

Optimasi proses *heat treatment* pada pisau untuk meningkatkan kekerasan

*Optimization of the heat treatment process for knives
to increase hardness*

SKRIPSI

Oleh:

Nama: Rijal Naufal Hafiyyan

NPM: 193030052



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2026**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

N a m a : Rijal Naufal Hafiyyan

Nomor Pokok Mahasiswa : 193030052

Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Dalam Skripsi yang saya kerjakan ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan/ditulis oleh orang lain untuk memperoleh gelar dari suatu perguruan tinggi,
2. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu/dikutip/disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam referensi,
3. Naskah laporan skripsi yang ditulis bukan dilakukan secara *copy paste* dari karya orang lain dan mengganti beberapa kata yang tidak perlu.
4. Naskah laporan skripsi bukan hasil plagiarisme.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar maka saya sanggup menerima hukuman/sanksi apapun sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung, 23 Juni 2026

Penulis,

Materai 10.000

Rijal Naufal Haffiyan

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini, sebagai sivitas akademik Universitas Pasundan, saya:

N a m a: Rijal Naufal Hafiyyan

NPM: 193030052

Program Studi: Teknik Mesin FT UNPAS

Jenis Karya: Skripsi

Menyatakan bahwa sebagai pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, saya menyetujui memberikan kepada Universitas Pasundan Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Optimasi proses *heat treatment* pada pisau untuk meningkatkan kekerasan”

Beserta perangkat yang ada (jika ada). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pasundan berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pakalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Bandung, 23 Juni 2026

Yang menyatakan,

Materai 10.000

Rijal Naufal Hafiyyan

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Optimasi proses *heat treatment* pada pisau untuk meningkatkan kekerasan



Nama: Rijal Naufal Hafiyan
NPM: 193030052

Pembimbing Utama

Dr. Ir. H. Dedi Lazuardi, DEA.

Pembimbing Pendamping

Ir. Agus Sentana, M.T.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Optimasi proses *heat treatment* pada pisau untuk meningkatkan kekerasan



Nama: Rijal Naufal Hafiyyan
NPM: 193030052

Tanggal sidang skripsi:

Ketua : Dr. Ir. H. Dedi Lazuardi, DEA.

Sekretaris : Ir. Agus Sentana, M.T.

Anggota : Dr. Ir. Endang Achdi, M.T.

Anggota : Mohammad Reza Hermawan, S.T, M.T.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu Wata'ala, Tuhan yang Maha Esa, atas rahmat, hidayah dan karunianya yang telah mendampingi kita semua. Berkat limpahan kasihnya, penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul:

“Optimasi proses heat treatment pada pisau untuk meningkatkan kekerasan”

Salawat dan salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW. Saat ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, baik secara moril maupun materi, sehingga laporan skripsi ini dapat diselesaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Sugiharto, M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Pasundan.
2. Bapak Dr. Ir. H. Dedi Lazuardi, DEA. sebagai pembimbing utama Skripsi, telah memberikan bimbingan dan pengetahuan yang berguna dalam menuntaskan laporan ini.
3. Bapak Ir. Agus Sentana, M.T. Sebagai pembimbing pendamping Skripsi, saya telah diberikan bimbingan dan pengetahuan yang bermanfaat dalam proses penyelesaian laporan ini.
4. Kedua orang tua yang tak henti-hentinya mendo'akan dan memberikan dorongan semangat kepada Penulis untuk menyelesaikan laporan ini.
5. Keluarga Teknik Mesin 2019 yang telah memberikan motivasi dan saling mengingatkan untuk menyelesaikan laporan.
6. Aira Salma Azahra yang telah mengingatkan dan selalu memberikan motivasi untuk menyelesaikan laporan.
7. Dan yang terpenting kepada keluarga besar saya yang selalu mendukung dan membantu penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini masih memiliki banyak kesalahan dan kekurangan, bahkan jauh dari kesempurnaan. Untuk itu, penulis dengan rendah hati mengharapkan kritik dan saran yang bersifat konstruktif demi perbaikan laporan skripsi ini. Atas perhatian dan masukan yang diberikan, penulis mengucapkan terimakasih.

Bandung, 23 Juni 2026

Penulis,

Rijal Naufal Hafiyyan

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN	I
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	II
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	III
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	IV
KATA PENGANTAR	V
DAFTAR ISI.....	VI
DAFTAR GAMBAR	VIII
DAFTAR TABEL.....	IX
ABSTRAK.....	X
ABSTRACT.....	XI
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1. Latar belakang.....	1
2. Rumusan masalah.....	1
3. Tujuan.....	2
4. Manfaat.....	2
5. Lingkup masalah	2
6. Sistematika penulisan	2
BAB II STUDI LITERATUR.....	4
1. Kajian pustaka.....	4
2. Heat treatment	6
3. Jenis-jenis <i>heat treatment</i>	7
A. <i>Annealing</i>	7
B. <i>Normalizing</i>	8

C. <i>Hardening</i>	9
D. <i>Tempering</i>	9
4. Material pisau.....	10
BAB III METODOLOGI	11
1. Tahapan Penelitian	11
2. Tahapan penelitian (metodologi).....	12
3. Tempat penelitian	13
4. Setup pengukuran/pengujian	13
5. Alat Ukur dan Bahan yang digunakan	14
6. Metode pengolahan data hasil pengukuran/pengujian.....	15
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	16
1. Hasil dan pembahasan.....	16
2. Pengujian metalografi	16
3. Pengujian kekerasan	17
4. Pembahasan.....	19
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	20
1. Kesimpulan	20
2. Saran.....	20
DAFTAR PUSTAKA	21
LAMPIRAN	23
1. Data hasil pengujian/pengukuran.....	23

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Proses <i>heat treatment</i>	7
Gambar 2. Proses <i>annealing</i>	8
Gambar 3. Proses <i>normalizing</i>	8
Gambar 4. Proses <i>hardening</i>	9
Gambar 5. Proses <i>tempering</i>	10
Gambar 6. Diagram alir penelitian	11
Gambar 7. Tempat penelitian.....	13
Gambar 8. Diagram fasa <i>Fe – Fe₃C</i>	15
Gambar 9. Mesin uji Mikroskop Optik OLYMPUS GX71	16
Gambar 10. Spesimen pengujian metalografi	17
Gambar 11. Hasil pengujian metalografi	17
Gambar 12. Mesin uji ZHU 250CL (Zwick Roell)	18
Gambar 13. Spesimen pengujian kekerasan.....	19
Gambar 14. Hasil uji kekerasan spesimen A.....	23
Gambar 15. Hasil uji metalografi	23
Gambar 16. Hasil uji kekerasan spesimen B	24
Gambar 17. Hasil uji metalografi spesimen B.....	24
Gambar 18. Hasil uji kekerasan spesimen C	25
Gambar 19. Hasil uji metalografi spesimen C.....	25

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Alat yang digunakan	14
Tabel 2. Bahan yang digunakan	14
Tabel 3. Hasil Pengujian.....	15
Tabel 4. Hasil uji kekerasan spesimen A.....	18
Tabel 5. Hasil uji kekerasan specimen B.....	18
Tabel 6. Hasil uji kekerasan specimen C.....	19

ABSTRAK

Pisau merupakan salah satu alat potong yang membutuhkan tingkat kekerasan tinggi agar memiliki ketahanan aus dan kemampuan pemotongan yang baik. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik pisau adalah proses perlakuan panas. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasi proses perlakuan panas pada material pisau guna memperoleh nilai kekerasan yang optimal. Metode penelitian yang digunakan meliputi proses austenitisasi pada variasi temperatur 800°C dengan waktu penahanan 20 menit, dilanjutkan dengan proses pendinginan cepat menggunakan media oli dan air selama 10 menit. Pengujian yang dilakukan meliputi uji kekerasan menggunakan metode Vickers serta pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop metalografi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur austenitisasi berpengaruh terhadap nilai kekerasan material pisau. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada spesimen yang diberi perlakuan panas pada temperatur 800°C dengan media pendingin air, yaitu sebesar 440 HV. Pengamatan struktur mikro menunjukkan terbentuknya struktur martensit yang lebih dominan setelah pendinginan cepat, sedangkan proses pemanasan kembali menghasilkan struktur martensit yang meningkatkan keseimbangan antara kekerasan dan ketangguhan material.

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa optimasi proses heat treatment mampu meningkatkan kekerasan pisau secara signifikan dibandingkan kondisi awal. Parameter perlakuan panas yang paling efektif dalam penelitian ini adalah temperatur austenitisasi 800°C, quenching menggunakan air selama 10 menit.

Kata kunci: perlakuan panas, pisau, kekerasan, struktur mikro

ABSTRACT

Knives are cutting tools that require high hardness to ensure good wear resistance and cutting performance. Heat treatment is one method used to enhance the mechanical properties of knives. This study aims to optimize the heat treatment process for knife material to achieve optimal hardness. The methodology involved austenitization at 800°C with a 20-minute holding time, followed by rapid cooling (quenching) in oil and water media for 10 minutes. Testing included hardness measurements using the Vickers method and microstructural analysis via a metallographic microscope.

The results indicate that the austenitization temperature influences the hardness of the knife material. The highest hardness value, 440 HV, was obtained in specimens heat-treated at 800°C and quenched in water. Microstructural analysis revealed the formation of a predominantly martensitic structure following rapid cooling; subsequent reheating resulted in a martensitic structure that improved the balance between the material's hardness and toughness.

In conclusion, optimizing the heat treatment process significantly increases knife hardness compared to the initial state. The most effective heat treatment parameters identified in this study were an austenitization temperature of 800°C and quenching in water for 10 minutes.

Keywords: heat treatment, knife, hardness, microstructure

BAB I PENDAHULUAN

1. Latar belakang

Perkembangan teknologi material dan manufaktur saat ini semakin meningkat seiring dengan kebutuhan industri terhadap produk logam yang memiliki kualitas tinggi. Salah satu produk logam yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari – hari maupun industri adalah pisau. Pisau merupakan alat yang banyak digunakan dalam berbagai bidang, seperti rumah tangga, industri, pengolahan makanan, pertanian, dan manufaktur. Kualitas pisau sangat dipengaruhi oleh sifat mekanik materialnya, terutama kekerasan, ketangguhan dan ketahanan aus. Salah satu metode yang digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik tersebut adalah proses *heat treatment* atau perlakuan panas.

Heat treatment merupakan proses pemanasan dan pendinginan logam dengan parameter tertentu untuk memperoleh struktur mikro dan sifat mekanik yang diinginkan. Pada material baja pisau, proses *heat treatment* umumnya meliputi *hardening*, *quenching*, dan *tempering*, serta waktu penahanan sangat menentukan hasil akhir dari kualitas pisau.

Dalam praktiknya, banyak produsen pisau masih menggunakan parameter *heat treatment* berdasarkan pengalaman tanpa adanya optimasi yang terukur. Hal ini menyebabkan kualitas produk kurang konsisten. Oleh karena itu, diperlukan penelitian mengenai optimasi proses *heat treatment* untuk memperoleh kombinasi parameter terbaik yang mampu meningkatkan performa pisau.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh variasi temperatur dan media pendinginan terhadap nilai kekerasan pisau sehingga diperoleh proses *heat treatment* yang paling optimal untuk meningkatkan kekerasan material.

2. Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a. Parameter *heat treatment* apa yang menghasilkan tingkat kekerasan paling optimal?

3. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Menentukan parameter *heat treatment* yang optimal untuk menghasilkan pisau dengan tingkat kekerasan tinggi.

4. Manfaat

Manfaat penelitian ini adalah:

- a. Memberikan rekomendasi parameter *heat treatment* yang efektif.
- b. Membantu industri pisau meningkatkan kualitas produk.

5. Lingkup masalah

Agar penelitian lebih terarah, maka lingkup penelitian ini adalah:

- a. Material yang digunakan adalah baja AISI D2.
- b. Proses *heat treatment* meliputi *hardening*.
- c. Media pendinginan yang digunakan adalah air
- d. Pengujian yang dilakukan meliputi *heat treatment*, uji kekerasan, dan struktur mikro.

6. Sistematika penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi perihal latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, sistematika penulisan.

BAB II STUDI LITERATUR

Bab ini memiliki isi tentang eksaminasi penelitian dari berbagai penelitian tentang pengujian tarik pada material komposit yang ada di jurnal-jurnal terverifikasi dan berisi tentang informasi mengenai pisau secara teoritis.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang tahapan-tahapan yang akan dilakukan pada penelitian ini serta bahan dan alat yang digunakan.

BAB IV RENCANA KEGIATAN DAN ANGGARAN

Bab ini berisi tabel rencana kegiatan dan estimasi anggaran biaya yang diperlukan untuk melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II STUDI LITERATUR

1. Kajian pustaka

Beberapa penelitian terdahulu yang dijadikan landasan acuan pada penelitian ini:

Penelitian 1, Togik Hidayat, Teguh Raharja (2019)

Penelitian yang dilakukan Togik Hidayat, Teguh Raharja pada tahun 2019 memiliki judul “Perbaikan Kualitas Mata Pisau Mesin Irat Bambu Dengan Proses *Heat treatment* Melalui Bajaf Asa Ganda”. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas mata pisau mesin irat bambu dengan mengetahui perubahan sifat mekanis melalui perubahan struktur mikro, nilai kekerasan optimal, dan kekuatan tarik maksimal. Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen menggunakan analisis skala laboratorium. Proses *heat treatment* mata pisau irat bambu dilakukan pada temperatur 725°C dengan holding time 10 menit, 20 menit, 30 menit, proses tempering pada temperatur 600°C selama 20 menit. Hasil uji struktur mikro mata pisau dengan holding time 30 menit memiliki ukuran butir logam yang lebih halus dan merata. Nilai kekerasan tertinggi adalah 59,13 HRC pada mata pisau dengan holding time 30 menit. Nilai rata-rata modulus elastisitas tertinggi adalah pada specimen dengan holding time 20 menit yaitu 6,87 N/mm² [1].

Penelitian 2, Roymons Jimmy Dimu, Denny Widhiyanuriyawan, Sugiono (2014)

Penelitian yang dilakukan Roymons Jimmy Dimu, Denny Widhiyanuriyawan, Sugiono pada tahun 2014 memiliki judul “Optimasi Hardening Baja Karbon Sedang dengan Fluida Getah Pohon Pisang Menggunakan Metode Taguchi”. Penelitian ini bertujuan Tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan kekerasan material dengan proses pengerasan. Untuk mendapatkan kombinasi faktor proses pengerasan yang optimal, penelitian ini menggunakan metode desain eksperimen Taguchi. Jenis yang digunakan adalah susunan ortogonal L9 (34) yang menghasilkan kombinasi 4 faktor dengan masing-masing faktor memiliki 3 tingkatan.

Bahan baku yang digunakan diambil dari pegas daun truk, jip, dan minibus yang merupakan baja karbon menengah dengan komposisi kimia yang berbeda. Berdasarkan suhu pemanasan yang direkomendasikan untuk proses pengerasan baja karbon menengah adalah antara 723 - 900°C maka suhu pemanasan yang digunakan adalah 723°C, 800°C, 850°C. Sedangkan untuk waktu penahanan yang direkomendasikan untuk baja karbon adalah 5-10 menit, maka waktu penahanan yang digunakan adalah 5, 7,5, 10 menit. Untuk

media pendingin yang digunakan dalam penelitian ini adalah cairan getah pohon pisang dan juga air dan minyak sebagai perbandingan. Dalam penelitian ini disajikan hasil uji kekerasan proses pengerasan dengan kombinasi perlakuan material baja pegas truk, suhu 850°C, waktu penahanan 10 menit, dan media pendingin dengan cairan getah pohon pisang untuk mendapatkan nilai kekerasan tertinggi HRC 63,03. Berdasarkan analisis metode Taguchi dapat dilihat bahwa empat faktor yang paling berpengaruh terhadap kekerasan material adalah suhu, waktu penahanan, media pendingin, dan yang paling kecil adalah material [2].

Penelitian 3, Mohamad Abdul Jaelani, M. Fajar Sidiq, Galuh Renggani Wilis (2021)

Penelitian yang dilakukan Mohamad Abdul Jaelani, M. Fajar Sidiq, Galuh Renggani Wilis pada tahun 2021 memiliki judul “Analisa Penguatan Mata Pisau Mesin Pencacah Sampah Organik Dengan Proses *Heat treatment* Bertingkat”. Penelitian ini dilakukan percobaan pada industri pembuatan pisau atau pandai besi sendiri mengalami beberapa permasalahan, diantaranya banyak konsumen yang mengeluhkan hasil ketajaman dan kekuatan dari pisau yang diproduksi. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi ketajaman dan kekuatan pisau, diantaranya adalah pada saat proses perlakuan panas (*Heat treatment*). Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan baja ST 41 sebagai materialnya. Proses karburasi menggunakan serbuk arang tempurung kelapa pada suhu 875 °C, dan dilakukan uji kekerasan dan uji keausan material dengan media quenching air garam. Nilai rata-rata uji kekerasan tertinggi dihasilkan oleh proses carburising dan hardening dengan nilai kekerasan 599,7 VHN, sedangkan nilai uji keausan terendah ditemukan pada Proses carburising dan hardening dengan nilai 0,0000767mm³ / kg.m [3].

Penelitian 4, Bukti Tarigan, Agus Sentana (2012)

Penelitian yang dilakukan Bukti Tarigan, Agus Sentana pada tahun 2012 memiliki judul “Pengaruh Waktu dan Temperatur Karbusasi Baja Karbon Rendah dengan Media Arang Batok Kelapa”. Penelitian ini dilakukan dengan karburasi. Karburasi dilakukan untuk menambah kadar karbon dipermukaan spesimen baja karbon rendah untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan gesekan. Baja karbon rendah (Low Carbon Steel) adalah salah satu baja yang paling mudah ditemukan karena banyak digunakan sebagai konstruksi yang mempunyai sifat ulet dan tangguh, tetapi harga kekerasan yang rendah. Untuk komponen tertentu yang mempunyai kekerasan permukaan yang tinggi dan tahan aus baja karbon rendah baja karbon rendah tidak dapat digunakan, kecuali baja tersebut harus ditingkatkan kadar karbonnya terutama pada bagian permukaan dengan cara karburasi. Karburasi pada penelitian ini dilakukan dengan metode karburasi padat dengan media

arang batok kelapa. Untuk mendapatkan kedalaman difusi karbon sangat dipengaruhi oleh waktu, temperature dan jenis media. Dalam penelitian ini dilakukan karburasi dengan waktu 0,5 jam sampai 3 jam dan temperature 8000 C sampai 9500C. Kedalaman difusi karbon dapat mencapai 1 mm dan setelah proses karburasi dilanjutkan dengan proses perlakuan panas (quenching) sehingga permukaan baja tersebut mencapai kekerasan 900 HV, sedangkan bahan dasarnya hanya mempunyai kekerasan maksimum 200HV [4].

Penelitian 5, A.R.N. Adzima, P. Pandiatmi, E.D. Sulistyowati (2023)

Penelitian yang dilakukan A.R.N. Adzima, P. Pandiatmi, E.D. Sulistyowati pada tahun 2023 memiliki judul “Optimasi Ketangguhan Impak dan Kekerasan Baja Karbon Menengah Sebagai Bahan Pisau Dapur Pada Proses *Heat treatment* Menggunakan Metode Response Surface”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui ketangguhan impak dan kekerasan pada baja karbon pada proses *heat treatment*. Penelitian ini menggunakan baja karbon menengah dengan memvariasikan faktor-faktor dalam proses perlakuan panas berupa suhu pemanasan (800, 850, dan 900 °C), waktu penahanan (15, 20, dan 25 menit), dan pendingin (konsentrasi larutan NaOH 15, 20, dan 25%). Metode yang digunakan untuk menemukan nilai ketangguhan dan kekerasan optimal dalam penelitian ini adalah metode Response Surface. Dari metode ini, sebuah rancangan eksperimen dirancang menggunakan rancangan Box-Behnken, dan kemudian data yang diperoleh dianalisis mengenai pengaturan suhu, waktu penahanan, dan pendingin yang tepat untuk menghasilkan baja dengan kekerasan optimal melalui aplikasi Minitab 18. Dari hasil penelitian ini, diperoleh kombinasi untuk mendapatkan kekerasan ideal untuk baja karbon menengah sebagai bahan pisau, yaitu kekerasan 55 HRC menggunakan suhu 850 °C, waktu penahanan 20 menit, dan konsentrasi NaOH 18,63%. Untuk kekerasan 56 HRC menggunakan suhu 850 °C, waktu penahanan 20 menit, dan konsentrasi NaOH 20%. Untuk kekerasan 57 HRC menggunakan suhu 850 °C, waktu penahanan 20 menit, dan konsentrasi NaOH 21,72% [5].

2. Heat treatment

Heat treatment adalah proses perlakuan panas pada logam dengan tujuan mengubah struktur mikro sehingga diperoleh sifat mekanik tertentu. Perlakuan panas dilakukan melalui tahapan pemanasan hingga temperatur tertentu, penahanan suhu, dan pendinginan dengan media tertentu [6].

Pada baja, proses *heat treatment* sangat berpengaruh terhadap perubahan struktur mikro seperti ferrite, pearlite, bainite, dan martensite. Struktur martensite merupakan struktur yang memiliki tingkat kekerasan tinggi sehingga banyak digunakan pada komponen yang membutuhkan ketahanan aus tinggi seperti pisau.

Proses *heat treatment* memengaruhi struktur mikro baja seperti martensit, bainit, dan perlit. Struktur mikro tersebut menentukan sifat mekanik material. Semakin cepat laju pendinginan, maka kekerasan cenderung meningkat karena struktur martensit. Namun pendinginan terlalu cepat dapat menyebabkan retak dan deformasi [7].



Gambar 1. Proses *heat treatment*

3. Jenis-jenis *heat treatment*

Dalam praktik industri, terdapat beberapa jenis *heat treatment* yang umum digunakan. Masing-masing memiliki tujuan dan fungsi yang berbeda sesuai dengan karakteristik material dan kebutuhan penggunaannya. [8].

A. *Annealing*

Proses *annealing* atau melunakan baja adalah proses pemanasan baja di atas temperature kritis (723°) selanjutnya dibiarkan beberapa lama sampai *temperature* merata disusul dengan pendinginan secara perlahan. *Annealing* bertujuan untuk melunakkan material dan mengurangi tegangan dalam.



Gambar 2. Proses *annealing*

B. Normalizing

Normalizing adalah suatu proses pemanasan logam hingga mencapai fase austenit yang kemudian diinginkan secara perlahan-lahan dalam media pendingin udara. Hasil pendingin ini berupa perlit dan ferit namun hasilnya jauh lebih mulus dari annealing [9]. Prinsip dari proses normalizing adalah untuk melunakkan logam. Namun pada baja karbon tinggi atau baja paduan tertentu dengan proses ini belum tentu memperoleh baja yang lunak. Mungkin berupa pengerasan dan ini tergantung dari kadar karbon. Normalizing dilakukan untuk memperbaiki struktur mikro dan meningkatkan kekuatan material.

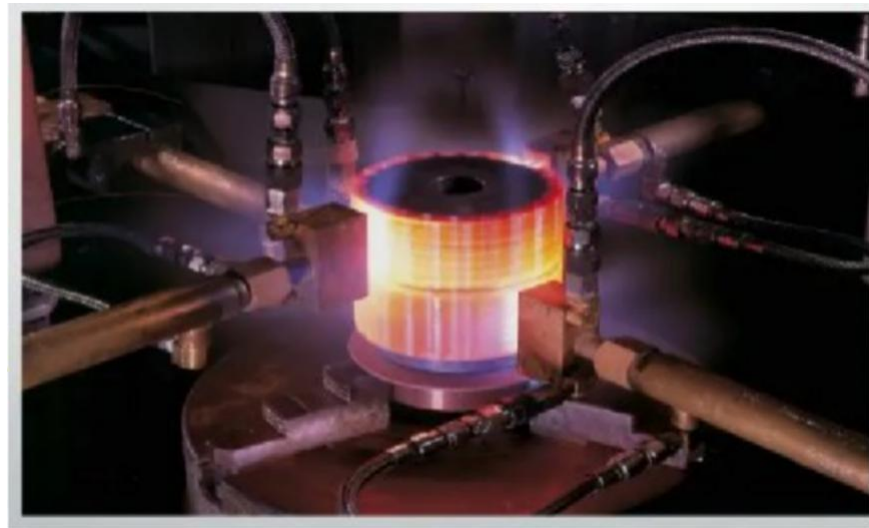


Gambar 3. Proses *normalizing*

C. Hardening

Hardening adalah perlakuan panas terhadap logam dengan meningkatkan kekerasan alami logam. Kekerasan yang dapat dicapai tergantung pada kadar karbon dalam baja dan kekerasan yang terjadi akan tergantung pada temperature pemanasan (temperature autenitising), holding time dan laju pendinginan yang dilakukan serta seberapa tebal bagian penampang yang menjadi keras tergantung pada hardenability [10].

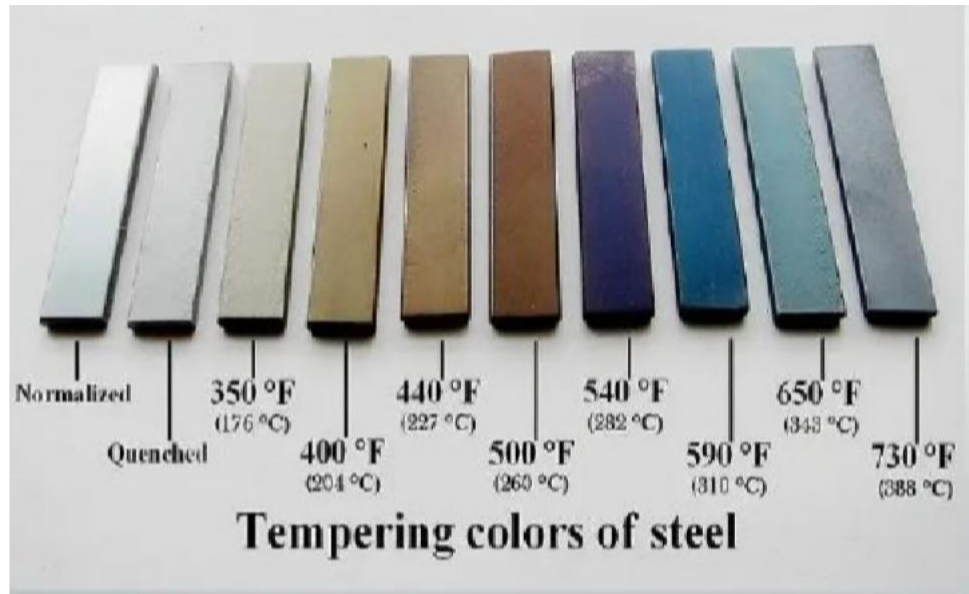
Hardening bertujuan meningkatkan kekerasan baja melalui pemanasan di atas temperatur kritis dan pendinginan cepat.



Gambar 4. Proses *hardening*

D. Tempering

Proses tempering adalah pemanasan baja sampai temperature sedikit di bawah temperature kritis, kemudian didiamkan dalam tungku dan suhunya dipertahankan sampai merata selama 15 menit [11]. Selanjutnya didinginkan dalam media pendingin. Jika kekerasan turun, maka kekuatan tarik turun pula. Dalam hal ini keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Meskipun proses ini akan menghasilkan baja yang lebih lemah. Proses ini berbeda dengan annealing karena dengan proses ini belum tentu memperoleh baja yang lunak, mungkin berupa pengerasan dan im tergantung oleh kadar karbon.



Gambar 5. Proses *tempering*

Tempering dilakukan setelah hardening untuk mengurangi kerapuhan dan meningkatkan ketangguhan.

4. Material pisau

Pisau umumnya dibuat dari baja karbon atau baja paduan karena memiliki kemampuan mempertahankan ketajaman dan kekerasan yang baik.

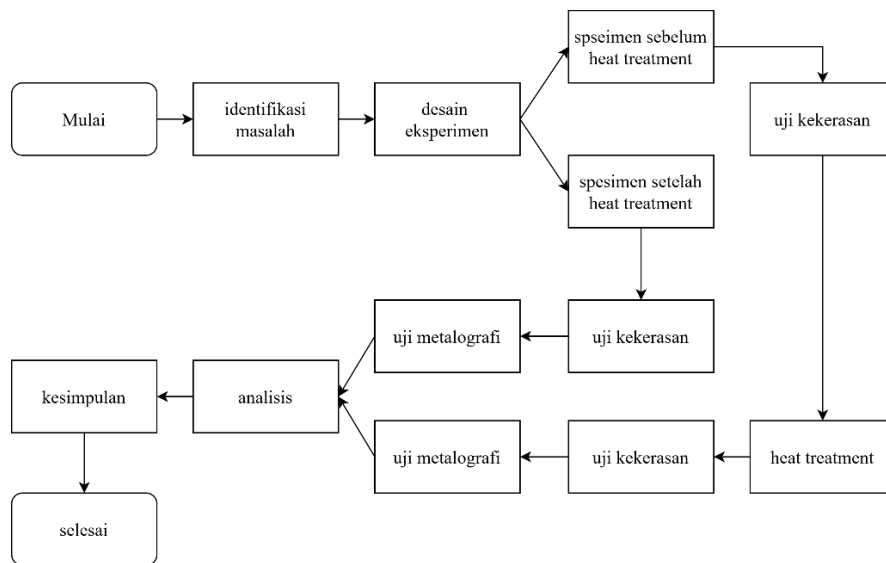
Karakteristik material pisau yang baik meliputi:

- Kekerasan tinggi
- Ketahanan aus yang baik
- Ketajaman yang tahan lama
- Struktur mikro yang stabil

BAB III METODOLOGI

1. Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini, dibuat tahapan penelitian agar lebih jelas dan terstruktur pada saat penelitian dilakukan. Ada beberapa tahapan dikerjakan, tahapan dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir penelitian

a. Identifikasi masalah

Merupakan proses dimana mencari dan mengidentifikasi permasalahan yang berkaitan dengan topik penelitian.

b. Studi Literatur

Merupakan kegiatan referensi guna menunjang proses dan hasil pada penelitian.

c. Desain eksperimen

Metode yang digunakan untuk mengatur, melaksanakan, dan menganalisis suatu percobaan agar dapat menjawab pertanyaan penelitian secara valid dan efisien.

d. Spesimen sebelum *heat treatment*

Preparasi spesimen untuk di uji kekerasan sebelum *heat treatment*.

e. Spesimen sesudah *heat treatment*

Preparasi spesimen untuk dilakukan uji kekerasan dan uji metalografi.

f. Proses *heat treatment*

Proses perlakuan panas pada logam atau material dengan cara dipanaskan hingga suhu tertentu, ditahan dalam waktu tertentu, lalu didinginkan dengan metode tertentu untuk mengubah sifat mekanik material tanpa mengubah bentuk dasarnya.

g. Uji kekerasan

Metode pengujian material untuk mengetahui tingkat ketahanan suatu bahan terhadap deformasi plastis, seperti penetrasi, goresan, atau lekukan akibat pemberian beban tertentu.

h. Uji metalografi

Metode karakterisasi material yang bertujuan untuk mengamati dan menganalisis struktur mikro suatu logam atau paduan menggunakan mikroskop metalografi.

i. Analisis

Mengkaji, menafsirkan, dan menjelaskan data atau informasi yang diperoleh dari penelitian untuk mengetahui hubungan, pengaruh, atau makna dari hasil yang didapat.

j. Laporan hasil

Dokumen yang berisi penyajian hasil penelitian, pengujian, atau kegiatan yang telah dilakukan secara sistematis dan jelas.

2. Tahapan penelitian (metodologi)

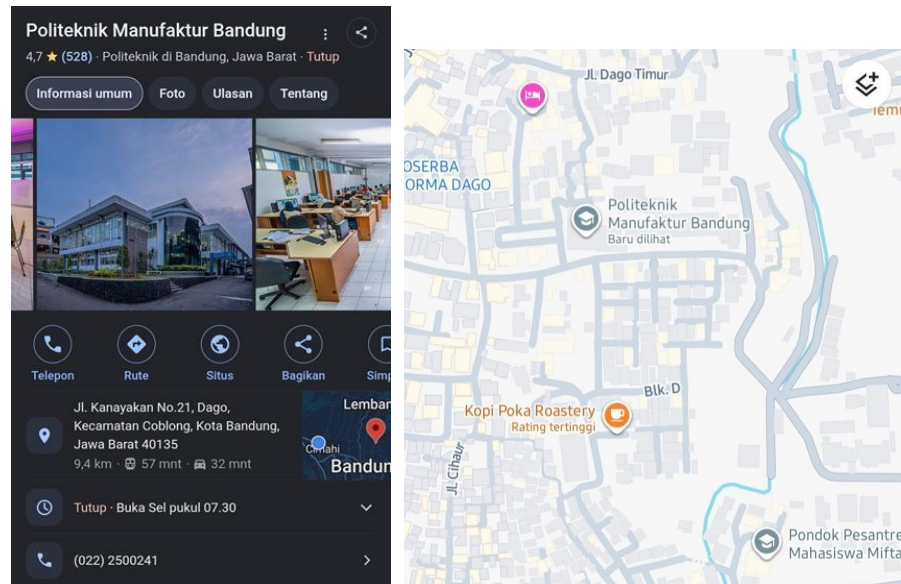
Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif dan kuantitatif. Nilai kekerasan dibandingkan berdasarkan variasi temperatur dan media pendingin untuk menentukan parameter yang menghasilkan kekerasan optimal.

- Observasi langsung proses *heat treatment*.
- Hasil pengujian kekerasan.
- Hasil pengujian metalografi
- Dokumentasi penelitian.

- Studi literatur.

3. Tempat penelitian

Penelitian dilakukan di laboratorium Politeknik Manufaktur Bandung. Jalan Kanayakan No. 21, Dago, Kecamatan Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat (40135).



Gambar 7. Tempat penelitian

4. Setup pengukuran/pengujian

A. Persiapan Spesimen

- Memotong material sesuai ukuran yang ditentukan.
- Membersihkan permukaan specimen.

B. Proses Heat Treatment

- Memanaskan spesimen hingga temperatur yang telah ditentukan.
- Menahan temperatur selama waktu tertentu.
- Melakukan pendinginan menggunakan media yang berbeda.

C. Pengujian Kekerasan

- Melakukan pengujian menggunakan mesin uji ZHU 250CL (Zwick Roell) dengan metoda uji Vickers.
- Mencatat hasil pengujian.

D. Pengujian Metalografi

- Melakukan pengujian menggunakan mesin uji mikroskop optic Olympus GX71.
- Mencatat hasil pengujian.

E. Analisis Data

- Membandingkan nilai kekerasan setiap spesimen.
- Menentukan parameter heat treatment terbaik.

5. Alat Ukur dan Bahan yang digunakan

Berikut ini adalah alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian

Tabel 1. Alat yang digunakan

No	Alat
1	Tungku Pemanas
2	Mesin Uji Kekerasan
3	Mikroskop Metalografi

Tabel 2. Bahan yang digunakan

No	Bahan
1	Baja Pisau
2	Air Pendingin
3	Larutan Etsa

6. Metode pengolahan data hasil pengukuran/pengujian

Tabel 3. Hasil Pengujian

No.	d1 (μm)	d2 (μm)	d rata-rata	HV
1	102,6	102,2	102,4	442
2	102,5	102,2	102,4	442
3	102,8	102,6	102,7	439
4	103,2	102,6	102,9	438
Rata-rata HV				440

$$HV = 1,8544 \times \frac{F}{d^2}$$

Keterangan :

- HV = Angka Kekerasan Vickers
- F = Gaya atau beban tekan yang diberikan (dalam satuan kgf)
- d = rata rata Panjang diagonal lekukan piramida (dalam satuan mm), yakni $d =$

$$\frac{d_1 + d_2}{2}$$

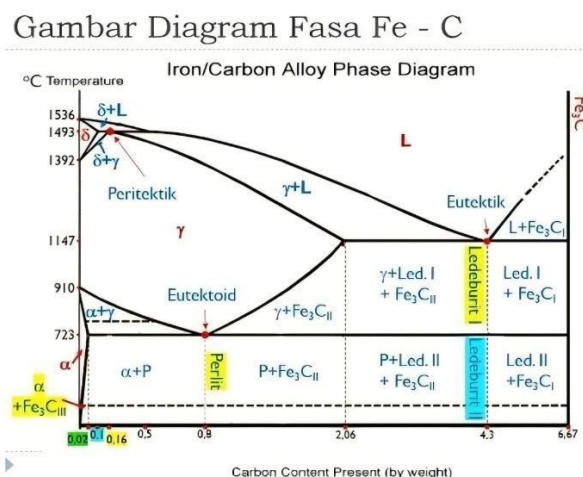
- α = Sudut puncak intan piramida Vickers, yaitu 136°
- 1,8544 = Konstanta geometris untuk indenter piramida intan ($2 \tan(136^\circ/2) \approx$

2

1,8544)

7. Diagram fasa

Diagram fasa $Fe - Fe_3C$ (Besi-Karbida Besi) adalah grafik yang memetakan hubungan antara suhu dan komposisi kandungan karbon.



Gambar 8. Diagram fasa $Fe - Fe_3C$

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil dan pembahasan

Pengujian kekuatan mekanik dilakukan pada pisau untuk meningkatkan kekerasan dengan proses heat treatment 800°C . Parameter yang dianalisis pada penelitian ini adalah kekerasan dan struktur mikro yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh heat treatment terhadap kekerasan pisau serta media pendinginan untuk menentukan parameter kekerasan pisau.

2. Pengujian metalografi

Pengujian metalografi dilakukan menggunakan mesin uji mikroskop optik Olympus GX71 dengan suhu ruang 23°C dengan kelembaban 40% di Labratorium Politeknik Manufaktur, Bandung.



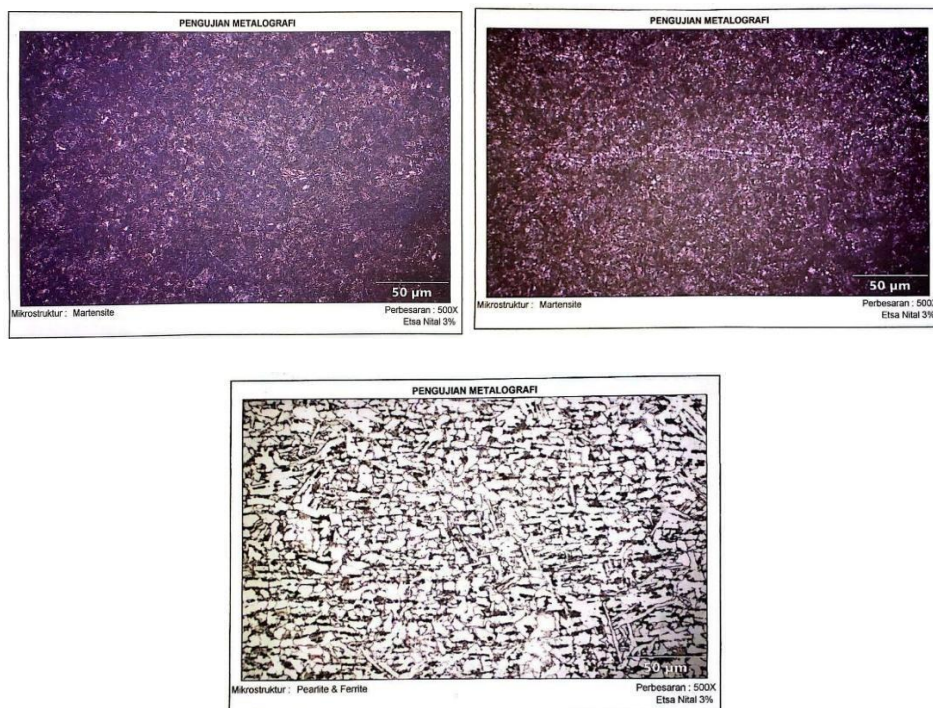
Gambar 9. Mesin uji Mikroskop Optik OLYMPUS GX71

Pengujian metalografi untuk mengamati, menganalisis, dan mengevaluasi struktur mikro suatu material logam.

Untuk pengujian metalografi dengan perbesaran 500X dan *Etching Nital 3%*, didapatkan bahwa spesimen A memiliki struktur mikro *Perlit dan Perit*, lalu untuk spesimen B memiliki struktur mikro *Martensit* dan untuk spesimen C memiliki struktur mikro *Martensit*.



Gambar 10. Spesimen pengujian metalografi



Gambar 11. Hasil pengujian metalografi

3. Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan mesin uji ZHU 250CL (Zwick Roell) metode vickers dengan suhu ruang 23°C dengan kelembapan 58% di Laboratorium Politeknik Manufaktur, Bandung.



Gambar 12. Mesin uji ZHU 250CL (Zwick Roell)

Uji kekerasan bertujuan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap deformasi plastis menggunakan penekan piramida intan.

Tabel 4. Hasil uji kekerasan spesimen A

No.	d1 (μm)	d2 (μm)	d rata-rata	HV
1	156,2	157,0	156,6	189
2	165,1	163,4	164,3	172
3	159,8	159,3	159,6	182
4	159,3	160,4	159,9	181
Rata-rata HV				181

Tabel 5. Hasil uji kekerasan specimen B

No.	d1 (μm)	d2 (μm)	d rata-rata	HV
1	102,6	102,2	102,4	442
2	102,5	102,2	102,4	442
3	102,8	102,6	102,7	439
4	103,2	102,6	102,9	438
Rata-rata HV				440

Tabel 6. Hasil uji kekerasan specimen C

No.	d1 (μm)	d2 (μm)	d rata-rata	HV
1	110,1	109,1	109,6	386
2	109,3	108,4	108,9	391
3	110,2	109,1	109,7	386
4	107,2	106,5	106,9	406
Rata-rata HV				392



Gambar 13. Spesimen pengujian kekerasan

4. Pembahasan

Uji kekerasan pada spesimen A dan C dengan proses heat treatment dengan suhu 700°C dan spesimen B dengan heat treatment 800°C , kemudian dilakukan waktu penahanan selama 20 menit lalu didinginkan dengan media air selama 10 menit. Menyatakan bahwa spesimen B memiliki kekerasan cukup tinggi dibandingkan dengan spesimen A dan C.

- Spesimen A tidak dilakukan heat treatment mendapatkan rata rata kekerasan 181 HV.
- Spesimen B dilakukan heat treatment mendapatkan rata rata kekerasan 440 HV.
- Spesimen C dilakukan heat treatment mendapatkan rata rata kekerasan 392 HV.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Dari penelitian ini berhasil dilakukan modifikasi proses heat treatment dari yang biasa dilakukan oleh pengrajin sehingga diperoleh kekerasan yang lebih tinggi. Adapun modifikasi tersebut adalah dengan menaikkan temperatur pemanasan dari 700°C menjadi 800°C.

2. Saran

Beberapa saran yang dapat dilakukan untuk penelitian lebih lanjut:

- Untuk menambah referensi tentang kekerasan. Perlu dilakukan variasi media pendingin dan untuk menjadi pembading media mana yang cocok digunakan untuk meningkatkan kekerasan pada baja karbon tinggi.
- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan peningkatan variasi temperatur dan *holding time* pada proses *heat treatment* untuk mendapatkan hasil yang optimal dalam peningkatan sifat mekanik baja karbon tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Sustainability *et al.*, “Perbaikan Kualitas Mata Pisau Mesin Irat Bambu Dengan Proses Heat Treatment Melalui Bajaf Asa Ganda,” *J. Masy. Sehat Indones.*, vol. 5, no. 1, pp. 27–30, 2022, [Online]. Available: <https://journal.ympai.org/index.php/jmsi/article/view/1>
- [2] J. Roymons, D. Dimu, and S. Widhiyanuriyawan, “Optimasi Hardening Baja Karbon Sedang dengan Fluida Getah Pohon Pisang Menggunakan Metode Taguchi,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 5, no. 2, pp. 135–140, 2014.
- [3] M. A. Jaelani, M. F. Sidiq, and G. R. Wilis, “Analisa Penguatan Mata Pisau Mesin Pencacah Sampah Organik Dengan Proses Heat Treatment Bertingkat,” *J. Crankshaft*, vol. 4, no. 1, pp. 93–102, 2021, doi: 10.24176/crankshaft.v4i1.6024.
- [4] A. Rahman, *Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2012 Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2012*, no. 978. 2012.
- [5] A. R. N. Adzima, P. Pandiatmi, and E. D. Sulistyowati, “Optimization of Toughness and Hardness Medium Carbon Steel As Kitchen Knives Material In Heat Treatment Process Using the Response Surface Method,” *J. Keilmuan dan Tek. Mesin*, pp. 1–
- [6] Hariningsih, H., Lutiyaatmi, L., & Daryanto, T. (2022). Effects of Heat Treatment on Microstructure and Hardness of D2 Tools. *Applied Research and Smart Technology (ARSTech)*.
- [7] Harmaji, A., Korda, A. A., Ramadhan, R., & Pambudi, S. (2023). Pengaruh Media Pendingin dan Temperatur Tempering pada Mikrostruktur dan Kekerasan Baja JIS SUP 9. *Journal of Renewable Energy and Mechanics*.
- [8] Mochtar, M. A., Putra, W. N., & Abram, M. (2022). Effect of Tempering Temperature and Subzero Treatment on Microstructures, Retained Austenite, and Hardness of AISI D2 Tool Steel.
- [9] Setiawan, H. (2012). Pengaruh Proses Heat Treatment pada Kekerasan Material Special K (K100). *Jurnal Simetris*.
- [10] Saputra, K., Arasyid, A., Subagja, R., Fauziah, S., & Irwati, D. (2025). Pengaruh Proses Quenching dan Tempering terhadap Perubahan Mikrostruktur dan Kekerasan Baja SKD11.

- [11] Analisis Pengaruh Heat Treatment terhadap Kekerasan Mata Pisau Mesin Pencacah Sampah. *Jurnal INOVATOR*.
- [12] Pengaruh variasi media pendingin terhadap kekerasan baja AISI 1045 setelah heat treatment. *Jurnal Rekayasa Mesin*.
- [13] Hersandi, M. G., & Tjahjanti, P. H. (2022). Analisa perlakuan baja pegas daun sebagai pisau potong dengan metode quenching untuk menaikkan kekerasan.

LAMPIRAN

1. Data hasil pengujian/pengukuran

Hasil pengujian kekerasan dan metalografi

POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG
LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN
JURUSAN TEKNIK PENGELOMPOKAN LOGAM

JALAN KEMUNING 1, DASAR BANDUNG 40132, TELPON 022 2594100, HP/0822 220494
 E-mail: lab.metal@its.ac.id Website: www.bm-lab.its.ac.id

02.01.2024 14:42

HASIL PENGUJIAN

No. Lab. : 258R/Lab.Metal/Politeknik/V00205	Dibuat tanggal : 18 Juni 2024	
No. Order : LP-000229	Cat. Pengujian : 18 Juni 2024	
	Media Uji :	Vickers
Kode Sampel : 8307 C (JH) -A	Media Uji :	ZHU 230CL (Zach Roe)
	Suhu (Ruam) :	23°C
	Kekasaran :	50R

UI KIKERASAN VICKERS

Foto Hasil Uji :

25 mm

Hasil Pengujian						
No.	at (g)	t2 (g)	t1 (g)	t0 (g)	HV	
1	126.2	157.0	156.6	156	189	
2	165.1	162.4	164.3	172		
3	159.9	159.3	159.6	162		
4	166.3	160.4	159.9	161		
					Avg HV	181

Catatan : Bilangan 300 gf

Bandung, 18 Juni 2024

Kai, Lu, Mubli, Yenni Pengantar Ligan,

Mahasiswa Teknik Metalurgi dan Nds S PM, M. Si.
 NP. 191900100000007015

Keterangan:

Hasil pengujian hanya berlaku untuk sampel yang diuji.

2 dari 4

Gambar 14. Hasil uji kekerasan spesimen A



POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG
LABORATORIUM PENGUJIAN MATERIAL
JURUSAN TEKNIK PENGELOSARAN LOGAM
Jalan Sekeloa Utara II, 80220 Sekeloa Utara, Telukjambe Timur, Kabupaten Indragiri
 Kepulauan Riau dan Kota Pekanbaru, Riau 28125

INDONESIA-2021

HASIL PENGUJIAN

No. Lab. : 2500047 Labokat. Pkhuwa/V0206
 No. Order : UF-286289

Kode Sample : BOP-C (08-A)
 Hasil Pengujian :

Diserius tanggal : 18 Juni 2008
 Dik. tanggal : 19 Juni 2008

Asli di : Campus 0371

PENGUNJUKAN METALOGRAFI



Mikrostruktur : Pearlitic & Ferrite

Pertemuan : 200X
 Dens. Metal : 7%

Foto Benda di



Berkas No. : 22 Juni 2008
 No. Lab. : Metallog. dan Pengelasan Logam,
 Muhammad Rizki (010101) and Rendi S.P.N., V.Si.
 Kop. 199108030100155

Tetapan :
 Hasil pengujian hanya berlaku untuk sampel yang bersangkutan.

2 dari 4

Gambar 15. Hasil uji metalografi

POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG
LABORATORIUM PENGUJIAN MATERIAL
JURUSAN TEKNIK PENGECORAN LOGAM
Jalan Sekeloa Utara No. 100 Bandung 40132, Telp. (022) 2502259, 2502258, 2502259
 E-mail: info@polman-bandung.ac.id, www.polman-bandung.ac.id

HASIL PENGUJIAN

No. Lab. : 259Mf, Lab. Mat. Ekt. Polman V10226
 No. Order : UF-250229
 Kode Sampel : 800° C (Q) - B
 Diterima tanggal : 18 Juni 2020
 Dipg. Tanggal : 18 Juni 2020
 Metode Uj : Vickers
 Mesin Uj : ZHU 7502L (Zwick Roell)
 Suhu (Ruang) : 23°C
 Kelembaban : 58%

UJI KEKERASAN VICKERS

Foto Benda Uj :



23 mm

No.	d1 (µm)	d2 (µm)	d Avg	HV
1	102.6	102.2	102.4	442
2	102.5	102.2	102.4	442
3	102.8	102.6	102.7	439
4	103.2	102.6	102.9	438
Avg HV				440

Catatan : Beban 2500 gf

Bandung, 22 Juli 2020
 Ka. Lab. Material Pengelasan Logam,
 Muhandis R23
 Muhammad Nadi S.Pd., M.S.
 NIP. 19910912022200315

Keterangan :
 Hasil pengujian hanya berlaku untuk sampel yang diuj.

3 dari 4

Gambar 16. Hasil uji kekerasan spesimen B

POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG
LABORATORIUM PENGUJIAN MATERIAL
JURUSAN TEKNIK PENGECORAN LOGAM
Jalan Sekeloa Utara No. 100 Bandung 40132, Telp. (022) 2502259, 2502258, 2502259
 E-mail: info@polman-bandung.ac.id, www.polman-bandung.ac.id

HASIL PENGUJIAN

No. Lab. : 259Mf, Lab. Mat. Polman V10226
 No. Order : UF-250229
 Kode Sampel : 800° C (Q) - B
 Hasil Pengujian :
 Diterima tanggal : 18 Juni 2020
 Dipg. Tanggal : 19 Juni 2020
 Alat Uj : Olympus GX71

PENGUJIAN METALOGRAFI



50 µm

Microstruktur : Martensite
 Perbesaran : 100X
 Etas Nal 5%

Foto Benda uj :



23 mm

Bandung, 22 Juli 2020
 Ka. Lab. Material Pengelasan Logam,
 Muhandis R23
 Muhammad Nadi S.Pd., M.S.
 NIP. 19910912022200315

Keterangan :
 Hasil pengujian hanya berlaku untuk sampel yang bersangkutan.

3 dari 4

Gambar 17. Hasil uji metalografi spesimen B

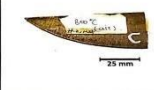
POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG
LABORATORIUM PENGUJIAN MATERIAL
JURUSAN TEKNIK PENGECORAN LOGAM
Jalan Sekeloa Utara No. 10, Sekeloa Utara, Kecamatan Sekeloa, Kabupaten Bandung, Jawa Barat 40132
 Telp. (022) 25340000, Fax. (022) 25340001, Email: info@polman-bd.ac.id

HASIL PENGUJIAN

No. Lab. : 258/Hu.Lab.Mat.Ket.Perman/V0205 Diambil tanggal : 19 Juni 2020
 No. Order : LP-260209 Dig. Tanggal : 19 Juni 2020
 Kode Sampel : 800° C (45) - C Metode Uji : Vickers
 Hasil Uji : ZHU 250C, (Quick Read)
 Suhu (Ruang) : 23°C
 Kelembaban : 50%

UJI KEKERASAN VICKERS

Foto Benda Uji :



No.	d1 (mm)	d2 (mm)	d-Avg	HV
1	110.1	105.1	105.8	395
2	109.3	108.4	108.9	391
3	110.2	108.1	109.7	390
4	107.2	108.5	106.9	400
Avg HV				392

Catatan : Beban 2500 gf

Bandung, 22 Juni 2020
 Ks. Lab. Material Pengelasan Logam,

 Muhammad Baidi, S.Pd., M.Si.
 NIP. 199108192019031015

Keterangan :
 Hasil pengujian hanya berlaku untuk sampel yang diuji.

4 dari 4

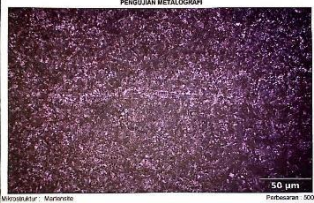
Gambar 18. Hasil uji kekerasan spesimen C

POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG
LABORATORIUM PENGUJIAN MATERIAL
JURUSAN TEKNIK PENGECORAN LOGAM
Jalan Sekeloa Utara No. 10, Sekeloa Utara, Kecamatan Sekeloa, Kabupaten Bandung, Jawa Barat 40132
 Telp. (022) 25340000, Fax. (022) 25340001, Email: info@polman-bd.ac.id

HASIL PENGUJIAN

No. Lab. : 258/Mat. Laborat. Perman/V0206 Diambil tanggal : 19 Juni 2020
 No. Order : LP-260209 Dig. Tanggal : 19 Juni 2020
 Kode Sampel : 800° C (45) - C Hasil Uji : Olympus GX71
 Hasil Pengujian :

PENGUJIAN METALOGRAFI



Material : Martensite Perbesaran : 1000x
 Foto Benda Uji :



Bandung, 22 Juni 2020
 Ks. Lab. Material Pengelasan Logam,

 Muhammad Baidi, S.Pd., M.Si.
 NIP. 199108192019031015

Keterangan :
 Hasil pengujian hanya berlaku untuk sampel yang bersangkutan.

4 dari 4

Gambar 19. Hasil uji metalografi spesimen C