aplikasi Pembangkit Listrik," *Jurnal Teknologi Maritim*, vol. 8, no. 1, pp. 42–48, Jan. 2025, doi: 10.35991/jtm.v8i1.50.
- [7] S. Herbirowo, M. Nur Hanafi, A. Imaduddin, E. Priyanto Utomo, A. Trenggono, and E. Yustanti, "Pengaruh Doping Nikel dan Suhu Sinter pada Pembuatan Kawat Superkonduktor Magnesium Diborida," Nov. 2020. <https://doi.org/10.13057/ijap.v10i2.34984>
- [8] R. Safitri, "Deteksi Kandungan Boraks dengan Kunyit (Curcuma Longa Linn.) pada Jajanan Bakso di Kawasan Pekenan," *JURNAL KEBIDANAN KESTRA (JKK)*, vol. 7, no. 1, pp. 52–58, Oct. 2024, doi: 10.35451/jkk.v7i1.2347.
- [9] A. Wijaya, H. Sutanto, and S. Tobing, "Optimasi Sudut Die, Rasio Reduksi, dan Panjang Bearing terhadap Tegangan

- Penarikan Kawat Aluminium dengan Finite Element Method,” Nov. 2025. <https://doi.org/10.55606/jurritek.v5i1.6896>
- [10] M. A. Pratama and I. N. Rohmah, “Media medika muda pengaruh pemberian boraks dengan dosis bertingkat terhadap perubahan makroskopis dan mikroskopis ginjal tikus wistar selama 4 minggu,” Nov. 2019. <https://doi.org/10.55606/jurritek.v5i1.7105>
- [11] A. A. Taruma Panjalu and A. Windyandari, “Studi Perbandingan Arus Pengelasan FCAW Pada Sambungan Stainless Steel 304 dengan Baja ASTM A36 Uji Tekuk, Uji Tarik, dan Uji Mikrostruktur,” *Journal of Applied Mechanical Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 110–115, Dec. 2025, doi: 10.31884/journalofappliedmechanicaltechnology.v4i2.310.
- [12] M. A. P. S. , R. K. D. O. R. Fadilah Rizky Damayanti1, “Optimalisasi Boraks Sebagai Bahan Pelapis Tahan Api Pada Kayu Lapis,” *KOLONI: Jurnal Multidisiplin Ilmu*, no. 1, pp. 144–153, Nov. 2024. <https://doi.org/10.31004/koloni.v3i2.632>
- [13] L. Supu, E. J. Rumayomi, and R. A. Fabanyo, “Edukasi Dan Test Formalin, Zat Pewarna, dan Boraks (Natrium Tetraborat) Pada Makanan Jajanan Anak Sekolah Dasar Negeri 36 Perumnas dan Sekolah Dasar Moria Kota Sorong,” *Jurnal Kreativitas Pengabdian Kepada Masyarakat (PKM)*, vol. 7, no. 1, pp. 368–382, Jan. 2024, doi: 10.33024/jkpm.v7i1.12870.
- [14] R. Endara Safitri, R. Eka, E. Susanti, and R. Article, “Analisis kandungan boraks pada camilan ringan di Kampus uniba menggunakan ekstrak bunga telang (*clitoria ternatea* l.),” 2023. <https://doi.org/10.36526/jc.v5i1.2598>
- [15] R. Evan Audrey and P. Hadi Setyarini, “Pengamatan Metalografi Baja Jis S20c Terkait Fenomena Perubahan Mikrostruktur Hasil Low Pressure Gas Carburizing (Lpgc),” *Simposium Nasional RAPI XXIII – 2024 FT UMS*, no. 1, Dec. 2024. DOI : <https://doi.org/10.55606/jurritek.v5i1.7076>