

**ANALISIS RESISTENSI PISAU POTONG TERHADAP
KONTAMINASI GETAH KACANG METE (CNSL):
STUDI KASUS PADA MATERIAL PISAU
POTONG STAINLESS STEEL**

PROYEK AKHIR

Laporan akhir ini dibuat dan di ajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan Sarjana Terapan/Diploma IV Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung



Diusulkan Oleh

Veldi Handi Rahmadan NIM 1042159

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI BANGKA BELITUNG
TAHUN 2024**

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS RESISTENSI PISAU POTONG TERHADAP
KONTAMINASI GETAH KACANG METE (CNSL):
STUDI KASUS PADA MATERIAL PISAU
POTONG STAINLESS STEEL**

Oleh:

Veldi Handi Ramadhan/1042159

Laporan akhir ini telah disetujui dan disahkan sebagai salah satu syarat kelulusan
Program Sarjana Terapan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

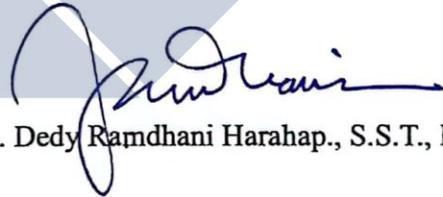
Menyetujui,

Pembimbing I



Sugiyarto, S.S.T., M.T.

Pembimbing II



Ir . Dedy Ramdhani Harahap., S.S.T., M.Sc.

Penguji I



Husman., S.S.T., M.T.

Penguji II



Zulfitriyanto., S.S.T., M.T.

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Veldi Handi Rahmadan NIM: 1042159

Dengan Judul : Analisis Resistensi Pisau Potong Terhadap Kontaminasi Getah Kacang Mete (CNSL): Studi Kasus Pada Material Pisau Potong Stainless Steel

Menyatakan bahwa laporan akhir ini adalah hasil kerja saya sendiri dan bukan merupakan plagiat. Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan bila ternyata dikemudian hari melanggar pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi yang berlaku.

Sungailiat, 8 Januari 2025

Nama Mahasiswa

Tanda Tangan

Veldi Handi Rahmadan


.....VELDI H.R.....

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kontaminasi getah kacang mete (cashew nut shell liquid, CNSL) terhadap struktur mikro dan performa pisau potong berbahan stainless steel 304, serta mengevaluasi perlakuan panas yang optimal dalam meningkatkan ketahanan pisau terhadap paparan CNSL. Metode perlakuan panas yang diterapkan berupa solution annealing pada suhu 1065°C dengan variasi waktu tahan selama 3, 4, dan 5 jam. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perlakuan panas secara signifikan mengurangi adhesi CNSL pada permukaan pisau sekaligus meningkatkan ketahanan mekanis dan ketahanan terhadap korosi. Pisau tanpa perlakuan panas mengalami kerusakan berupa rompal serta adhesi getah yang tinggi, sedangkan pisau yang telah menjalani perlakuan panas menunjukkan struktur mikro yang lebih homogen, residu getah yang lebih mudah dibersihkan, dan peningkatan kinerja fungsional secara keseluruhan. Perlakuan panas dengan waktu tahan 5 jam memberikan hasil terbaik, meskipun durasi 3 dan 4 jam tetap efektif untuk aplikasi dengan pertimbangan efisiensi biaya. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan teknologi material berbasis stainless steel untuk meningkatkan keberlanjutan dan efisiensi dalam industri pengolahan makanan.

Kata Kunci: CNSL, stainless steel 304, perlakuan panas, solution annealing, struktur mikro, ketahanan korosi

ABSTRACT

This study aims to analyze the effects of cashew nut shell liquid (CNSL) contamination on the microstructure and performance of cutting blades made from stainless steel 304, as well as to evaluate the optimal heat treatment for improving the blades' resistance to CNSL exposure. The applied heat treatment method involved solution annealing at 1065°C with varying holding times of 3, 4, and 5 hours. The results showed that heat treatment significantly reduced CNSL adhesion on the blade surface while enhancing its mechanical strength and corrosion resistance. Untreated blades experienced damage in the form of chipping and high adhesive residue from CNSL, whereas heat-treated blades exhibited a more homogeneous microstructure, easier removal of resin residues, and overall improved functional performance. Heat treatment with a holding time of 5 hours produced the best results; however, 3- and 4-hour durations remained effective for cost-efficient applications. This study makes a valuable contribution to the development of stainless steel-based material technologies aimed at enhancing sustainability and efficiency in the food processing industry.

Keywords: CNSL, stainless steel 304, heat treatment, solution annealing, microstructure, corrosion resistance

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Dengan penuh rasa syukur, penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, serta kesempatan sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Resistensi Pisau Potong Terhadap Kontaminasi Getah Kacang Mete (CNSL): Studi Kasus Pada Material Pisau Potong Stainless Steel**”. Tugas Akhir ini dibuat sebagai salah satu syarat akademik untuk menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, guna memperoleh gelar Sarjana Terapan. Proses penyelesaian studi hingga tahap ini tentu tidak mudah dan membutuhkan usaha keras serta dukungan dari berbagai pihak. Melalui kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih yang mendalam kepada:

1. Kedua orang tua saya, terima kasih yang tak terhingga kepada Ayahanda, Kuprin Sapawi Apandi, atas cinta, doa, dan dukungan yang selalu diberikan, serta kepada Ibunda, Soleha, yang juga senantiasa memberikan dukungan dan doa. Segala pencapaian ini tidak lepas dari pengorbanan kalian berdua. Semoga keberhasilan ini dapat menjadi kebanggaan bagi Ayah dan Ibu.
2. Terima kasih yang mendalam kepada kakakku, Veny Handi Lestari atas dukungan, kasih sayang, dan semangat yang selalu kalian berikan. Kehadiran Anda dalam setiap menjadi motivasi untuk terus maju. Semoga keberhasilan ini juga menjadi kebanggaan bagi Anda.
3. Bapak I Made Andik Setiawan, M.Eng., Ph.D. Selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
4. Bapak Dr. Ilham Ary Wahyudie, S.S.T., M.T. Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
5. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T. Selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

6. Bapak Sugiyarto, S.S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing utama yang telah banyak memberikan arahan, Ilmu, Pengalaman dalam sistematika penulisan makalah penelitian ini.
7. Bapak Ir . Dedy Ramdhani Harahap., S.S.T., M.Sc. Selaku dosen pembimbing dua yang telah banyak memberikan masukan, Ilmu, Pengalaman, menyediakan waktu, tenaga dan bimbingan untuk penyediaan makalah penelitian ini.
8. Untuk teman-teman yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, terima kasih atas dukungan dan bantuan kalian dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Bersama kalian, saya merasa terbantu dalam perjuangan meraih gelar sarjana. Kalian semua adalah teman-teman yang luar biasa. Semoga kesuksesan selalu menyertai kalian, baik saat ini maupun di masa depan.

Sebagai penutup, penulis berharap tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca. Semoga Allah SWT selalu melindungi dan memberkahi kita semua dalam setiap langkah ke depan.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Sungailiat, 8 Januari 2025

Penulis

DAFTAR ISI

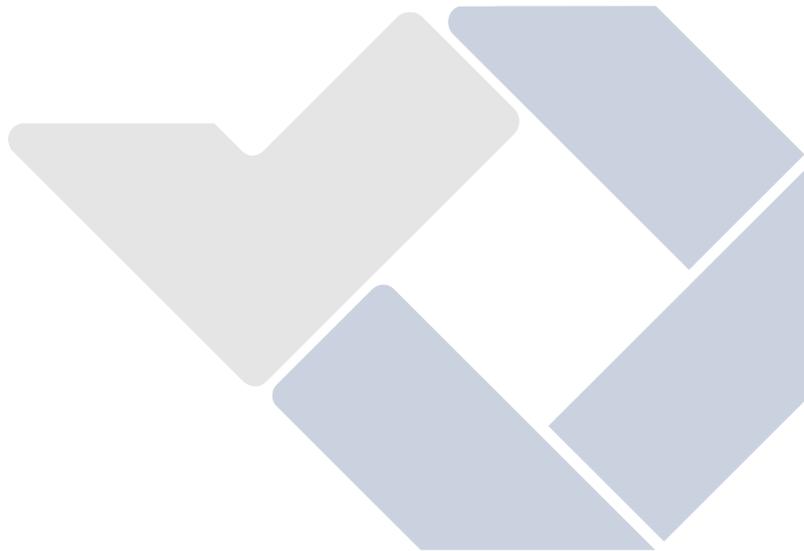
LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II DASAR TEORI.....	4
2.1 Getah Kacang Mete (<i>Cashew Nut Shell Liquid / CNSL</i>).....	4
2.2 Stainless Steel Grade 304.....	4
2.3 Austenitik Stainless Steel	5
2.4 Perlakuan Panas.....	6
2.4.1 <i>Solution Annealing</i>	6

2.4.2	<i>Quenching</i>	6
2.4.3	<i>Spheroidizing</i>	7
2.4.4	Diagram Fasa <i>Stainless Steel</i>	7
2.5	Uji Kekerasan	9
2.6	Uji Mikrostruktur	9
2.7	Uji Pemotongan	9
BAB III METODE PELAKSANAAN		10
3.1	Diagram Alir / <i>Flow Chart</i>	10
3.2	Identifikasi Tujuan Penelitian	11
3.3	Studi Literatur	11
3.4	Persiapan Bahan dan Alat	12
3.4.1	Bahan	12
3.4.2	Alat	13
3.5	Pembuatan Prototipe Pisau Potong	18
3.6	Proses Perlakuan Panas	18
3.7	Pengujian dan Pengambilan Data	19
3.8	Analisis Data	20
3.9	Hasil dan Kesimpulan	21
BAB IV PEMBAHASAN		22
4.1	Uji Kekerasan	22
4.1.1	Proses Pengambilan Data	22
4.1.2	Data Hasil Pengujian	23
4.1.3	Analisis Hasil Uji Kekerasan	25

4.2	Uji Mikrostruktur	26
4.2.1	Proses Pengambilan Data	26
4.2.2	Hasil Pengujian Mikrostruktur	27
4.2.3	Analisis Hasil Uji Mikrostruktur.....	28
4.2.4	Kesimpulan Hasil Uji Mikrostruktur	33
4.3	Uji Pemotongan.....	34
4.3.1	Proses Pengambilan Data	34
4.3.2	Hasil Uji Pemotongan	35
4.3.3	Analisis Hasil Uji Pemotongan	43
4.3.4	Kesimpulan	45
BAB V	PENUTUP.....	47
5.1	Kesimpulan.....	47
5.2	Saran.....	48
Daftar Pustaka.....		50

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Kandungan Unsur Kimia pada Stainless Steel 304.....	4
Tabel 3.1 Uji Kekerasan (Melalui Proses Perlakuan Panas)	19
Tabel 3.2 Uji Kekerasan (Tidak Melalui Perlakuan Panas)	20
Tabel 4.1 Data Hasil Uji Kekerasan (Melalui Proses Perlakuan Panas)	24
Tabel 4.2 Data Uji Kekerasan HRC (Tidak Melalui Perlakuan Panas)	24
Tabel 4.3 Data Uji Kekerasan HRA (Tidak Melalui Perlakuan Panas)	24



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Fe-Cr.....	8
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	10
Gambar 3.2 Material Stainless Steel Grade 304	12
Gambar 3.3 Aqua Regia.....	12
Gambar 3.4 Serbuk intan.....	13
Gambar 3.5 Oven Pemanas	14
Gambar 3.6 Gerinda Duduk	14
Gambar 3.7 Gerinda Tangan.....	14
Gambar 3.8 Mesin Gergaji Potong DOALL Model C-916.....	15
Gambar 3.9 Mesin Uji Kekerasan Zwick-Roell ZHR.....	15
Gambar 3.10 Mikroskop Meiji MT7100.....	16
Gambar 3.11 Hair Dryer.....	17
Gambar 3.12 Kertas Amplas	17
Gambar 3.13 Diagram Proses Solution Annealing	19
Gambar 4.1 Spesimen Hasil Perlakuan Panas.....	22
Gambar 4.2 Spesimen Tidak Melalui Perlakuan Panas	23
Gambar 4.3 Proses Uji Kekerasan	23
Gambar 4.4 Grafik Hasil Uji Kekerasan (Spesimen Melalui Perlakuan Panas).....	25
Gambar 4.5 Grafik Hasil Uji Kekerasan (Spesimen Tidak Melalui Perlakuan Panas).....	25
Gambar 4.6 Proses Uji Mikrostruktur.....	26
Gambar 4.7 Sampel Tanpa Perlakuan Panas	27
Gambar 4.8 Sampel Dengan Perlakuan Panas Selama 3 Jam	27
Gambar 4.9 Sampel Dengan Perlakuan Panas Selama 4 Jam	28
Gambar 4.10 Sampel Dengan Perlakuan Panas Selama 5 Jam	28
Gambar 4.11 Segmentasi Fasa (Sampel Tidak Melalui Perlakuan Panas)	29
Gambar 4.12 Segmentasi Fasa (Sampel Dengan Perlakuan Panas Selama 3 Jam)	29

Gambar 4. 13 Segmentasi Fasa (Sampel Dengan Perlakuan Panas Selama 4 Jam) ...	30
Gambar 4. 14 Segmentasi Fasa (Sampel Dengan Perlakuan Panas Selama 5 Jam) ...	30
Gambar 4.15 Hasil Citra Digital (Tidak Melalui Perlakuan Panas).....	31
Gambar 4.16 Hasil Citra Digital (Sampel Dengan Perlakuan Panas Selama 3 Jam)..	31
Gambar 4.17 Hasil Citra Digital (Sampel Dengan Perlakuan Panas Selama 4 Jam)..	32
Gambar 4.18 Hasil Citra Digital (Sampel Dengan Perlakuan Panas Selama 5 Jam)..	33
Gambar 4.19 Proses Uji Pemotongan	35
Gambar 4.20 Kacang Mete	35
Gambar 4.21 Pembersihan Sisa Pemotongan	35
Gambar 4.22 Rompal pada sampel yang tidak melalui perlakuan panas.....	36
Gambar 4.23 Mata Potong Sampel yang Mengalami Perlakuan Panas Selama 3 Jam.....	37
Gambar 4.24 Mata Potong Sampel yang Mengalami Perlakuan Panas Selama 4 Jam.....	37
Gambar 4.25 Mata Potong Sampel yang Mengalami Perlakuan Panas Selama 5 Jam.....	38
Gambar 4.26 Bercak getah yang menempel pada sampel (Tidak Melalui Proses Perlakuan Panas)	39
Gambar 4.27 Sampel yang Mengalami Perlakuan Panas Selama 5 Jam	40
Gambar 4.28 Sampel yang Mengalami Perlakuan Panas Selama 4 Jam	41
Gambar 4.29 Sampel yang Mengalami Perlakuan Panas Selama 3 Jam	42

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 DAFTAR RIWAYAT HIDUP	53
LAMPIRAN 2 FORM MONITORING PROYEK AKHIR.....	54
LAMPIRAN 3 FORM BIMBINGAN PROYEK AKHIR.....	56
LAMPIRAN 4 FORM REVISI PROYEK AKHIR	57
LAMPIRAN 5 HASIL TURNITIN.....	60
LAMPIRAN 6 POSTER PROYEK AKHIR	61
LAMPIRAN 7 ALGORITMA PENGUKURAN MIKROSTRUKTUR	62



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu alat yang sangat penting dalam proses produksi kacang mete adalah pisau potong. Pisau potong tersebut digunakan untuk membuka serta memisahkan kulit kacang mete dengan biji di dalamnya. Pisau potong yang digunakan umumnya menggunakan bahan *stainless steel*. Bahan ini lazim digunakan untuk memproses banyak produk makanan. Dalam penggunaannya, pisau potong ini akan terkena getah jambu mete atau biasa disebut *Cashew Nut Shell Liquid* (CNSL). CNSL mengandung senyawa kimia seperti asam anakardat, kardol, dan fenol yang bersifat lengket dan sulit dibersihkan [1]. Senyawa tersebut bersifat racun bagi manusia dan akan berbahaya jika dikonsumsi secara berlebihan. Oleh karena itu, diperlukan perlakuan khusus dalam proses produksi kacang mete [2]. Kontaminasi CNSL pada permukaan pisau dapat menurunkan kualitas pemotongan bahan pangan sehingga berisiko mencemari produk makanan olahan. Oleh karena itu, penelitian tentang cara meningkatkan ketahanan pisau terhadap CNSL perlu dilakukan guna mengoptimalkan kinerja dan keamanan pisau pemotong.

Penelitian ini secara khusus ingin menganalisis pengaruh kontaminasi getah kacang mete terhadap ketahanan pisau *stainless steel*. Pisau *stainless steel* dipilih karena banyak digunakan pada industri makanan karena sifatnya yang tahan karat, kuat, dan mudah dibersihkan [3]. Namun kontaminasi CNSL masih dapat mempengaruhi kinerja serta proses produksi kacang mete. Studi kasus ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang faktor-faktor yang dapat mempengaruhi ketahanan pisau *stainless steel* terhadap CNSL. Sehingga dapat diketahui metode perlakuan panas yang paling optimal untuk meningkatkan ketahanan pisau terhadap CNSL. Penelitian ini turut berkontribusi pada pengembangan teknologi

peralatan pemotong yang lebih efisien dan aman digunakan dalam proses pengolahan kacang mete dan bahan pangan lainnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Apa pengaruh kontaminasi getah kacang mete (CNSL) terhadap struktur mikro pisau potong *Stainless steel 304*?
2. Proses perlakuan panas apa yang tepat dilakukan agar meningkatkan performa pisau potong terhadap kontaminasi getah kacang mete (CNSL)?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Untuk menganalisis pengaruh dari kontaminasi getah kacang mete (CNSL) terhadap struktur mikro pisau potong *Stainless Steel 304*.
2. Untuk mengetahui perlakuan panas yang tepat dilakukan untuk meningkatkan kualitas pisau potong terhadap kontaminasi getah kacang mete (CNSL).

1.4 Manfaat Penelitian

Diharapkan penelitian ini akan memberikan kontribusi yang signifikan untuk kemajuan teknologi rekayasa material, khususnya material *Stainless steel*. Industri pengolahan kacang mete juga dapat memperoleh manfaat dari memahami penelitian ini sehingga dapat digunakan sebagai panduan dalam memilih perlakuan panas yang tepat sehingga akan mengoptimalkan kinerja pisau potong kacang mete.

Penelitian ini juga dapat berguna bagi peneliti lain yang ingin melakukan penelitian lebih lanjut tentang rekayasa material khususnya material *Stainless steel 304*. Dengan menggunakan informasi yang diperoleh dari penelitian ini, peneliti lain dapat mempelajari lebih banyak tentang bagaimana berinteraksi satu sama lain dalam proses

pengolahan kacang mete, dan menemukan solusi teknis yang lebih kreatif daripada yang sudah ada.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Penelitian berfokus pada material *stainless steel grade 304*.
2. Proses perlakuan panas hanya dengan 1 suhu yaitu 1065°C
3. Hanya menggunakan 3 variasi waktu penahanan yaitu 3 jam, 4 jam, dan 5 jam.
4. Tiap-tiap sampel pisau hanya memotong 30 butir kacang mete.
5. Sudut mata potong pisau di abaikan.
6. Terdapat 3 pengujian yang akan dilakukan yaitu
 - Uji Kekerasan
 - Uji Mikrostruktur
 - Uji Pemoangan

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Getah Kacang Mete (*Cashew Nut Shell Liquid* / CNSL)

Getah kacang mete, atau dikenal sebagai *Cashew nut shell liquid* (CNSL), mengandung bahan kimia yang beracun dan berpotensi merusak alat pemotong dalam hal ini pisau potong *stainless steel*. CNSL adalah bahan yang memiliki sifat yang lengket dan reaktif dalam reaksi oksidasi, serta bersifat korosif [4]. Sifat-sifat CNSL tersebut berasal dari senyawa fenolik yang reaktif, seperti asam anakardik, kardanol, dan kardol [5]. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Bloise et al [6], ditemukan bahwa CNSL memiliki kandungan 60-70% asam anakardik, 10-20% kardol, 3-10% kardanol. Senyawa-senyawa tersebut memiliki sifat yang sangat lengket dan sulit untuk dibersihkan sehingga berpotensi menutupi mata pisau dan merusak mata potong pisau. Selain itu, kacang mete juga mengandung zat kimia bernama Urushiol. Walaupun hanya mengandung 1-3% saja, tetapi bahan kimia ini sangat berbahaya jika dikonsumsi sehingga berpotensi mencemari produk olahan kacang mete.

2.2 Stainless Steel Grade 304

Salah satu jenis *Stainless steel* yang paling banyak digunakan dalam berbagai industri, termasuk dalam industri makanan, adalah *stainless steel grade* 304. Dengan 18% kromium (Cr) dan 8-10.5% nikel (Ni) dalam komposisi kimianya, *stainless steel* 304 cocok untuk penggunaan yang membutuhkan ketahanan terhadap oksidasi dan karat, seperti dalam pengolahan makanan. Tabel dibawah ini menunjukkan presentase kandungan masing-masing unsur kimia *stainless steel* 304.

Tabel 1.1 Kandungan Unsur Kimia pada Stainless Steel 304

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Ni	%Cr
0.08	0.46	1.33	0.028	0.028	8.25	18.5

Kekuatan tarik *Stainless steel* 304 sebesar 646 MPa dan kekerasan material sebesar 82 HRB (*Hardness Rockwell*) [7] menunjukkan kemampuan material untuk menahan beban sebelum mengalami deformasi permanen, yang sangat penting untuk aplikasi yang membutuhkan material yang kuat tetapi tetap fleksibel. Kekerasan material juga membantu memastikan bahwa peralatan potong tetap tajam dan efisien.

Sifat mekanis seperti ketangguhan dan ketahanan terhadap retak juga dihasilkan oleh kombinasi kandungan-kandungan tersebut. Ini sangat penting untuk aplikasi yang membutuhkan benturan atau tekanan tinggi, seperti proses pengolahan kacang mete, di mana alat potong sering kali harus memotong melalui bahan yang keras dan kering. Sifat anti karat *Stainless steel* 304 tidak hanya memperpanjang umur alat potong, tetapi juga memastikan bahwa alat tersebut aman digunakan dalam lingkungan makanan karena tidak terkontaminasi yang berbahaya bagi konsumen [8].

Berbagai penelitian yang mendukung penggunaan *Stainless steel* 304 dalam industri pengolahan makanan juga menunjukkan bahwa bahan ini memenuhi standar kebersihan dan keamanan yang ketat. Misalnya, penelitian yang diterbitkan dalam "*Journal of Food Engineering*" [9] menemukan bahwa *Stainless steel* 304 memiliki ketahanan yang baik terhadap berbagai zat pembersih dan sanitasi yang biasa digunakan dalam industri makanan, yang membuatnya lebih mudah untuk membersihkan.

Secara keseluruhan, sifat fisik dan kimia *Stainless steel* 304 membuatnya sangat cocok untuk digunakan sebagai alat potong dalam proses pengolahan kacang mete. Bahan ini tidak hanya tahan terhadap korosi dan kerusakan mekanis, tetapi juga ramah lingkungan, menjadikannya pilihan yang baik untuk industri makanan.

2.3 Austenitik Stainless Steel

Stainless Steel Austenitik dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok, yaitu seri 3xx dengan kandungan chrom-nikel dan seri 2xx dengan kandungan nikel-mangan. Jenis *stainless steel* ini bersifat austenitik, non magnetik, dan tidak dapat di *hardening*

karena mengandung unsur *chromium* yang tinggi sehingga dapat menghambat pembentukan martensit yang di perlukan saat proses hardening [10]. Selain itu *stainless steel* jenis ini juga memiliki sifat tahan korosi yang paling baik di antara jenis *stainless steel* lainnya dan memiliki kekuatan yang sangat baik saat digunakan pada temperatur tinggi.

2.4 Perlakuan Panas

Perlakuan panas dapat didefinisikan sebagai operasi atau kombinasi operasi yang melibatkan pemanasan dan pendinginan logam padat atau paduan dengan tujuan memperoleh kondisi atau sifat tertentu yang diinginkan [11].

Ada beberapa teknik perlakuan panas yang dapat diterapkan pada pisau potong berbahan *stainless steel* agar dapat menjaga dan mencegah getah kacang mete masuk ke dalam celah pori-pori pisau potong seperti *Solution Annealing*.

2.4.1 Solution Annealing

Solution annealing adalah sebuah proses perlakuan panas dimana material dipanaskan mendekati suhu kritisnya kemudian dilakukan penahanan pada suhu tersebut, lalu di dinginkan secara cepat sehingga menghasilkan struktur mikro yang homogen. Proses ini melawati 3 tahapan utama yaitu pemanasan, penahanan, dan pendinginan. Suhu dan waktu sangat penting dalam *solution annealing*. Jika suhu terlalu tinggi maka akan mempercepat proses difusi, tetapi jika laju perubahan terlalu besar, maka akan berpotensi menimbulkan retak.

2.4.2 Quenching

Quenching adalah proses pendinginan suatu benda kerja dengan menggunakan media dingin baik itu cairan, gas, atau fluida lain yang bertujuan untuk mendapatkan sifat material tertentu. *Quenching* biasanya digunakan untuk mengeraskan baja dengan mengubah fasa austenitik menjadi martensit.

Dalam prosesnya, *quenching* dapat menyebabkan terjadinya retakan karena terjadinya tegangan internal yang sangat besar yang disebabkan oleh terlalu cepatnya proses pendinginan. Tegangan ini biasanya terjadi pada batas butiran pada material.

2.4.3 *Spheroidizing*

Adalah proses perlakuan panas yang bertujuan meningkatkan sifat mekanis dan kemampuan mesin (*machinability*) logam. Proses ini melibatkan pemanasan logam hingga sedikit di atas suhu kritis, diikuti dengan pendinginan lambat. Tujuan utama dari *spheroidizing* adalah mengubah struktur karbida dari bentuk lamelar menjadi sferis (*spheroid*), sehingga mengurangi kekerasan dan meningkatkan elastisitas logam.

2.4.4 Diagram Fasa *Stainless Steel*

Diagram fasa adalah sebuah diagram yang menggambarkan hubungan antara temperatur di mana terjadinya perubahan fasa selama proses pendinginan dan pemanasan yang lambat dengan kadar zat penyusun utamanya [12]. Diagram ini dapat menjadi dasar pemahaman untuk semua teknik perlakuan panas karena diagram ini berfungsi untuk memudahkan memilih temperatur pemanasan yang tepat untuk setiap proses perlakuan panas.

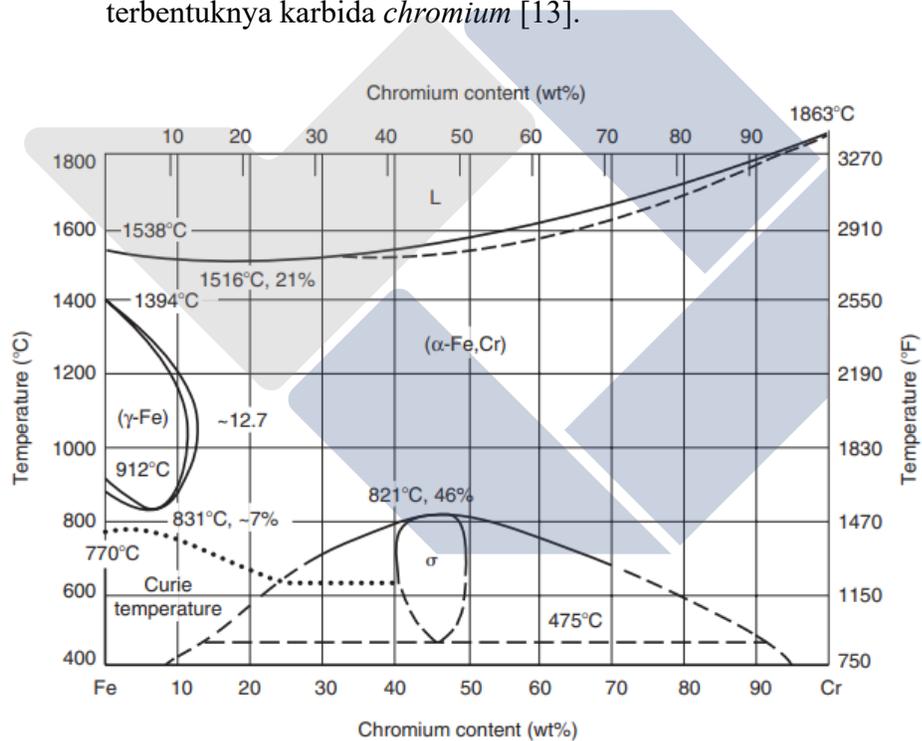
2.4.4.1 Diagram Fasa Fe-Cr

Stainless Steel 304 memiliki kandungan unsur *Chromium* yang sangat besar yaitu sebesar 18.5%. *Chromium* adalah unsur yang dapat menstabilkan struktur *ferrite* dan memiliki struktur BCC yang sama dengan karakteristik *ferrite* yang akan memperbesar butir apabila berada pada suhu *alpha* dan akan memperkecil butir jika dipanaskan pada suhu *gamma*.

Jika kita merujuk pada diagram Fe-Cr dibawah, maka kita dapat melihat bahwa pada *Stainless steel* yang memiliki kandungan unsur

Chromium lebih dari 12% tidak terjadi transformasi fasa *austenit* ke *ferrite*. Dari temperatur ruang hingga titik leburnya fasanya tetap yaitu *ferrite*. Akibatnya *stainless steel* tersebut tidak dapat di *hardening* karena tidak dimungkinkannya terjadi transformasi *martensit*.

Disisi lain, *Stainless steel* 304 juga mengandung kadar Ni yang cukup besar yaitu sebesar 8.25%. Kandungan unsur Ni sangat penting karena Ni memiliki struktur FCC yang memiliki batas kelarutan karbon yang sangat besar sehingga dapat mengurangi kemungkinan terbentuknya karbida *chromium* [13].



Gambar 2.1 Diagram Fe-Cr

2.5 Uji Kekerasan

Uji kekerasan adalah sebuah metode pengujian pada material untuk menilai kemampuan material tersebut dalam menahan perubahan bentuk atau deformasi. Ada beberapa jenis teknik pengukuran kekerasan yang umum dilakukan antara lain uji kekerasan *Rockwell* yang sesuai dengan standarisasi ASTM E-18, uji kekerasan *Brinell* yang sesuai dengan standarisasi ASTM E-10, dan uji kekerasan *Vickers* yang sesuai dengan standarisasi ASTM E-29.

2.6 Uji Mikrostruktur

Uji mikrostruktur adalah metode analisis yang digunakan untuk mempelajari serta memahami struktur internal material pada tingkat mikroskopis. Proses ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik mikro dari material tersebut seperti ukuran butir, bentuk, orientasi, serta distribusi fasanya. Uji ini juga dapat menentukan sifat mekanik dan performa material dalam aplikasi nyata.

Ada beberapa tahapan yang harus dilakukan dalam proses uji mikrostruktur meliputi persiapan sampel, proses pemolesan, proses pelapisan etsa, hingga masuk ke proses pengamatan menggunakan mikroskop.

Dalam prosesnya, uji mikrostruktur dapat mengacu dalam beberapa standarisasi internasional seperti ASTM E112 untuk pengukuran butir, dan ASTM E930 untuk uji metalografi.

2.7 Uji Pematangan

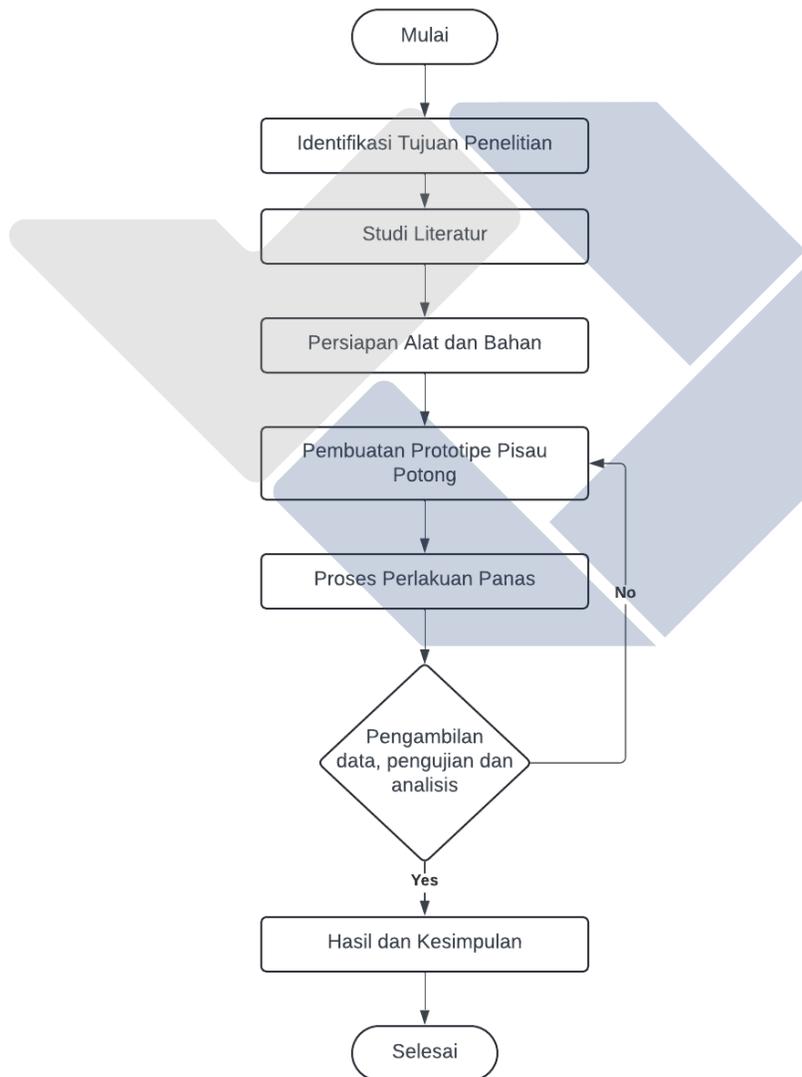
Salah satu cara untuk mengetahui serta mengevaluasi kinerja pisau potong adalah dengan melakukan uji potong. Hasil uji potong ini tidak hanya memberikan informasi tentang kemampuan pisau dalam menghasilkan potongan yang bersih dan rapi, tetapi juga memungkinkan untuk mengidentifikasi potensi kelemahan seperti ketahanan terhadap aus dan ketahanan terhadap getah kacang mete. Dengan demikian, uji potong menjadi langkah penting dalam memastikan kualitas dan performa pisau potong yang optimal.

BAB III

METODE PELAKSANAAN

3.1 Diagram Alir / *Flow Chart*

Di bawah ini merupakan diagram alir yang akan menunjukkan bagaimana penelitian ini berlangsung dari awal hingga selesai.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Identifikasi Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh dari kontaminasi getah kacang mete (CNSL) terhadap struktur mikro pisau potong *Stainless Steel* 304, serta untuk mengetahui perlakuan panas yang tepat dilakukan untuk meningkatkan kualitas pisau potong terhadap kontaminasi getah kacang mete (CNSL).

Analisis struktur mikro adalah langkah penting dalam mengetahui apa efek yang ditimbulkan oleh zat kimia yang terkandung didalam getah kacang mete (CNSL) terhadap struktur mikro pisau potong *Stainless steel*.

Selanjutnya, proses perlakuan panas digunakan untuk mengoptimalkan sifat material pisau potong dengan tujuan meningkatkan performa dan ketahanan terhadap abrasi, keausan serta sifat lengket dari getah kacang mete (CNSL). Dengan mengetahui perlakuan panas yang tepat, diharapkan teknik perlakuan panas tersebut dapat meningkatkan masa pakai pisau potong. Oleh karena itu, penggabungan kedua tujuan tersebut diharapkan akan menghasilkan hasil pisau potong yang lebih baik.

3.3 Studi Literatur

Metodologi pengumpulan data dalam penelitian ini mengandalkan pendekatan studi literatur yang komprehensif dan sistematis. Proses ini melibatkan pencarian, identifikasi, dan analisis mendalam terhadap berbagai sumber informasi yang relevan dengan topik penelitian. Jurnal ilmiah yang digunakan merupakan publikasi terkemuka dalam bidang yang relevan. Sumber-sumber elektronik yang digunakan telah melalui proses verifikasi keabsahan dan diseleksi berdasarkan reputasi lembaga atau individu yang mempublikasikannya. Proses pengumpulan data ini dilaksanakan dengan metode yang terstruktur dan sistematis, melibatkan tahapan identifikasi kata kunci, pencarian database akademik, dan evaluasi kritis terhadap setiap sumber yang ditemukan. Pendekatan ini diterapkan untuk memastikan bahwa data yang terkumpul memenuhi standar keakuratan, keberagaman, dan keandalan yang tinggi, sehingga dapat memberikan landasan yang kokoh bagi analisis dan kesimpulan penelitian.

3.4 Persiapan Bahan dan Alat

Adapun bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

3.4.1 Bahan

1. *Stainless Steel* 304

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Stainless Steel Grade* 304 yang bentuk plat berukuran 250mm x 50mm x 5mm yang akan dibentuk menjadi pisau potong.



Gambar 3.2 Material Stainless Steel Grade 304

2. Cairan Etsa

Cairan etsa yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Aqua Regia* atau biasa dikenal sebagai Air Raja yang memiliki kandungan asam nitrat dan asam klorida dengan perbandingan 1:3.



Gambar 3.3 Aqua Regia

3. Serbuk Intan

Sebelum dilakukan analisis mikrostruktur menggunakan mikroskop, sampel terlebih dahulu dipreparasi melalui proses pemolesan menggunakan serbuk intan. Pemolesan ini bertujuan untuk menghilangkan kerusakan permukaan sampel akibat proses pemotongan dan menghasilkan permukaan yang datar serta berkilap. Dengan demikian, citra mikroskopik yang diperoleh akan memiliki kontras yang baik, sehingga memudahkan identifikasi dan analisis terhadap berbagai karakteristik mikrostruktur, seperti ukuran butir, bentuk butir, dan distribusi fasa.



Gambar 3.4 Serbuk intan

3.4.2 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain

1. Oven Pemanas

Oven pemanas berfungsi untuk melakukan proses perlakuan panas agar mengubah sifat fisik dan mekanis material agar sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 3.5 Oven Pemanas

2. Gerinda

Gerinda digunakan untuk membentuk material menjadi pisau dengan cara mengasah dan memoles permukaan material tersebut hingga mencapai ketajaman dan bentuk yang diinginkan. Ada 2 jenis gerinda yang digunakan yaitu gerinda duduk dan gerinda tangan.



Gambar 3.6 Gerinda Duduk



Gambar 3.7 Gerinda Tangan

3. Mesin Gergaji Potong DOALL Model C-916

Mesin ini digunakan untuk memotong material yang awalnya berdimensi 1500mm x 100mm x 5mm menjadi potongan-potongan kecil berdimensi 250mm x 50mm x 5mm.



Gambar 3.8 Mesin Gergaji Potong DOALL Model C-916

4. Mesin Uji Kekerasan

Dalam penelitian ini, mesin uji kekerasan yang digunakan adalah mesin ZWICK-ROELL ZHR. Mesin ini digunakan untuk menentukan nilai kekerasan material yang tidak mengalami perlakuan panas dan material yang mengalami perlakuan panas.



Gambar 3.9 Mesin Uji Kekerasan Zwick-Roell ZHR

5. Mikroskop Meiji MT7100.

Penelitian ini menggunakan mikroskop Meiji tipe MT7100. Alat ini dipilih karena kemampuannya untuk memberikan resolusi tinggi dan detail yang diperlukan untuk mengidentifikasi karakteristik mikrostruktur material secara akurat. Dalam pengoperasiannya, mikroskop ini diintegrasikan dengan *Software Infinity1-3C* yang digunakan untuk melihat hasil pengamatan lalu mengambil dan menyimpan foto hasil pengamatan.



Gambar 3.10 Mikroskop Meiji MT7100

6. *Hair Dryer*

Pengering rambut digunakan sebagai alat bantu untuk mempercepat proses pengeringan material yang telah melalui proses pengetsaan, sehingga dapat mengurangi waktu tunggu dan mempercepat keseluruhan tahapan pengujian. Selain mempercepat pengeringan, pengering rambut juga berfungsi untuk membersihkan material dari debu yang menempel pada permukaan pisau potong. Hal ini penting untuk menjaga keakuratan hasil pengujian. Dengan demikian, penggunaan pengering rambut memberikan manfaat ganda dalam efisiensi waktu dan kebersihan material selama proses pengujian.



Gambar 3.11 Hair Dryer

7. Kertas Amplas

Amplas dengan berbagai tingkat kekasaran, digunakan secara bertahap untuk menghaluskan permukaan sampel. Proses pengamplasan dimulai dengan menggunakan amplas kasar untuk menghilangkan goresan yang dalam, kemudian dilanjutkan dengan amplas yang lebih halus untuk memperoleh permukaan akhir yang sangat halus. Penggunaan amplas yang sesuai sangat penting untuk menghindari kerusakan pada struktur mikro sampel.



Gambar 3.12 Kertas Amplas

3.5 Pembuatan Prototipe Pisau Potong

Salah satu tahap penting dalam proses pengujian resistensi pisau potong terhadap kontaminasi getah kacang mete (CNSL) adalah tahap pembuatan prototipe pisau potong. Langkah pertama dalam proses ini adalah memilih material pisau potong. *Stainless steel grade 304*. *Stainless steel* jenis ini lazim digunakan dalam proses pengolahan makanan karena harganya yang cukup terjangkau.

Selanjutnya, perhatian difokuskan pada desain geometri pisau potong, yang dibuat dengan mempertimbangkan berbagai faktor seperti kekuatan struktural, ketajaman, dan efisiensi potong.

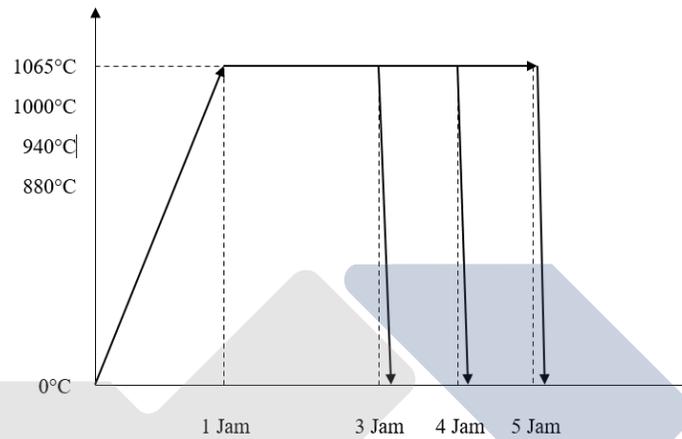
Setelah menyelesaikan desain geometri, langkah berikutnya adalah membuat pisau potong secara fisik. Disesuaikan dengan desain geometri yang telah dirancang sebelumnya.

3.6 Proses Perlakuan Panas

Dalam penelitian ini, proses perlakuan panas yang diterapkan adalah *solution annealing*. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan suhu, yakni 1065°C. Pemilihan rentang suhu ini didasarkan pada pertimbangan teoritis serta studi literatur terkait karakteristik material yang sedang diteliti. Tiap spesimen dipanaskan hingga mencapai suhu yang telah ditetapkan dan dipertahankan pada suhu tersebut selama 3 jam, 4 jam, dan 5 jam guna memastikan homogenitas struktur mikro.

Setelah proses pemanasan selesai, spesimen segera didinginkan dengan metode pendinginan cepat (*quenching*) menggunakan media air. Pemilihan air sebagai media pendingin didasarkan pada kapasitasnya untuk menghasilkan laju pendinginan yang sangat tinggi, yang diperlukan untuk mempertahankan struktur mikro yang dikehendaki. Proses pendinginan cepat ini bertujuan untuk 'membekukan' struktur mikro yang terbentuk pada suhu tinggi, dengan tujuan mencegah terjadinya transformasi fasa yang tidak diinginkan selama proses pendinginan. Metode ini

diharapkan mampu menghasilkan perubahan yang signifikan pada struktur mikro serta sifat mekanik material, yang akan dievaluasi melalui serangkaian pengujian dan analisis.



Gambar 3.13 Diagram Proses Solution Annealing

3.7 Pengujian dan Pengambilan Data

Setelah proses perlakuan panas diterapkan, spesimen akan menjalani analisis mikrostruktur dan uji kekerasan untuk menentukan serta mengetahui perubahan yang terjadi pada material. Hasil analisis ini kemudian akan dibandingkan dengan material yang tidak mengalami perlakuan panas.

Berikut adalah tabel data hasil uji kekerasan material yang telah mengalami proses perlakuan panas.

Tabel 3.1 Uji Kekerasan (Melalui Proses Perlakuan Panas)

Suhu	Holding Time	Benda Kerja	Hasil Uji Kekerasan HRA			Rata-Rata
			Titik 1	Titik 2	Titik 3	
1065°C	3 Jam	A1				
		A2				
		A3				
	4 Jam	B1				

	B2
	B3
	C1
5 Jam	C2
	C3

Sebagai perbandingan untuk data di atas, di bawah ini akan ditampilkan tabel hasil uji kekerasan material yang tidak melewati proses perlakuan panas.

Tabel 3.2 Uji Kekerasan (Tidak Melalui Perlakuan Panas)

Benda Kerja	Hasil Uji Kekerasan HRA			Rata-Rata
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	
S1				
S2				
S3				

Tahap berikutnya setelah analisis mikrostruktur dan uji kekerasan adalah uji pemotongan. Uji ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja pisau potong yang telah melalui proses perlakuan panas dibandingkan dengan pisau potong yang tidak mengalami proses tersebut. Selain itu, uji pemotongan juga dirancang untuk menilai perbedaan daya adhesi getah antara kedua jenis pisau tersebut.

3.8 Analisis Data

Analisis data adalah langkah selanjutnya dalam penelitian ini. Tujuan utama analisis ini adalah untuk memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang bagaimana kontaminasi getah kacang mete mempengaruhi pisau potong baja tahan karat serta mengevaluasi seberapa baik perlakuan panas mempengaruhi ketahanan dan kinerja pisau potong.

Pada tahap analisis data, proses akan dilanjutkan sesuai dengan rencana jika data dianggap valid dan pengujian berhasil. Namun, jika data dianggap tidak valid dan pengujian dianggap gagal, maka akan dilakukan proses pembuatan prototipe baru serta

pengujian ulang dengan mengubah beberapa parameter dan elemen yang mempengaruhi proses sebelumnya.

Diharapkan analisis data ini akan memberikan pemahaman yang lebih baik tentang efek kontaminasi getah kacang mete pada pisau potong dan efektivitas perlakuan panas terhadap peningkatan ketahanan dan performa pisau. Mengambil kesimpulan dari analisis ini akan menjadi dasar yang kuat untuk membuat kesimpulan yang akurat dan berdasarkan informasi yang ada dalam penelitian ini.

3.9 Hasil dan Kesimpulan

Akhir dari penelitian adalah penyusunan hasil dan kesimpulan. Pada tahap ini, semua data yang telah dikumpulkan, serta temuan dari analisis sebelumnya, dievaluasi secara menyeluruh. Kesimpulan akhir mengevaluasi validitas penelitian secara keseluruhan dan apakah temuan yang dihasilkan dapat digunakan sebagai dasar yang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Oleh karena itu, hasil dan kesimpulan penelitian adalah bagian penting dalam memberikan informasi baru dan memperluas pemahaman tentang subjek yang diteliti. Hasil dan temuan ini dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam bidang penelitian dan diharapkan akan memberikan kontribusi yang berharga bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Uji Kekerasan

Penelitian ini menggunakan *stainless steel* 304 yang kemudian dilakukan proses *solution annealing* pada suhu 1065°C dengan 3 variasi lama waktu penahanan selama 3 jam, 4 jam, dan 5 jam. Uji kekerasan dilakukan untuk mengetahui efek dari perlakuan panas tersebut terhadap sifat mekanik material. Uji ini juga sekaligus menjadi data dukung tambahan untuk uji mikro struktur. Uji dilakukan dengan 3 kali pengulangan pada setiap sampel.

4.1.1 Proses Pengambilan Data

Proses penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur untuk mendapatkan informasi yang relevan dan mendapatkan pemahaman tentang teori dan teknik yang telah dikembangkan sebelumnya. Setelah studi literatur selesai, langkah berikutnya adalah membuat sampel pisau untuk eksperimen. Setelah spesimen pisau telah dibuat dengan baik, sampel kemudian diperlakukan dengan perlakuan panas dengan metode *solution annealing*. Spesimen dipanaskan hingga suhu 1065°C selama 3, 4, dan 5 jam.



Gambar 4.1 Spesimen Hasil Perlakuan Panas

Selain itu juga di siapkan juga spesimen pisau yang tidak melalui proses perlakuan panas.



Gambar 4.2 Spesimen Tidak Melalui Perlakuan Panas

Setelah spesimen selesai melalui proses perlakuan panas, semua spesimen baik yang melalui perlakuan panas dan tidak melalui perlakuan panas dilakukan proses pengambilan data dengan menggunakan mesin uji.



Gambar 4.3 Proses Uji Kekerasan

Setelah semua spesimen diuji, langkah berikutnya adalah mengumpulkan dan merapikan semua data yang di peroleh. Data kemudian dimasukkan ke Microsoft Excel. Selanjutnya, data yang telah diolah akan digunakan untuk membuat grafik yang lebih jelas dan informasi tentang hasil pengujian.

4.1.2 Data Hasil Pengujian

Hasil pengujian kekerasan pisau potong ditunjukkan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 4.1 Data Hasil Uji Kekerasan (Melalui Proses Perlakuan Panas)

Suhu	Holding Time	Benda Kerja	Hasil Uji Kekerasan HRA			Rata-Rata
			Titik 1	Titik 2	Titik 3	
1065°C	3 Jam	A1	41.4	40.8	41.6	41.2667
		A2	41.8	41	41.8	41.5333
		A3	41.1	40.6	40.8	40.8333
	4 Jam	B1	40.2	40.4	40.7	40.4333
		B2	40.7	40.9	41.1	40.9
		B3	40.2	40.1	41.3	40.5333
	5 Jam	C1	41.9	41.3	41.1	41.4333
		C2	41.6	43.5	40.7	41.9333
		C3	40.2	40.4	41.9	40.8333

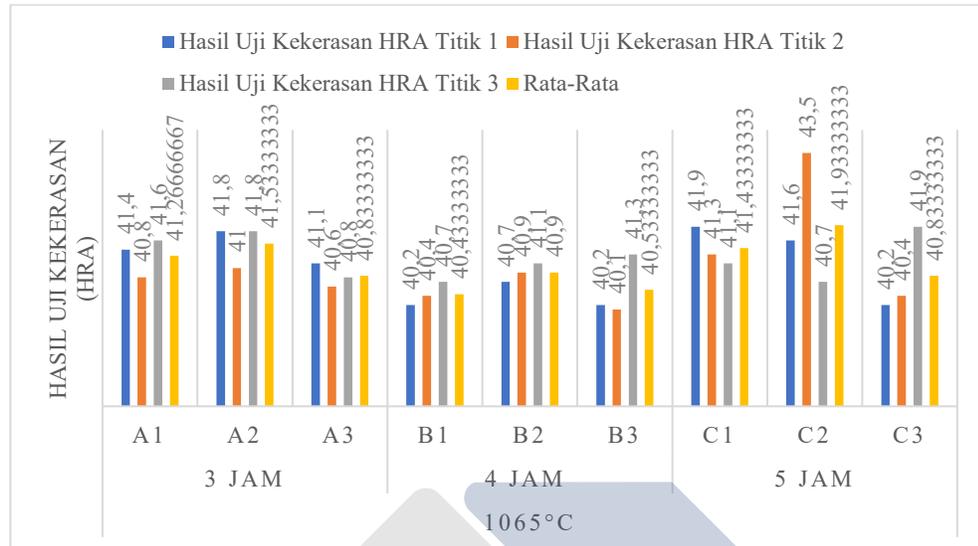
Tabel 4.2 Data Uji Kekerasan HRC (Tidak Melalui Perlakuan Panas)

Benda Kerja	Hasil Uji Kekerasan HRC			Rata-Rata
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	
S1	14.6	13.9	14	14.16667
S2	12	11.9	12.1	12
S3	12.1	11.5	11.5	11.7

Tabel 4. 3 Data Uji Kekerasan HRA (Tidak Melalui Perlakuan Panas)

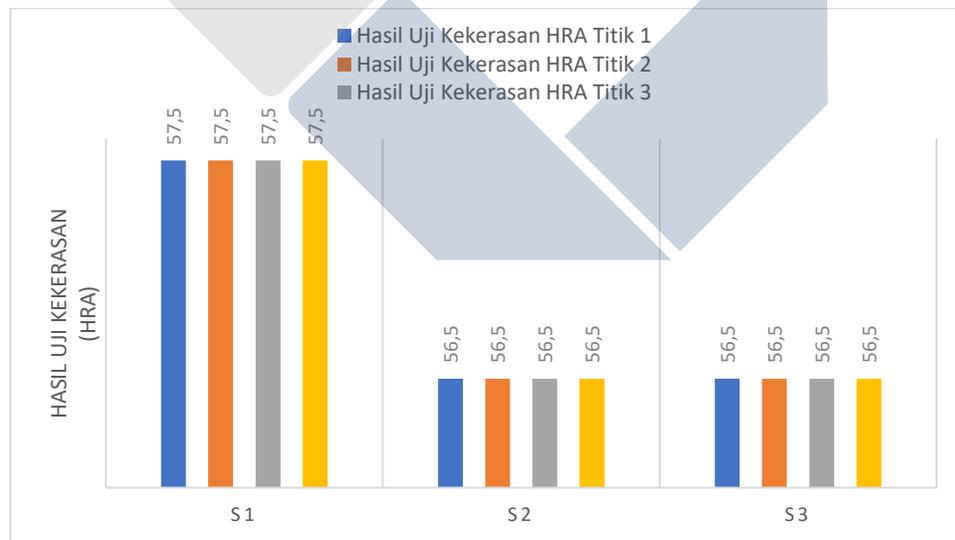
Benda Kerja	Hasil Uji Kekerasan HRA			Rata-Rata
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	
S1	57.5	57.5	57.5	57.5
S2	56.5	56.5	56.5	56.5
S3	56.5	56.5	56.5	56.5

Berdasarkan Tabel 4.1 diatas, jika dibuatkan grafik maka didapatkan grafik seperti berikut.



Gambar 4.4 Grafik Hasil Uji Kekerasan (Spesimen Melalui Perlakuan Panas)

Sebagai perbandingan, berikut ditampilkan data hasil uji kekerasan untuk material yang tidak melalui proses perlakuan panas.



Gambar 4.5 Grafik Hasil Uji Kekerasan (Spesimen Tidak Melalui Perlakuan Panas)

4.1.3 Analisis Hasil Uji Kekerasan

Berdasarkan hasil uji kekerasan, diketahui bahwa terjadi penurunan tingkat kekerasan sekitar $\pm 27\%$ dari nilai kekerasan material yang tidak melalui

proses perlakuan panas sebesar 56.5-57.5 HRA turun menjadi 40.4-41.9 HRA. Hal ini disebabkan oleh efek perlakuan panas *Solution Annealing* yang pada dasarnya menurunkan kekerasan material, namun dapat menyeragamkan butir mikro struktur material.

4.2 Uji Mikrostruktur

Analisis mikrostruktur merupakan suatu teknik pengujian yang bertujuan untuk mengamati struktur internal suatu material pada skala mikroskopis. Metode ini memungkinkan visualisasi mendetail tentang struktur mikro seperti ukuran butir, bentuk butir, cacat kristal, dan fasa-fasa yang terdapat dalam material, sehingga dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai sifat-sifat material tersebut.

4.2.1 Proses Pengambilan Data

Tahap awal pengujian dimulai dengan memotong sampel dari setiap variabel penelitian menjadi potongan kecil. Sampel kemudian diampelas secara bertahap menggunakan grit 240, 800, dan 1000 hingga permukaannya halus, lalu dipoles dengan serbuk intan agar lebih halus dan berkilau. Setelah itu, sampel dietsa menggunakan larutan Aqua Regia untuk menonjolkan struktur mikronya, lalu diamati di bawah mikroskop dengan pembesaran 100x untuk analisis mikrostruktur.



Gambar 4.6 Proses Uji Mikrostruktur

4.2.2 Hasil Pengujian Mikrostruktur

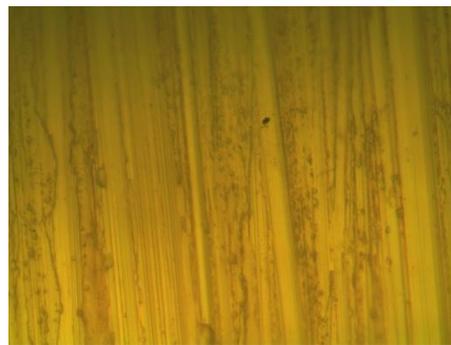
Berdasarkan hasil pengamatan uji mikrostruktur menggunakan mikroskop optik pada pembesaran 100x, diperoleh beberapa mikrograf yang menunjukkan variasi struktur butir yang signifikan pada sampel *Stainless Steel* yang telah mengalami proses perlakuan panas. Citra-citra ini akan dianalisis lebih lanjut untuk mengukur ukuran butir rata-rata, menentukan bentuk butir, dan mengidentifikasi keberadaan fasa Austenit, Karbida Cr (Chromium), dan Ferrite, serta untuk mengkorelasikan struktur mikro dengan sifat mekanik material.

4.2.2.1 Sampel yang Tidak Mengalami Perlakuan Panas



Gambar 4.7 Sampel Tanpa Perlakuan Panas

4.2.2.2 Sampel yang Mengalami Perlakuan Panas (3 Jam)



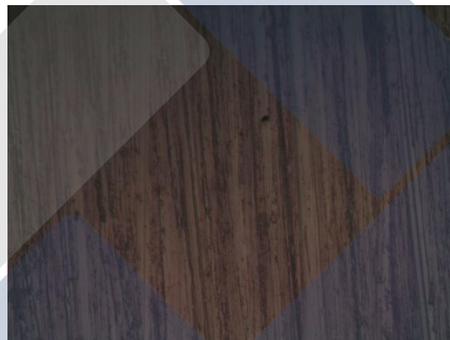
Gambar 4.8 Sampel Dengan Perlakuan Panas Selama 3 Jam

4.2.2.3 Sampel yang Mengalami Perlakuan Panas (4 Jam)



Gambar 4.9 Sampel Dengan Perlakuan Panas Selama 4 Jam

4.2.2.4 Sampel yang Mengalami Perlakuan Panas (5 Jam)



Gambar 4.10 Sampel Dengan Perlakuan Panas Selama 5 Jam

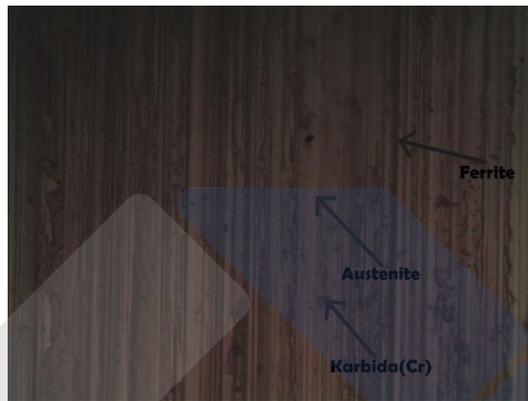
4.2.3 Analisis Hasil Uji Mikrostruktur

Analisis mikrostruktur menunjukkan bahwa terdapat pembesaran signifikan pada struktur butir sampel yang telah mengalami perlakuan panas jika dibandingkan dengan sampel tanpa perlakuan. Pengolahan citra digital menggunakan perangkat lunak MATLAB mengkonfirmasi hasil pengamatan ini.

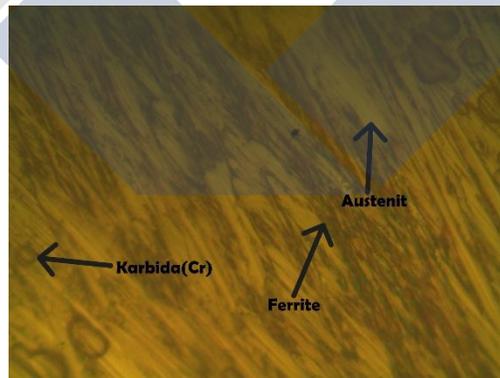
4.2.3.1 Segmentasi Fasa

Berdasarkan analisis citra digital yang dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB, berhasil diidentifikasi beberapa fase mikrostruktur yang tampak secara jelas. Fase-fase tersebut meliputi fase austenit, yang

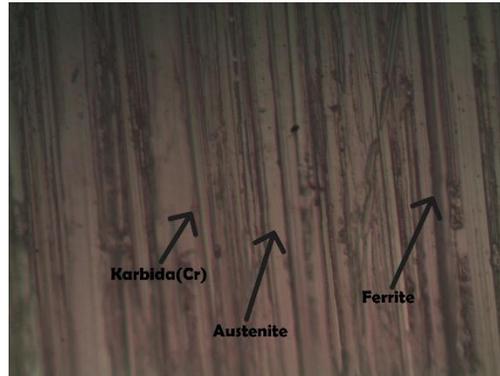
ditandai dengan warna terang; fase ferit, yang terlihat sebagai area berwarna gelap atau hitam pekat; serta fase karbida krom (Cr), yang tampak dalam bentuk bintik-bintik berwarna hitam. Identifikasi ini didasarkan pada perbedaan karakteristik visual dan sifat optik masing-masing fase dalam citra yang dianalisis.



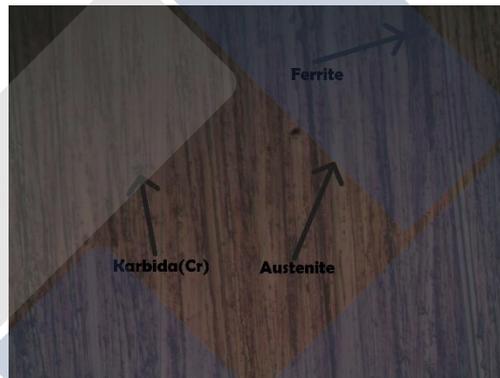
Gambar 4.11 Segmentasi Fasa (Sampel Tidak Melalui Perlakuan Panas)



Gambar 4.12 Segmentasi Fasa (Sampel Dengan Perlakuan Panas Selama 3 Jam)



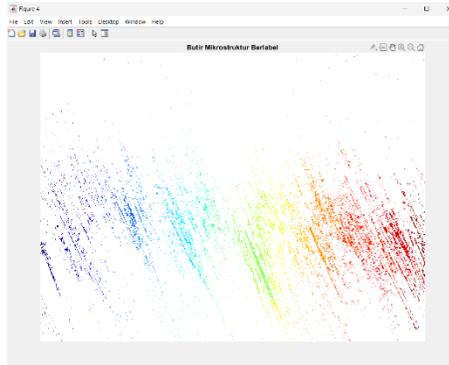
Gambar 4. 13 Segmentasi Fasa (Sampel Dengan Perlakuan Panas Selama 4 Jam)



Gambar 4. 14 Segmentasi Fasa (Sampel Dengan Perlakuan Panas Selama 5 Jam)

4.2.3.2 Sampel yang tidak Melalui Perlakuan Panas

Hasil citra digital menggunakan perangkat lunak MATLAB pada struktur mikro sampel yang tidak melalui perlakuan panas adalah sebagai berikut :

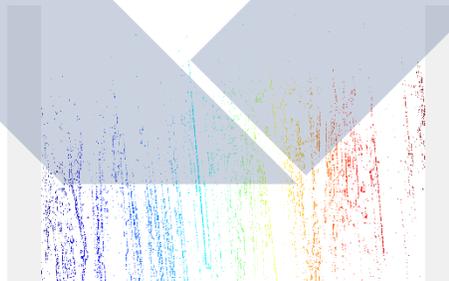


Gambar 4.15 Hasil Citra Digital (Tidak Melalui Perlakuan Panas)

Berdasarkan hasil citra digital, terdeteksi sebanyak 11955 titik butir mikro struktur dengan ukuran butir rata-rata 30 μm .

4.2.3.3 Sampel yang Melalui Perlakuan Panas (3 Jam)

Hasil citra digital pada uji struktur mikro pada sampel yang melalui perlakuan panas selama 3 jam adalah sebagai berikut :

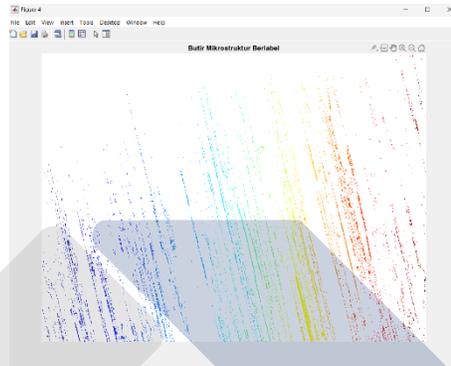


Gambar 4.16 Hasil Citra Digital (Sampel Dengan Perlakuan Panas Selama 3 Jam)

Berdasarkan hasil analisis citra digital, terdeteksi sebanyak 11.100 titik butir mikrostruktur dengan ukuran butir rata-rata mencapai 32 μm .

4.2.3.4 Sampel yang Melalui Perlakuan Panas (4 Jam)

Hasil citra digital menggunakan perangkat lunak MATLAB pada hasil uji struktur mikro pada sampel yang melalui perlakuan panas dengan waktu tahan selama 4 jam adalah sebagai berikut :

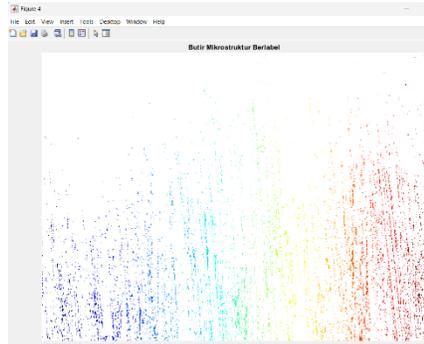


Gambar 4.17 Hasil Citra Digital (Sampel Dengan Perlakuan Panas Selama 4 Jam)

Berdasarkan hasil analisis citra digital, terdeteksi sebanyak 7.442 titik butir mikrostruktur dengan ukuran butir rata-rata sebesar 36 μm . Hal ini menunjukkan distribusi butir mikrostruktur yang relatif merata dalam sampel. Data ini juga memberikan gambaran tentang homogenitas material yang diuji, yang penting untuk mengevaluasi kualitas dan karakteristik material, seperti kekuatan mekanik dan ketahanan korosi.

4.2.3.5 Sampel yang Melalui Perlakuan Panas (5 Jam)

Hasil citra digital menggunakan MATLAB pada sampel dengan perlakuan panas dengan waktu tahan selama 5 jam adalah sebagai berikut :



Gambar 4.18 Hasil Citra Digital (Sampel Dengan Perlakuan Panas Selama 5 Jam)

Berdasarkan hasil citra digital, terdeteksi sebanyak 10299 titik butir mikrostruktur dengan ukuran butir rata-rata 36 μm .

4.2.4 Kesimpulan Hasil Uji Mikrostruktur

Berdasarkan hasil analisis struktur mikro, dapat disimpulkan bahwa perlakuan panas solution annealing pada sampel telah menyebabkan pertumbuhan butir. Hal ini ditunjukkan oleh peningkatan ukuran butir rata-rata secara bertahap seiring dengan peningkatan holding time (waktu penahanan pada suhu annealing).

Sampel tanpa perlakuan panas memiliki ukuran butir rata-rata sebesar 30 μm . Setelah dilakukan perlakuan panas dengan waktu tahan (holding time) 3 jam, ukuran butir meningkat menjadi 32 μm . Peningkatan berlanjut hingga mencapai 36 μm pada waktu tahan 4 jam. Menariknya, pada waktu tahan 5 jam, ukuran butir tidak menunjukkan perubahan signifikan dibandingkan dengan waktu tahan 4 jam, mengindikasikan bahwa pertumbuhan butir telah mencapai kondisi stabil.

Penelitian ini berhasil menunjukkan efektivitas perlakuan panas solution annealing dalam meningkatkan performa pisau potong terhadap kontaminasi CNSL. Dengan suhu 1065°C dan waktu tahan minimal 3 jam, hasil uji menunjukkan peningkatan ketahanan signifikan.

Sesuai dengan studi literatur, pertumbuhan butir yang teramati pada sampel yang di-anneal berkorelasi dengan penurunan kekuatan dan peningkatan keuletan. Hasil pengujian kekerasan pada penelitian ini sejalan dengan hasil uji mikrostruktur, di mana sampel yang mengalami pertumbuhan butir menunjukkan peningkatan sifat keuletan.

4.3 Uji Pemotongan

Uji pemotongan merupakan suatu teknik pengujian yang bertujuan untuk mengevaluasi kinerja alat pemotong dalam memotong bahan tertentu pada kondisi tertentu. Metode ini memungkinkan pengamatan mendetail mengenai efektivitas pemotongan, seperti kekuatan pisau, ketajaman, serta dampak yang ditimbulkan pada struktur biji kacang mete. Uji ini memberikan wawasan yang lebih dalam mengenai kemampuan pisau dalam menghasilkan pemotongan yang presisi dan mengidentifikasi potensi kerusakan atau perubahan yang terjadi pada biji kacang mete selama proses pemotongan.

4.3.1 Proses Pengambilan Data

Proses pengambilan data pada uji pemotongan dimulai dengan tahap persiapan alat, yakni mengasah pisau hingga mencapai tingkat ketajaman yang optimal. Setelah proses pengasahan selesai, pisau digunakan untuk memotong biji kacang mete secara hati-hati. Setiap pisau hanya digunakan untuk memotong maksimal 30 butir biji kacang mete, guna memastikan konsistensi dalam uji coba. Setelah seluruh proses pemotongan selesai, pisau dibiarkan beberapa saat di udara terbuka untuk memungkinkan adanya pengeringan alami. Selanjutnya, pisau dibersihkan dengan cara dicuci menggunakan air bersih, diikuti dengan pengeringan ringan dengan menggunakan jari tangan untuk menghilangkan sisa-sisa air. Tahap terakhir dari proses ini adalah pengamatan terhadap pengaruh getah kacang mete yang menempel pada permukaan pisau, yang dapat memberikan informasi terkait potensi pengaruh getah terhadap ketajaman pisau dan kondisi pemotongan.



Gambar 4.19 Proses Uji Pemotongan



Gambar 4.20 Kacang Mete

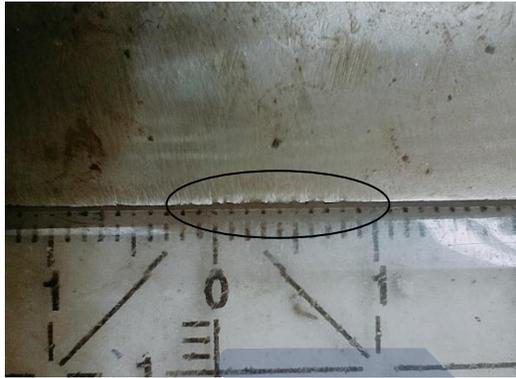


Gambar 4.21 Pembersihan Sisa Pemotongan

4.3.2 Hasil Uji Pemotongan

Berdasarkan hasil pengujian, ditemukan bahwa terdapat kerusakan berupa rompal sepanjang 8mm sedalam 0.5mm pada sampel yang tidak mengalami perlakuan panas. Rompal tersebut teridentifikasi pada mata pisau yang digunakan untuk melakukan beberapa kali pemotongan pada titik yang

sama. Sebaliknya, pada sampel yang telah mengalami perlakuan panas, tidak ditemukan adanya rompal maupun kerusakan pada mata pisau.



Gambar 4.22 Rompal pada sampel yang tidak melalui perlakuan panas

Pisau yang telah menjalani proses pemanasan selama 3 jam menunjukkan performa yang meningkat selama pengujian pemotongan, dengan tidak ditemukannya kerusakan berupa rompal pada mata pisau. Perlakuan panas dengan durasi tersebut menghasilkan mata pisau yang memiliki ketahanan tinggi terhadap tekanan potong dan gesekan, sehingga tidak mengalami kerusakan struktural selama proses pengujian. Temuan ini menunjukkan bahwa waktu pemanasan selama 3 jam merupakan durasi yang cukup efektif untuk meningkatkan sifat mekanis stainless steel tipe 304. Melalui proses perlakuan panas ini, material stainless steel mampu mencapai tingkat kekuatan dan ketangguhan yang memadai, sehingga dapat digunakan dalam aplikasi pemotongan yang membutuhkan ketahanan terhadap beban tinggi dan kondisi kerja yang ekstrem. Penelitian ini menegaskan pentingnya pengaturan durasi perlakuan panas dalam mengoptimalkan performa material untuk penggunaan fungsional tertentu.



Gambar 4.23 Mata Potong Sampel yang Mengalami Perlakuan Panas Selama 3 Jam

Pisau yang menjalani perlakuan panas selama 4 jam juga menunjukkan hasil yang sangat baik selama uji pemotongan, tanpa ditemukannya rompal atau kerusakan pada mata pisau. Durasi pemanasan yang sedikit lebih lama dibandingkan dengan 3 jam memberikan hasil yang setara, mengindikasikan bahwa material telah memperoleh sifat mekanis yang lebih optimal. Dengan demikian, perlakuan panas selama 4 jam memberikan keandalan yang sangat tinggi pada material, memastikan bahwa mata pisau mampu mempertahankan integritas strukturalnya. Temuan ini menegaskan bahwa perpanjangan durasi pemanasan dapat menjadi alternatif yang efektif untuk memastikan kualitas material dalam berbagai aplikasi teknis dengan risiko kerusakan minimal.



Gambar 4.24 Mata Potong Sampel yang Mengalami Perlakuan Panas Selama 4 Jam

Pisau yang menjalani perlakuan panas selama lima jam tetap menunjukkan performa yang optimal, ditandai dengan tidak adanya rompal atau kerusakan pada mata pisau selama uji pemotongan. Meskipun durasi pemanasan lebih panjang dibandingkan dengan 3 dan 4 jam, hasil pengujian menunjukkan konsistensi performa, yang mengindikasikan bahwa durasi 5 jam juga efektif dalam meningkatkan ketahanan dan daya tahan material terhadap tekanan mekanis. Temuan ini mengungkapkan bahwa stainless steel tipe 304 memiliki rentang toleransi yang luas terhadap variasi waktu pemanasan, memungkinkan fleksibilitas dalam proses perlakuan panas tanpa memengaruhi kualitas maupun performa material. Dengan demikian, durasi pemanasan selama 5 jam dapat menjadi alternatif yang layak untuk mencapai sifat mekanis yang diinginkan, khususnya dalam aplikasi yang memerlukan kekuatan tinggi dan ketahanan terhadap kondisi kerja berat.



Gambar 4.25 Mata Potong Sampel yang Mengalami Perlakuan Panas Selama 5 Jam

Pada material yang tidak mengalami perlakuan panas, ditemukan adanya getah yang melekat dengan intensitas yang cukup tinggi, sehingga sulit untuk dibersihkan secara menyeluruh. Ukuran getah pada material ini relatif lebih besar jika dibandingkan dengan material yang telah melalui proses perlakuan panas. Selain itu, getah yang menempel pada permukaan material juga bercampur dengan serpihan kulit kacang mete yang tidak terpisahkan selama proses pengujian. Kombinasi antara getah dan serpihan kulit ini

menghasilkan bercak hitam pekat yang menempel pada material. Kondisi ini tidak hanya memengaruhi aspek visual material tetapi juga berpotensi memengaruhi sifat fisik dan kimia permukaan material, yang dapat berdampak pada kualitas dan fungsionalitas produk akhir.

Berdasarkan analisis citra digital menggunakan perangkat lunak MATLAB, diperoleh bahwa luas total penampang yang terkontaminasi adalah sebesar 80.29 mm², dengan area kontaminasi getah mencapai 22.07 mm². Oleh karena itu, rata-rata kontaminasi getah pada setiap 1 mm² penampang adalah sebesar 0.27 mm². Hasil ini menunjukkan distribusi kontaminasi yang signifikan pada area penampang yang dianalisis.



Gambar 4.26 Bercak getah yang menempel pada sampel (Tidak Melalui Proses Perlakuan Panas)

Pada sampel yang telah mengalami perlakuan panas, getah kacang mete menunjukkan karakteristik yang lebih mudah dibersihkan dibandingkan dengan sampel tanpa perlakuan panas. Hal ini mengurangi risiko terjadinya pencampuran kotoran dari kulit kacang mete dan residu getah pada permukaan pisau. Namun, meskipun getah tersebut lebih mudah dibersihkan, masih terdapat bercak berwarna kekuningan yang tertinggal pada permukaan pisau. Bercak ini memiliki sifat yang cukup sulit untuk dihilangkan sepenuhnya, menunjukkan bahwa meskipun perlakuan panas dapat meminimalkan

penempelan getah, tetap ada residu visual yang memerlukan penanganan lebih lanjut.

Berdasarkan hasil analisis citra digital yang dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB, diperoleh informasi bahwa luas total penampang pisau potong yang terkontaminasi oleh getah kacang mete adalah sebesar 20.2 mm². Dari total area tersebut, area yang secara spesifik teridentifikasi sebagai kontaminasi getah mencapai 4.45 mm². Dengan demikian, rata-rata kontaminasi getah pada setiap satuan luas penampang, yaitu per 1 mm², adalah sebesar 0.220 mm². Nilai ini menggambarkan bahwa meskipun perlakuan panas telah dilakukan, residu getah tetap terdistribusi di beberapa bagian permukaan pisau, meskipun dalam jumlah yang lebih kecil dibandingkan dengan pisau tanpa perlakuan panas. Hasil ini mengindikasikan bahwa meski tingkat adhesi CNSL telah berkurang, kontaminasi masih cukup signifikan untuk memengaruhi kinerja operasional, terutama jika residu ini dibiarkan menumpuk selama proses produksi. Analisis ini memberikan gambaran detail mengenai efektivitas perlakuan panas dalam mengurangi adhesi, sekaligus menunjukkan area potensial untuk perbaikan lebih lanjut dalam pengendalian kontaminasi.



Gambar 4.27 Sampel yang Mengalami Perlakuan Panas Selama 5 Jam

Selanjutnya menampilkan hasil uji pemotongan pada material stainless steel tipe 304 yang telah menjalani perlakuan panas menggunakan metode

solution annealing, dengan durasi pemanasan selama 4 jam. Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi sejauh mana perlakuan tersebut dapat mengurangi adhesi getah kacang mete (CNSL) pada permukaan pisau potong. Tanda panah berwarna hitam pada gambar menunjukkan area sisa getah yang masih menempel pada permukaan pisau setelah pengujian pemotongan.

Melalui analisis citra digital menggunakan perangkat lunak MATLAB, ditemukan bahwa luas total penampang pisau yang terkontaminasi oleh getah adalah sebesar 21.5 mm². Dari total area tersebut, area yang secara khusus teridentifikasi sebagai kontaminasi getah mencapai 4.37 mm². Hal ini memberikan rata-rata kontaminasi getah sebesar 0.203 mm² per 1 mm² penampang. Meskipun hasil ini menunjukkan bahwa perlakuan panas dengan durasi pemanasan 4 jam mampu mengurangi tingkat adhesi dibandingkan dengan material tanpa perlakuan, distribusi kontaminasi pada permukaan tetap terbilang signifikan.

Temuan ini mengindikasikan bahwa durasi pemanasan selama 4 jam cukup efektif, di mana tingkat kontaminasi getah lebih rendah dibandingkan dengan waktu tahan selama 5 jam. Data ini menjadi dasar penting untuk memahami efektivitas perlakuan panas dalam mengurangi adhesi CNSL dan meningkatkan performa pisau potong.



Gambar 4.28 Sampel yang Mengalami Perlakuan Panas Selama 4 Jam

Hasil uji pemotongan berikutnya ditunjukkan pada material stainless steel tipe 304 yang telah mengalami perlakuan panas dengan metode solution annealing, di mana durasi pemanasan ditetapkan selama 3 jam.

Hasil analisis citra digital menggunakan perangkat lunak MATLAB menunjukkan bahwa luas total penampang pada pisau potong yang terkontaminasi oleh getah kacang mete (CNSL) adalah sebesar 20.7 mm². Dari total area tersebut, sebanyak 4.28 mm² diidentifikasi secara spesifik sebagai area yang tertutupi oleh residu getah. Berdasarkan data ini, rata-rata tingkat kontaminasi pada setiap 1 mm² penampang dihitung sebesar 0.207 mm².

Angka tersebut menggambarkan bahwa meskipun telah dilakukan perlakuan panas dengan metode solution annealing, residu getah masih terdistribusi di berbagai bagian permukaan pisau. Kontaminasi ini cukup signifikan, sehingga dapat memengaruhi kualitas penggunaan pisau, terutama dalam proses pemotongan yang intensif dan berulang. Temuan ini menunjukkan efektivitas perlakuan panas dalam mengurangi adhesi CNSL dibandingkan pisau tanpa perlakuan, namun hasil yang dicapai belum optimal sepenuhnya.



Gambar 4.29 Sampel yang Mengalami Perlakuan Panas Selama 3 Jam

4.3.3 Analisis Hasil Uji Pemotongan

Hasil uji pemotongan pada pisau *stainless steel* tipe 304 menunjukkan perbedaan yang signifikan antara sampel yang telah menjalani perlakuan panas *solution annealing* dengan berbagai durasi waktu tahan (3, 4, dan 5 jam) dan sampel yang tidak mengalami perlakuan panas. Analisis dilakukan untuk menilai kinerja pisau terhadap adhesi getah kacang mete (CNSL) dan pengaruhnya terhadap kondisi fisik pisau setelah proses pemotongan.

1. Kondisi Pisau Tanpa Perlakuan Panas

Pisau yang tidak menjalani perlakuan panas menunjukkan kelemahan signifikan selama uji pemotongan. Ditemukan kerusakan berupa rompal sepanjang 8 mm dan kedalaman 0.5 mm pada mata pisau akibat tekanan mekanis yang berulang. Selain itu:

- Adhesi CNSL: CNSL menempel dengan intensitas tinggi, dengan luas area kontaminasi mencapai 22.07 mm² pada total penampang 80.29 mm², menghasilkan rata-rata kontaminasi 0.27 mm² per mm².
- Efek Visual dan Fungsional: Residunya bercampur dengan serpihan kulit kacang, menghasilkan bercak hitam pekat yang sulit dihilangkan dan berpotensi memengaruhi kinerja serta keamanan produk.

2. Pisau dengan Perlakuan Panas

Perlakuan panas *solution annealing* secara signifikan meningkatkan performa pisau. Berikut adalah rincian hasil untuk masing-masing durasi:

- Durasi 3 Jam:
 - Luas kontaminasi getah mencapai 4.28 mm² pada total penampang 20.7 mm² dengan rata-rata kontaminasi 0.207 mm² per mm².

- Getah lebih mudah dibersihkan, namun masih terdapat sisa bercak yang cukup terlihat.
- Durasi 4 Jam:
 - Luas area kontaminasi sedikit meningkat menjadi 4.37 mm² pada total penampang 21.5 mm², dengan rata-rata kontaminasi 0.203 mm² per mm².
 - Sisa residu minimal, menunjukkan peningkatan performa yang stabil.
- Durasi 5 Jam:
 - Menunjukkan performa terbaik dengan luas area kontaminasi 4.45 mm² pada total penampang 20.2 mm², menghasilkan rata-rata kontaminasi 0.220 mm² per mm².
 - Pisau tetap bersih dan bebas dari serpihan padat, dengan bercak residu yang hampir tidak terlihat.

3. Efektivitas Perlakuan Panas

- Ketahanan Terhadap Adhesi: Proses perlakuan panas mengurangi adhesi getah secara signifikan dibandingkan pisau tanpa perlakuan. Durasi pemanasan memengaruhi distribusi dan luas kontaminasi, di mana perlakuan selama 5 jam memberikan hasil terbaik.
- Ketahanan Mekanis: Tidak ditemukan rompal pada mata pisau yang menjalani perlakuan panas, menunjukkan peningkatan resistensi terhadap tekanan mekanis.

4. Implikasi Hasil

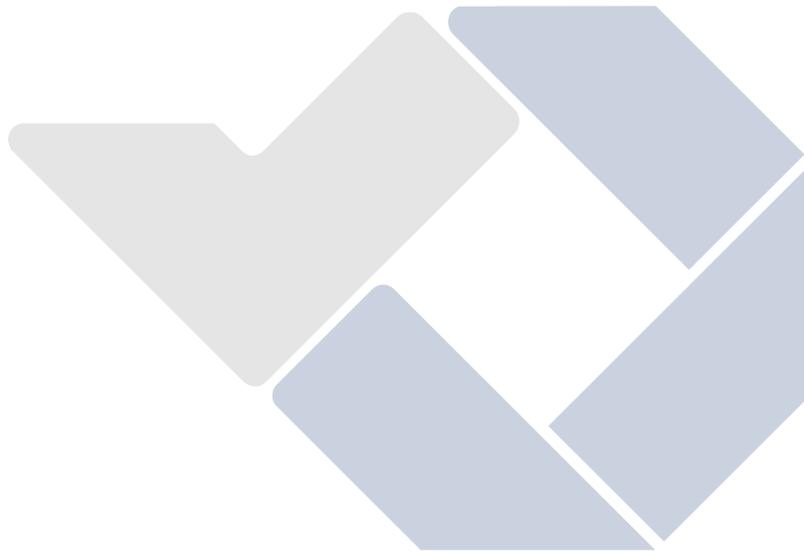
Hasil ini mengindikasikan bahwa perlakuan panas solution annealing pada stainless steel 304 mampu meningkatkan durabilitas pisau potong dalam menghadapi adhesi CNSL. Durasi pemanasan 5 jam memberikan hasil optimal, tetapi durasi 3-4 jam tetap efektif untuk aplikasi yang lebih ekonomis. Proses ini relevan untuk diterapkan dalam industri pengolahan kacang mete guna mengurangi biaya operasional jangka panjang dan meningkatkan efisiensi proses produksi.

4.3.4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil uji pemotongan pada pisau potong berbahan stainless steel tipe 304, berikut kesimpulan utama yang dapat diambil:

1. Perlakuan panas solution annealing terbukti mampu mengurangi adhesi getah kacang mete (CNSL) secara signifikan. Pisau tanpa perlakuan panas menunjukkan tingkat adhesi yang tinggi dengan rata-rata luas kontaminasi $0.27 \text{ mm}^2 \text{ per mm}^2$, sedangkan pisau yang telah menjalani perlakuan panas memiliki rata-rata kontaminasi yang jauh lebih rendah, yaitu $0.207\text{--}0.220 \text{ mm}^2 \text{ per mm}^2$, tergantung pada durasi waktu tahan.
2. Pisau yang mengalami perlakuan panas selama 5 jam menunjukkan performa terbaik dalam mengurangi adhesi CNSL, di mana residu getah pada permukaan pisau sangat minim dan mudah dibersihkan. Namun, perlakuan dengan durasi 3 dan 4 jam juga memberikan hasil yang cukup baik, sehingga dapat menjadi alternatif lebih ekonomis.
3. Pisau tanpa perlakuan panas mengalami kerusakan berupa rompal sepanjang 8 mm dan kedalaman 0.5 mm setelah uji pemotongan. Sebaliknya, pisau yang telah melalui perlakuan panas tidak menunjukkan kerusakan serupa, menandakan peningkatan signifikan dalam ketahanan mekanis terhadap tekanan selama proses pemotongan.

Kesimpulan ini menggarisbawahi bahwa perlakuan panas solution annealing adalah metode yang efektif untuk meningkatkan performa pisau potong berbahan stainless steel 304, baik dari segi ketahanan mekanis maupun kemampuan menghadapi adhesi getah kacang mete.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh perlakuan panas solution annealing pada pisau potong berbahan stainless steel 304 terhadap resistensi terhadap kontaminasi getah kacang mete (CNSL), berikut kesimpulan yang menjawab rumusan masalah:

1. Pengaruh Kontaminasi Getah Kacang Mete (CNSL) terhadap Struktur Mikro Stainless Steel 304:
 - CNSL memengaruhi struktur mikro pisau potong dengan menyebabkan adhesi yang tinggi, terutama pada pisau yang tidak menjalani perlakuan panas. Getah yang melekat bercampur dengan serpihan kulit kacang, menghasilkan residu yang sulit dibersihkan.
 - Pada pisau tanpa perlakuan panas, analisis mikrostruktur menunjukkan struktur butir yang lebih kecil dan tidak seragam (ukuran rata-rata butir 30 μm). Setelah perlakuan panas, struktur mikro menjadi lebih homogen, dengan ukuran butir meningkat hingga 36 μm pada waktu tahan 4–5 jam.
2. Perlakuan Panas yang Tepat untuk Meningkatkan Performa Pisau Potong terhadap Kontaminasi CNSL:
 - Perlakuan panas solution annealing pada suhu 1065°C dengan waktu penahanan 3–5 jam secara signifikan meningkatkan performa pisau potong. Waktu tahan 5 jam memberikan hasil terbaik dengan adhesi CNSL yang minimal (luas kontaminasi rata-rata 0,220 mm² per mm²) dan tidak ada kerusakan mekanis seperti rompal.

- Pisau yang menjalani perlakuan panas menunjukkan peningkatan ketahanan mekanis dan keuletan, serta residu CNSL yang lebih mudah dibersihkan dibandingkan pisau tanpa perlakuan panas.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang diperoleh, berikut adalah saran untuk penelitian dan aplikasi di masa mendatang

1. Penelitian Lanjutan

Lakukan eksplorasi terhadap pengaruh perlakuan panas dengan variasi suhu yang lebih tinggi atau waktu penahanan lebih lama untuk memahami batas optimal perlakuan panas pada stainless steel 304. Teliti efek berbagai media quenching (seperti oli atau udara) terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pisau.

2. Pengembangan Material

Pertimbangkan penggunaan stainless steel dengan tingkat kandungan kromium atau nikel yang lebih tinggi untuk meningkatkan ketahanan korosi dan adhesi. Eksplorasi aplikasi lapisan anti-adhesi pada permukaan pisau untuk meminimalkan efek CNSL.

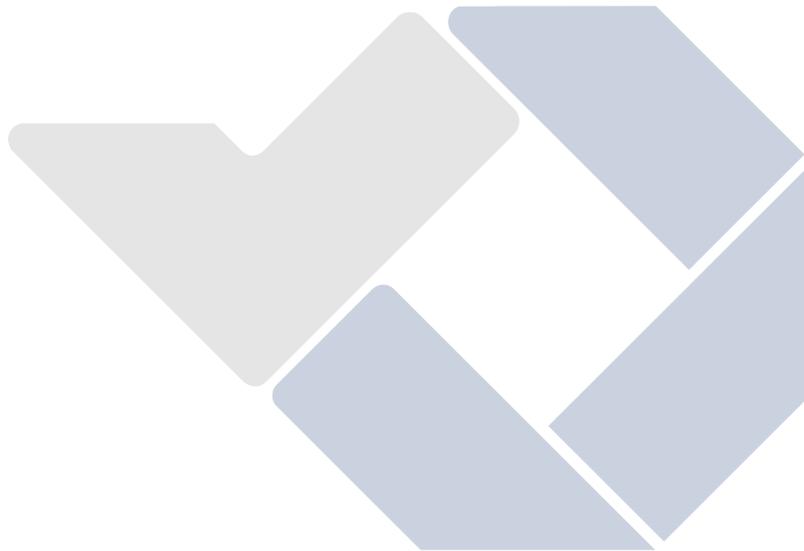
3. Aplikasi Industri

Rekomendasikan penggunaan metode pembersihan khusus, seperti penggunaan larutan pembersih berbasis alkali, untuk mempermudah penghilangan residu CNSL. Terapkan perlakuan panas solution annealing secara luas pada alat-alat yang digunakan dalam pengolahan bahan makanan untuk meningkatkan efisiensi dan keamanan.

4. Pengujian Tambahan

Lakukan uji ketahanan terhadap korosi dan keausan dalam jangka panjang untuk mengevaluasi performa pisau yang telah melalui perlakuan panas. Perluas pengujian terhadap bahan makanan lain yang mengandung senyawa adhesif serupa untuk memvalidasi keunggulan metode perlakuan panas ini.

Penelitian ini memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan teknologi material stainless steel 304 untuk aplikasi industri makanan, khususnya dalam menghadapi tantangan adhesi bahan kimia seperti CNSL.



Daftar Pustaka

- [1]. Ely, Jumarni. "Pemanfaatan Ekstrak Kulit Biji Jambu Mete (*Anacardium occidentale*) Sebagai Insektisida Nabati Nyamuk *Aedes Aegypti*." *GLOBAL HEALTH SCIENCE* 5.1 (2020): 10-14.
- [2]. Yokasing, Yohanes Benediktus, Amiruddin Abdullah, and Antonius Pangalinan. "Pengelompokan dan Perlakuan serta Kemampuan Bakar Kulit Biji Mente pada Teknologi Bakar Kulit Biji Mente." *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin* 6.2 (2017): 141-149. Towaha, Juniaty, and Nur Rofiq Ahmadi. "Pemanfaatan cashew nut shell liquid sebagai sumber fenol alami pada industri." *Journal of Industrial and Beverage Crops* 2.2 (2011): 133275.
- [3]. Ratnasanti, Diyah Ayu. "Perancangan Alat Pengupas Mete Dengan Pendekatan Quality Function Deployment (QFD) dan Value Engineering." *Institut Teknologi Sepuluh Nopember* 1 (2017): 1-97.
- [4]. D. Astriani, E. Martono, T. Harjaka, and Witjaksono, "Extraction, nanoemulsion development and the toxicity of cashew nut shell liquid (CNSL) to maize weevil *sitophilus zeamais*," *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 9, no. 6, pp. 2048–2054, 2019, doi: 10.18517/ijaseit.9.6.10619.
- [5]. Towaha, Juniaty, and Nur Rofiq Ahmadi. "Pemanfaatan cashew nut shell liquid sebagai sumber fenol alami pada industri." *Journal of Industrial and Beverage Crops* 2.2 (2011): 133275.
- [6]. Bloise, Ermelinda, et al. "Advances in Nanomaterials Based on Cashew Nut Shell Liquid." *Nanomaterials* 13.17 (2023): 2486.
- [7]. Sumarji, Sumarji. "Studi perbandingan ketahanan korosi stainless steel tipe SS 304 dan SS 201 menggunakan metode U-bend test secara siklik dengan variasi suhu dan Ph." *ROTOR* 4.1 (2011): 1-8.
- [8]. G. J. Joo and G. S. Park, "자기연덕턴스를 이용한 Stainless Steel 배관 내 이물질 검사에 대한 연구," pp. 2–4, 2006.
- [9]. Cuadrado, C., Á. Sanchiz, and R. Linacero. "Nut Allergenicity: Effect of Food Processing. *Allergies* 2021, 1, 150–162." (2021).
- [10]. S. Wahid, "Ilmu Logam II," 1999.
- [11]. Digges, Thomas G., Samuel Jacob Rosenberg, and Glenn W. Geil. *Heat treatment and properties of iron and steel*. US Government Printing Office, 1966.

- [12]. Rusjdi, Halim, Andika Widya Pramono, and Wahyu Bawono Faathir. "Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro pada Baja AISI 4340." *JURNAL POWERPLANT* 4.2 (2016): 95-106.
- [13]. Lestarinigrum, Amalia Ulif. "Analisa Sensitisasi Pada Baja Tahan Karat Aisi 304 Menggunakan Laku Panas Normalizing dengan Variasi Temperatur." *Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya* (2018).
- [14]. Salman, Salman, Emmy Dyiah Sulistyowati, and Agus Dwi Chatur. "Pengaruh Media Pendingin pada Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Plat Strip Stainless Steel AISI 304." *Journal of Engineering and Emerging Technology* 1.1 (2023): 24-32.
- [15]. Tukur, S. A., et al. "Effect of heat treatment temperature on mechanical properties of the AISI 304 stainless steel." *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 3.2 (2014): 9516-9520.
- [16]. Li, Luyan, et al. "Effect of Heat Treatment on Microstructure and Properties Evolution of Stainless Steel Cladding Plate." *Materials* 16.13 (2023): 4809.
- [17]. Liu, R. L., et al. "Microstructure and corrosion behavior of low temperature carburized AISI 304 stainless steel." *Materials Research Express* 6.6 (2019): 066417.
- [18]. Ahmad, S., et al. "Enhancement of Stainless Steel's Mechanical Properties via Carburizing Process." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 160. No. 1. IOP Publishing, 2016.
- [19]. Peng, Yawei, et al. "Effect of low-temperature surface carburization on stress corrosion cracking of AISI 304 austenitic stainless steel." *Surface and Coatings Technology* 328 (2017): 420-427.
- [20]. Pratama, Dioni Yoga, and Indra Gunawan. "PENINGKATAN KEKERASAN PISAU SADAP KARET PRODUK PANDAI BESI DENGAN PROSES HARDENING DAN QUENCHING (VARIASI TEMPERATUR DAN MEDIA PENDINGIN)." *MACHINERY: Jurnal Teknologi Terapan* 1.1 (2020): 71-80.
- [21]. Zhang, Pengfei, et al. "Anti-adhesion effects of liquid-infused textured surfaces on high-temperature stainless steel for soft tissue." *Applied Surface Science* 385 (2016): 249-256.
- [22]. M. A. Kurniawan, P. Studi, P. Teknik, and J. I. Pendidikan, *PENGARUH PERLAKUAN PANAS QUENCHING TERHADAP NILAI KEKERASAN PLAT*

STRIP STAINLESS STEEL ST - 304 YANG DICELUPKAN LARUTAN SULFUR, no. 06121381924047. 2023.

- [23]. Setyowati, Vuri Ayu, and Eriek Wahyu Restu Widodo. "The Effect of TIG Welding for 304 and 304L Stainless Steel to Mechanical Properties, XRD and EDX Characterization as Pressure Vessel Materials." *Jurnal Teknik Mesin* 7.2 (2017): 74-80.
- [24]. Onwudili, Anthony Edozie, and Sunday Chukwuka Iweka. "Full-annealing and its effect on the Mechanical Properties of Alloy 304H Stainless Steel." *Journal of Engineering Research and Reports* 20.1 (2021): 28-44.
- [25]. Essoussi, Hamza, et al. "Heat treatment effect on mechanical properties of AISI 304 austenitic stainless steel." *Procedia Manufacturing* 32 (2019): 883-888.
- [26]. Safitri, Rizky Haura Nindya. *Analisa Sensitisasi Pada Baja Tahan Karat Tipe AISI 304 Menggunakan Laku Panas Normalizing Dengan Variasi Waktu Penahanan*. Diss. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.
- [27]. Fajar Ferdian Mulya, "Analisa Korosi Retak Tegangan Pada Stainless Steel (Aisi304) Yang Diberi Perlakuan Panas Dengan Variasi Temperatur," no. Aisi 304, pp. 1-77, 2019.
- [28]. Vamshi, Manne, J. Saranya, and Ram Subbiah. "Improvement of characteristics of AISI 310 grade stainless steel material by carburizing." *E3S Web of Conferences*. Vol. 184. EDP Sciences, 2020.
- [29]. KHAMME, Eakapoj, and Rachsak SAKDANUPHAB. "Study of corrosion properties of carbon steel, 304 and 316L stainless steels in sulfuric acid and their degradation products." *Journal of Metals, Materials and Minerals* 33.4 (2023): 1672-1672.
- [30]. Furtado, Luana B., et al. "Eco-friendly corrosion inhibitors based on Cashew nut shell liquid (CNSL) for acidizing fluids." *Journal of Molecular Liquids* 284 (2019): 393-404.
- [31]. Watson, Edna S., et al. "Immunologic studies of poisonous anacardiaceae: I. Production of tolerance and desensitization to poison ivy and oak urushiols using esterified urushiol derivatives in guinea pigs." *Journal of Investigative Dermatology* 76.3 (1981): 164-170.

LAMPIRAN 1

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

1. Data Pribadi

Nama Lengkap : Veldi Handi Rahmadan
Tempat & Tanggal Lahir : Tangerang, 08 November 2003
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Alamat : Jalan Damai Desa Lampur, Kecamatan Sungaiselan, Kabupaten Bangka Tengah, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung
No Telpon/HP : 081373435796
Email : veldihandirahmadan@gmail.com



2. Riwayat Pendidikan

SDN 20 Sungaiselan (2009-2015)
SMP Negeri 2 Sungaiselan (2015-2018)
SMA Negeri 2 Sungaiselan (2018-2021)

Sungailiat, 08 Januari 2025

Veldi Handi Rahmadan

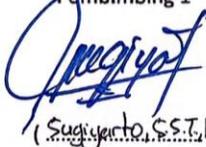
LAMPIRAN 2

FORM MONITORING PROYEK AKHIR

FORM-PPR-3- 6: Form Monitoring Proyek Akhir

		FORM MONITORING PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK 2023 / 2024	
JUDUL		Analisis Resistensi Pisau Potong Terhadap Kontaminasi Gatal Kacang Mete (CNSL): Studi Kasus Pada Material Pisau Potong Stainless Steel.	
Nama Mahasiswa		1. Veldi Handi Dahmadan /NIRM: 1042159 2. /NIRM: 3. /NIRM: 4. /NIRM: 5. /NIRM:	
Monitoring ke	Tanggal	Progress Alat	Paraf Pembimbing
2.	1/8 2024.	Telah menyelesaikan Proses heat treatment dan uji kekerasan.	f

KESIAPAN ALAT UNTUK SIDANG: SIAP / ~~BEUM~~ (coret salah satu)

Mengetahui		
Pembimbing 1  (Sugiyarto, S.S.T, MT.)	Pembimbing 2 (Ir. Dedy Permehani, S.S.T, MT)	Pembimbing 3 (.....)

FORM-PPR-3-6: Form Monitoring Proyek Akhir

Monitoring ke		Tanggal	Progress Alat	Paraf Pembimbing
1.		7 Mei 2024	Penyerjaan Bab 1 dan bab 3	
2.		14 Mei 2024	Review Tujuan Penelitian, Elaborasi Metode Penelitian, Konsep dan Penyempurnaan.	

KESIAPAN ALAT UNTUK SIDANG: SIAP / BELUM (coret yang tidak terpenuhi)

Mengetahui		
Pembimbing 1	Pembimbing 2	Pembimbing 3
(.....)	 Ir. Dedy R. Harahap, M.Sc. (Eng.)	(.....)

Silahkan diatur kolom baru jika jumlah pembimbing lebih dari yang tersedia.

LAMPIRAN 3

FORM BIMBINGAN PROYEK AKHIR

FORM-PPR-3- 4: Bimbingan Proyek Akhir

 FORM BIMBINGAN PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK 2023/2024			
JUDUL	Analisis Resistensi Pisau Potong Terhadap Kontaminasi Gelas Kering Mabe (GKSL): Studi Kasus Pada Material Pisau Potong Stainless Steel.		
Nama Mahasiswa	Veldi Handi Rahmadan NIRM: 1042159		
Nama Pembimbing	1. Sugiyarto, S.S.T., M.T. 2. Ir. Dedy Ramdhani, S.S.T., M.Sc. 3.		
Pertemuan Ke	Tanggal	Topik Bimbingan	Paraf dan nama Pembimbing
1	22/10/23	Diskusi Makalah Bab 1 dan 2.	f
2	6/5/24	Teknik Perlakuan Panas.	f
3	2/6/24	Diskusi Makalah Bab 1, 2 dan 3.	f
4	14/7	Revisi Makalah	f
5	19/7	Persiapan Perlakuan Panas	f
6	26/7	Hasil Perlakuan Panas dan Bab 4	f
7	29/7	Hasil Uji Kekerasan dan Bab 4	f
8			
9			
10			

Catatan:

- Jika pertemuan bimbingan lebih dari sepuluh kali, dapat mengambil Form kembali di Panitia/Komisi Proyek Akhir

LAMPIRAN 4

FORM REVISI PROYEK AKHIR

FORM-PPR-3-8: Form Revisi Laporan Akhir

 <p style="text-align: center;">FORM REVISI LAPORAN AKHIR TAHUN AKADEMIK 2023/1/2024</p>	
JUDUL :	<i>Analisis Resistensi Pisau Potong Terhadap Kontaminasi Gelas Kaca, Meja (GNSL) Suhu Ruang pada Material Pisau Potong Stainless Steel</i>
Nama Mahasiswa :	1. <i>Veldi Handi Ramadhan</i> NIM: <i>1042159</i> 2. _____ NIM: _____ 3. _____ NIM: _____ 4. _____ NIM: _____ 5. _____ NIM: _____
Bagian yang direvisi	Halaman
<i>- Revisi laporan</i>	
<i>- lanjut uji struktur mikro</i>	
<i>- uji pemfangan mata pisau</i>	
<i>- Pengambilan data & pengolahan data serta analisa data.</i>	
Sunggailiat, <i>2 Agustus 2024</i>	
Penguji <i>[Signature]</i> (<i>Sugiyarto</i>)	
Menyatakan telah menyetujui revisi laporan akhir yang telah dilakukan oleh mahasiswa	
Mengetahui, Pembimbing Utama <i>[Signature]</i> (<i>Sugiyarto</i>)	Sunggailiat, <i>7-01-2025</i> Penguji <i>[Signature]</i> (<i>Sugiyarto</i>)

FORM-PPR-3-8: Form Revisi Laporan Akhir

 FORM REVISI LAPORAN AKHIR TAHUN AKADEMIK	
JUDUL :	Analisis Reaksi Pemas Hf. Katanjari Getah Kaca Muli (CNSL): Studi Kasus pd Material pada paku Stimulus Skel
Nama Mahasiswa :	1. <u>Veldi H R.</u> NIM: _____ 2. _____ NIM: _____ 3. _____ NIM: _____ 4. _____ NIM: _____ 5. _____ NIM: _____
Bagian yang direvisi	Halaman
- Abstrak	
- Daftar (Bab I)	
- Bab III	
- Bab IV	
- Bab V	
Sunggailat, <u>02-08-2014</u>	
Penguji  (.....)	
Menyatakan telah menyetujui revisi laporan akhir yang telah dilakukan oleh mahasiswa	
Mengetahui, Pembimbing Utama  (.....)	Sunggailat, Penguji  (.....)

FORM-PPR-3-8: Form Revisi Laporan Akhir



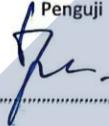
**FORM REVISI LAPORAN AKHIR
TAHUN AKADEMIK**

...../...../.....

JUDUL : Analisa Resistensi pada bakteri yang terkontaminasi oleh kuman pada material pada permukaan

Nama Mahasiswa :

1.	<u>Valde H. R.</u>	NIM:	<u>1042159</u>
2.	_____	NIM:	_____
3.	_____	NIM:	_____
4.	_____	NIM:	_____
5.	_____	NIM:	_____

Bagian yang direvisi	Halaman
<u>- perbaikan masalah pada abstrak</u>	
<u>* format yg telah di ajarkan</u>	
<u>- tabel pada pembahasan data.</u>	
Sunggailiat,	
Penguji  (.....)	
Menyatakan telah menyetujui revisi laporan akhir yang telah dilakukan oleh mahasiswa	
Mengetahui, Pembimbing Utama  (.....)	Sunggailiat, Penguji  (.....)

LAMPIRAN 5

HASIL TURNITIN

Skripsi_Veldi_Handi_Rahmadan-1736386993421

ORIGINALITY REPORT



PRIMARY SOURCES



Exclude quotes On
Exclude bibliography On

Exclude matches < 1%

LAMPIRAN 6

POSTER PROYEK AKHIR

PROYEK AKHIR TAHUN

Analisis Resistensi Pisau Potong Terhadap Kontaminasi Getah Kacang Mete (CNSL): Studi Kasus Pada Material Pisau Potong Stainless Steel

Nama Mahasiswa
Veldi Handi Rahmadan (1042159)

Dosen Pembimbing 1
Sugiyarto, S.S.T, M.T.
Dosen Pembimbing 2
Ir. Dedy Ramdhani, S.S.T, M.Sc.



Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh dari kontaminasi getah kacang mete (CNSL) terhadap struktur mikro pisau potong Stainless Steel 304 serta untuk mengetahui perlakuan panas yang tepat dilakukan untuk meningkatkan kualitas pisau potong terhadap kontaminasi getah kacang mete (CNSL).

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen di mana akan dilakukan proses perlakuan Solution Annealing pada material dengan suhu 1065°C dengan 3 variasi waktu penahanan (Holding Time) yaitu selama 3 jam, 4 jam, dan 5 jam.

Analisis

Pada penelitian ini, material yang telah melalui proses perlakuan panas akan di lihat struktur mikronya menggunakan mikroskop lalu hasilnya akan dibandingkan antara material yang dipelekan Solution Annealing dengan yang tidak dipelekan Solution Annealing.

Setelah dilakukan analisis struktur mikro, akan dilakukan uji pemotongan untuk mengetahui kinerja pisau potong serta untuk mengetahui pengaruh getah kacang mete terhadap struktur mikro material.

Latar Belakang

Salah satu alat yang sangat penting dalam proses produksi kacang mete adalah pisau potong. Pisau potong tersebut digunakan untuk membuka serta memisahkan kulit kacang mete dengan biji di dalamnya. Pisau potong yang digunakan umumnya menggunakan bahan stainless steel. Pisau stainless steel dipilih karena banyak digunakan pada industri makanan karena sifatnya yang tahan karat, kuat, dan mudah dibersihkan. Namun kontaminasi CNSL masih dapat mempengaruhi kinerja serta proses produksi kacang mete.

Penelitian ini secara khusus ingin menganalisis pengaruh kontaminasi getah kacang mete terhadap ketahanan pisau stainless steel serta diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang faktor-faktor yang dapat mempengaruhi ketahanan pisau stainless steel terhadap CNSL. Sehingga dapat diketahui metode perlakuan panas yang paling optimal untuk meningkatkan ketahanan pisau terhadap CNSL.



LAMPIRAN 7

ALGORITMA PENGUKURAN MIKROSTRUKTUR CITRA DIGITAL MATLAB

```
% Parameter

imagePath = 'nama file gambar.jpg';

magnification = 100;

imageWidthPixels = 2048;

scaleMicrons = 264.5;

% Baca gambar

originalImage = imread(imagePath);
grayImage = rgb2gray(originalImage);

% munculin gambar

figure, imshow(originalImage), title('Citra Asli');
figure, imshow(grayImage), title('Citra Grayscale');

% 2. konversi skala piksel ke mikron

micronsPerPixel = scaleMicrons / imageWidthPixels;

% 3. kontras

adjustedImage = imadjust(grayImage);

% 4. deteksi batas tepi

edgeImage = edge(adjustedImage, 'sobel');

% munculin gambar hasil deteksi tepi

figure, imshow(edgeImage), title('Deteksi Tepi dengan Sobel');
```

```

% 5. nandain butir

se = strel('disk', 2);

closedImage = imclose(edgeImage, se);

% ngasih Abel setiap butir yang terdeteksi

[labeledImage, numGrains] = bwlabel(closedImage);

% 6. ngitung ukuran butir

stats = regionprops(labeledImage, 'EquivDiameter');

grainSizesMicrons = [stats.EquivDiameter] * micronsPerPixel;

% 7. ngitung rata rata

averageGrainSize = mean(grainSizesMicrons);

% hasil akhir

fprintf('Jumlah Butir Teridentifikasi: %d\n', numGrains);

fprintf('Ukuran Rata-rata Butir dalam Mikron: %.2f mikron\n', averageGrainSize);

% munculin hasil gambar

figure, imshow(label2rgb(labeledImage)), title('Butir Mikrostruktur Berlabel');

```

ALGORITMA PENGUKURAN AREA KONTAMINASI GETAH

```
clear;

close all;

% === Input Parameter ===

% Masukkan file gambar

imageFile = 'nama file.jpg'; % Ganti dengan nama file gambar Anda

% Konstanta

pixelSize = 0.268; % mm (ukuran satu piksel)

% === Baca Gambar ===

img = imread(imageFile);

% Tampilkan gambar asli

figure;

imshow(img);

title('Gambar Asli');

% === Konversi ke Grayscale ===

grayImg = rgb2gray(img);

% === Thresholding untuk deteksi karat ===

% Sesuaikan nilai threshold untuk mendeteksi karat

threshold = 100; % Nilai threshold, bisa disesuaikan

binaryImg = grayImg < threshold; % Karat diasumsikan lebih gelap

% Tampilkan gambar biner
```

```

figure;

imshow(binaryImg);

title('Gambar Biner (Karat)');

% === Hitung Luas Area ===

% Total piksel pada gambar

[height, width] = size(binaryImg);

totalPixels = height * width;

% Luas total penampang gambar dalam mm^2
areaTotal = totalPixels * (pixelSize^2);

% Hitung jumlah piksel yang terdeteksi sebagai karat
karatPixels = sum(binaryImg(:));

% Luas area karat dalam mm^2
areaKarat = karatPixels * (pixelSize^2);

% Kontaminasi karat per mm^2

karatPerMM2 = areaKarat / areaTotal;

% === Tampilkan Hasil ===

fprintf('Luas total penampang: %.2f mm^2\n', areaTotal);

fprintf('Luas area karat: %.2f mm^2\n', areaKarat);

fprintf('Kontaminasi karat per mm^2: %.6f\n', karatPerMM2);

% Tampilkan gambar dengan overlay karat

overlayImg = img;

```

```
overlayImg repmat(binaryImg, [1, 1, 3]) = 255; % Highlight karat dengan warna  
putih  
figure;  
imshow(overlayImg);  
title('Gambar dengan Karat Ditandai');
```

