

**PENGARUH VARIASI SUHU DAN *HOLDING TIME* PADA
PROSES *ANNEALING* MATERIAL NI-HARD TERHADAP
KEMAMPUAN PEMESINAN**

Tugas Akhir

Disusun sebagai salah satu syarat untuk
menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Diploma IV

Oleh

Billy Heriawan

221411010



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MANUFAKTUR
POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG**

2025

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir yang berjudul:

**PENGARUH VARIASI SUHU DAN *HOLDING TIME* PADA PROSES
ANNEALING MATERIAL NI-HARD TERHADAP KEMAMPUAN
PEMESINAN**

Oleh:

Billy Heriawan

221411010

Telah direvisi, disetujui, dan disahkan sebagai Tugas Akhir penutup program
pendidikan Sarjana Terapan (Diploma IV)

Politeknik Manufaktur Bandung

Bandung, 05 Agustus 2025

Disetujui,

Pembimbing I,



Antonius Adi Soetopo, SST., MT.
NIP. 196506102003121001

Pembimbing II,



Reza Yadi Hidayat, ST., MT.
NIP. 196309061992011001

Disahkan,
Ketua Penguji



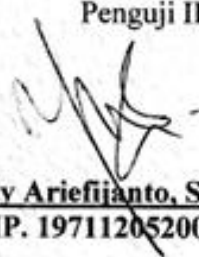
Otto Punawarman, S.T., M.T.
NIP. 196207101989031004

Penguji I



Pandoe, S.T., M.T.
NIP. 196903031995121002

Penguji II



Dedy Ariefijanto, S.ST., M.T.
NIP. 197112052002121001

PERNYATAAN ORISINALITAS

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Billy Heriawan
NIM : 221411010
Jurusan : Teknik Manufaktur
Program Studi : Teknologi Rekayasa Manufaktur
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Pengaruh Variasi Suhu dan *Holding time* pada Proses *Annealing* Material Ni-Hard Terhadap Kemampuan Pemesinan

Menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri (orisinal) atas bimbingan para Pembimbing.
2. Dalam tugas akhir ini tidak terdapat keseluruhan atau sebagian tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin atau meniru dalam bentuk rangkaian kalimat atau simbol yang menunjukkan gagasan atau pendapat atau pemikiran dari penulis lain, yang saya akui seolah-olah sebagai tulisan saya sendiri, dan/atau tidak terdapat bagian atau keseluruhan tulisan yang saya salin, tiru, atau yang saya ambil dari tulisan orang lain tanpa memberikan pengakuan penulis aslinya (referensi).
3. Bila kemudian terbukti bahwa saya melakukan tindakan yang bertentangan dengan hal tersebut di atas, baik disengaja atau tidak, saya bersedia menerima akibatnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 05 – 08 – 2025
Yang Menyatakan,



(Billy Heriawan)
NIM 221411010

PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Billy Heriawan
NIM : 221411010
Jurusan : Teknik Manufaktur
Program Studi : Teknologi Rekayasa Manufaktur
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Pengaruh Variasi Suhu dan *Holding time* pada Proses *Annealing* Material Ni-Hard terhadap Kemampuan Pemesinan

Menyatakan/menyetujui bahwa:

1. Segala bentuk Hak Kekayaan Intelektual terkait dengan tugas akhir tersebut menjadi milik Institusi Politeknik Manufaktur Bandung, yang selanjutnya pengelolaanya berada dibawah Jurusan dan Program Studi, dan diatur sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2. Memberikan kepada Politeknik Manufaktur Bandung Hak Bebas Royalti Noneklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas hasil tugas akhir saya tersebut. beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini, maka Politeknik Manufaktur Bandung berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama-nama Dosen Pembimbing dan nama saya sebagai anggota penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 05 – 08 – 2025
Yang Menyatakan,



(Billy Heriawan)
NIM 221411010

MOTO PRIBADI

"Dalam diam, aku merencanakan. Dalam fokus, aku membangun. Setiap langkah adalah persiapan menuju kelulusan yang gemilang, dan setiap proses adalah pijakan menuju mimpiku menjadi engineer."

Tugas akhir dan kelulusan ini kupersembahkan untuk Ibu yang selalu menjadi sumber kekuatanku, dan untuk Almarhum Ayah yang meskipun tak lagi di sini, setiap langkahku adalah doa untuk memenuhi harapannya. Semoga kelulusan ini menjadi bukti bahwa pengorbanan dan kasih sayang kalian tidak pernah sia-sia.

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah yang hanya kepadaNya kami memuji, memohon pertolongan, dan mohon keampunan. Kami berlindung kepadaNya dari kekejian diri dan kejahatan amalan kami. Barang siapa yang diberi petunjuk oleh Allah maka tidak ada yang dapat menyesatkan, dan barang siapa yang tersesat dari jalanNya maka tidak ada yang dapat memberinya petunjuk. Dan aku bersaksi bahwa tiada sembah yang berhak disembah melainkan Allah saja, yang tiada sekutu bagiNya. Dan aku bersaksi bahwa Muhammad adalah hambaNya dan RasulNya.

Atas petunjuk dan pertolongan-Nya, Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul: “Pengaruh Variasi Suhu dan *Holding time* pada Proses *Annealing* Material Ni-Hard terhadap Kemampuan Pemesinan”.

Tugas akhir dibuat dalam rangka memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan (Diploma-IV) pada Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur di Politeknik Manufaktur Bandung.

Terselesaikannya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. Direktur Politeknik Manufaktur Bandung, Bapak Darma Firmansyah Undayat, S.ST., M.T.
2. Ketua Jurusan Teknik Manufaktur, Bapak Dr. Herman Budi Harja ST., MT., IPM.
3. Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Bapak Dr. Heri Setiawan ST., MT.
4. Para Pembimbing tugas akhir Bapak Antonius Adi Soetopo, SST., MT., dan Bapak Reza Yadi Hidayat, ST., MT. yang telah membimbing penulis dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir.
5. Para Penguji sidang tugas akhir Bapak Otto Punawarman, S.T., M.T, Bapak Pandoe, S.T., M.T., dan Bapak Dedy Ariefijanto, S.ST., M.T.

6. Seluruh Dosen, Instruktur dan karyawan Jurusan Teknik Manufaktur.
7. Teristimewa kepada Orang Tua penulis Ibu Erna Rishana Dewi (Ibu) dan Almarhum Bapak Heri Durachman (Bapak) yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan pengorbanannya baik dari segi moril, materi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Untuk kakak saya Dicky Heriawan dan Novia Permata Dewi yang telah yang selalu memberikan doa serta dukungan.
9. Untuk sahabat – sahabat saya Ilham Azhar, Ahmad Fauzi, Ady Rustandi, dan Anggi Widya Pratama yang senantiasa membantu dan selalu mendengar keluh kesah penulis selama menyelesaikan Tugas Akhir.
10. Pihak lain yang tidak dapat disebutkan namanya satu per satu yang telah terlibat dan membantu sehingga tugas akhir ini dapat disusun dengan baik dan lancar.

Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu, penulis memohon saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaannya dan semoga bermanfaat bagi kita semua. Aamiin Ya Robbal Alamin.

Bandung, 05 – 08 - 2025

Billy Heriawan

ABSTRAK

Komponen *cover* pompa *submersible* di industri pertambangan beroperasi pada lingkungan yang abrasif dan korosif, sehingga memerlukan material dengan ketahanan aus tinggi. Material seperti besi cor FC 25 telah digunakan, namun menunjukkan kelemahan dalam ketahanan aus dan korosi jangka panjang. Berdasarkan kebutuhan performa, material Ni-Hard dipilih pada penelitian sebelumnya dengan pertimbangan memiliki mikrostruktur keras berupa karbida krom dan martensit dengan kekerasan tinggi (± 50 – 58 HRC). Namun, kekerasan tinggi ini menyebabkan kesulitan dalam proses pemesinan konvensional, sehingga diperlukan solusi untuk meningkatkan *machinability*-nya. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan sifat mekanik Ni-Hard melalui perlakuan panas *annealing* agar dapat diproses menggunakan alat potong konvensional. Eksperimen dilakukan dengan dua rentang suhu: 400 – 600 °C untuk menentukan batas zona getas (*embrittlement zone*), serta 800 – 1000 °C dengan variasi *holding time* 1–6 jam untuk mengevaluasi pengaruh terhadap kekerasan dan kemampuan pemesinan. Pengujian dilakukan terhadap kekerasan, mikrostruktur, dan hasil pemesinan menggunakan *insert carbide* dan mata bor HSS-Co. Hasil menunjukkan bahwa perlakuan *annealing* pada suhu 1000 °C selama 4 jam menurunkan kekerasan hingga $39,3$ HRC, yang memenuhi batas *machinability* alat potong konvensional. Analisis statistik menggunakan metode *Full factorial Design* (FFD) menunjukkan bahwa suhu merupakan faktor paling berpengaruh terhadap penurunan kekerasan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa *annealing* dengan parameter yang tepat dapat meningkatkan *machinability* Ni-Hard tanpa mengorbankan ketahanan aus, serta memberikan solusi aplikatif dan ekonomis dalam pengembangan komponen tahan aus di industri pertambangan.

Kata Kunci: Ni-Hard, *Annealing*, Kekerasan, Mikrostruktur, Pemesinan, *Full factorial Design*.

ABSTRACT

The submersible pump cover component in the mining industry operates in abrasive and corrosive environments, requiring materials with excellent wear resistance. Materials such as FC 25 cast iron have previously been used, but they exhibit limitations in long-term wear and corrosion resistance. Based on performance requirements, Ni-Hard material was selected in previous studies due to its hard microstructure composed of chromium carbides and martensite, with high hardness levels (± 50 – 58 HRC). However, this high hardness makes conventional machining difficult, requiring a solution to improve its machinability. This study aims to optimize the mechanical properties of Ni-Hard through annealing heat treatment to enable machining with conventional cutting tools. Experiments were conducted in two temperature ranges: 400 – 600 °C to determine the embrittlement zone, and 800 – 1000 °C with holding times ranging from 1 to 6 hours to evaluate the effects on hardness and machinability. Tests were conducted on hardness, microstructure, and machining performance using carbide inserts and HSS-Co drill bits. The results show that annealing at 1000 °C for 4 hours reduced the hardness to 39.3 HRC, making the material suitable for machining with conventional tools. Statistical analysis using the Full factorial Design (FFD) method indicated that temperature is the most significant factor affecting hardness reduction. This study concludes that proper annealing parameters can enhance the machinability of Ni-Hard without significantly compromising wear resistance, offering a practical and cost-effective solution for developing wear-resistant components in the mining industry.

Keywords: *Ni-Hard, Annealing, Hardness, Microstructure, Machining, Full Factorial Design.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)	iii
MOTO PRIBADI	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	I-1
I.1 Latar Belakang	I-1
I.2 Rumusan Masalah	I-5
I.3 Batasan Masalah.....	I-5
I.4 Tujuan dan Manfaat.....	I-6
I.5 Sistematika Penulisan.....	I-7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
II.1 Tinjauan Teori	II-1
II.1.1 Material Ni-Hard.....	II-1
II.1.2 <i>Machineability</i>	II-7
II.1.4 <i>Heat Treatment</i> (Perlakuan Panas).....	II-15
II.1.5 Diagram CCT (<i>Continuous Cooling Transformation</i>).....	II-18
II.1.6 Pengujian Material	II-20
II.1.7 Proses Pemesinan	II-25
II.1.8 <i>Design of Experiment</i> (DoE).....	II-29
II.1.9 Metode <i>Full factorial Design</i>	II-30
II.1.10 <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA).....	II-31
II.2 Tinjauan Alat	II-37
II.2.1 Gerinda Tangan.....	II-37
II.2.2 Alat Uji Kekerasan <i>Rockwell</i>	II-38
II.2.3 <i>Furnace</i> (SS-1200 <i>Annealing Furnace</i>).....	II-39

II.2.4	Mesin Poles	II-40
II.2.5	Larutan Etsa	II-41
II.2.6	Mikroskop Metalografi	II-41
II.2.7	Mesin <i>Milling</i> Konvensional.....	II-42
II.2.8	Mesin <i>Drilling</i> Konvensional.....	II-43
II.2.9	<i>Insert carbide</i>	II-44
II.2.10	Mata Bor.....	II-45
II.2.11	Minitab	II-46
II.3	Studi Penelitian Terdahulu	II-47
BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH		III-1
III.1	Tahapan Proses Penelitian	III-1
III.2	Metode Penelitian	III-5
III.3	Objek Penelitian.....	III-5
III.4	Variabel Penelitian.....	III-6
III.5	Perancangan Percobaan	III-7
III.6	Instrument dan Peralatan	III-7
III.6.1	Gerinda Tangan.....	III-8
III.6.2	Spektrometer	III-8
III.6.3	<i>Furnace SS-1200</i> Untuk Proses <i>Annealing</i>	III-9
III.6.4	<i>Hardness Tester</i>	III-10
III.6.5	Mikroskop Metalografi untuk Observasi Mikrostruktur.....	III-11
III.6.6	Mesin <i>Milling</i> dan <i>Drilling</i> Konvensional	III-12
III.7	Prosedur Penelitian	III-14
III.7.1	Studi Literatur	III-14
III.7.2	Proses Eksperimental (Perlakuan Panas)	III-15
III.7.3	Pengujian Material	III-15
III.7.4	Analisa Data	III-16
III.8	<i>Design of Experiment (DoE)</i>	III-16
III.9	Metode Pengujian	III-17
III.9.1	Pengujian <i>Spektrometri</i>	III-18
III.9.2	Pengujian Kekerasan	III-18
III.9.3	Pengujian Mikrostruktur	III-19
III.10	Teknik Analisis Data	III-20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		IV-1
IV.1	Hasil Analisis Komposisi Kimia.....	IV-1

IV.2	Hasil Pembuatan Spesimen Material Ni-Hard.....	IV-3
IV.3	Hasil Uji Kekerasan	IV-5
IV.3.1	Hasil Uji Kekerasan Sebelum Proses <i>Annealing</i>	IV-5
IV.3.2	Hasil Uji Kekerasan Setelah Proses <i>Annealing</i>	IV-7
IV.3.3	Perbandingan Hasil Uji Kekerasan	IV-9
IV.4	Analisis Pengaruh Suhu dan <i> Holding time </i>	IV-11
IV.5	Perlakuan Panas (<i>Annealing</i>).....	IV-13
IV.6	Hasil Uji Mikrostruktur	IV-14
IV.6.1	Hasil Uji Mikrostruktur Sebelum Proses <i>Annealing</i>	IV-15
IV.6.2	Hasil Uji Mikrostruktur Setelah Proses <i>Annealing</i>	IV-17
IV.7	Hasil Proses Pemesinan	IV-20
IV.7.1	Hasil Proses Pemesinan <i>Milling</i>	IV-20
IV.7.2	Hasil Proses Pemesinan <i>Drilling</i>	IV-23
IV.8	Pengaruh Perubahan Mikrostruktur Terhadap <i>Machinability</i>	IV-27
IV.9	Analisis Statistik Metode <i>Full Factorial Design</i> (FFD) dengan MiniTab	IV-31
BAB V	PENUTUP.....	V-1
V.1	Kesimpulan.....	V-1
V.2	Saran	V-2
DAFTAR PUSTAKA	xx
LAMPIRAN	xxiv

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Komposisi Material Ni-Hard.....	II-2
Tabel II.2 Perbandingan kekerasan dan <i>Machineability</i>	II-7
Tabel II.3 Komposisi kimia & pengaruhnya terhadap <i>Machineability</i>	II-8
Tabel II.4 Mikrostruktur & pengaruhnya terhadap <i>Machineability</i>	II-9
Tabel II.5 Perbandingan umur alat potong.....	II-10
Tabel II.6 Perbandingan V_c	II-10
Tabel II.7 Perbandingan gaya pemotongan.....	II-11
Tabel II.8 Perbandingan kekasaran permukaan	II-11
Tabel II.9 Perbandingan pembentukan serpihan.....	II-11
Tabel II.10 Karakteristik <i>Insert carbide</i>	II-15
Tabel II.11 Rumus <i>F-Ratio</i>	II-36
Tabel II.12 Spesifikasi gerinda tangan.....	II-37
Tabel II.13 Spesifikasi Alat Uji Kekerasan <i>Rockwell</i>	II-38
Tabel II.14 Spesifikasi <i>SS-1200 Annealing Furnace</i>	II-40
Tabel II.15 Spesifikasi Mesin Poles.....	II-40
Tabel II.16 Spesifikasi Mikroskop Metalografi.	II-41
Tabel II.17 Spesifikasi mesin <i>Milling</i>	II-42
Tabel II.18 Spesifikasi mesin bor.....	II-44
Tabel II.19 Spesifikasi <i>Insert</i>	II-45
Tabel II.20 Spesifikasi mata bor.	II-46
Tabel II.21 Studi penelitian terdahulu.....	II-47
Tabel III.1 Tabel penjelasan flowchart penelitian.....	III-2
Tabel III.2 Variabel penelitian.	III-7
Tabel III.3 Spesifikasi tungku pemanas.	III-10
Tabel III.4 Faktor dan level yang digunakan.	III-17
Tabel III.5 Matriks percobaan <i>full factorial</i>	III-17
Tabel III.6 <i>Operation plan</i> uji komposisi.	III-18
Tabel III.7 <i>Operation plan</i> uji kekerasan.....	III-18
Tabel III.8 <i>Operation plan</i> uji mikrostruktur.....	III-19
Tabel IV.1 Komposisi kimia material Ni-Hard.....	IV-1
Tabel IV.2 Hasil Uji Kekerasan (sebelum <i>annealing</i>).....	IV-6

Tabel IV.3 Hasil uji Kekerasan (setelah <i>annealing</i>).....	IV-8
Tabel IV.4 Hasil Uji Kekerasan sebelum dan sesudah <i>annealing</i>	IV-10
Tabel IV.5 Perlakuan panas(<i>annealing</i>).....	IV-13
Tabel IV.6 Hasil pengujian mikrostruktur sebelum <i>annealing</i>	IV-16
Tabel IV.7 Hasil uji mikrostruktur setelah proses <i>annealing</i>	IV-17

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1 Pompa <i>submersible</i>	I-1
Gambar I.2 <i>cover</i> pompa <i>submersible standart</i>	I-2
Gambar I.3 <i>Cover</i> pompa <i>submersible</i> standar mengalami kerusakan.	I-2
Gambar I.4 <i>Cover</i> pompa <i>submersible</i> dengan material <i>lamellar cast iron</i>	I-3
Gambar I.5 <i>Cover</i> pompa <i>submersible</i> dengan material Ni-Hard.	I-4
Gambar II.1 Penggunaan Ni-Hard pada <i>sluury pump impeller</i>	II-1
Gambar II.2 Efek karbon terhadap kekerasan paduan Ni-Hard.	II-3
Gambar II.3 Ketahanan aus terhadap kandungan karbon.	II-4
Gambar II.4 Sifat mekanik material besi cor putih.	II-5
Gambar II.5 Skema diagram <i>rubber-wheel</i>	II-6
Gambar II.6 Mikrostruktur Material Ni-Hard.	II-6
Gambar II.7 Mata bor HSS <i>Cobalt</i>	II-12
Gambar II.8 Geometri mata bor.	II-13
Gambar II.9 <i>Insert carbide</i> (NMX1206ANN PC5300)	II-14
Gambar II.10 Diagram fasa besi karbon	II-16
Gambar II.11 Diagram proses <i>annealing</i>	II-17
Gambar II.12 Diagram CCT material Ni-Hard	II-19
Gambar II.13 Pengujian Kekerasan material.	II-20
Gambar II.14 Pengujian kekerasan metode Brinell.	II-21
Gambar II.15 Pengujian kekerasan metode <i>Rockwell</i>	II-22
Gambar II.16 Pengujian kekerasan metode Vickers	II-22
Gambar II.17 Cara kerja uji OES [36].	II-24
Gambar II.18 Alat uji mikrostruktur.	II-24
Gambar II.19 Design <i>full factorial</i> 2 ³	II-31
Gambar II.20 <i>Analysis of variance computations</i>	II-32
Gambar II.21 Gerinda tangan.	II-37
Gambar II.22 Alat Uji Kekerasan <i>Rockwell</i>	II-38
Gambar II.23 SS-1200 <i>Annealing Furnace</i>	II-39
Gambar II.24 Mesin Poles.	II-40
Gambar II.25 Mikroskop Metalografi.	II-41
Gambar II.26 Mesin <i>Milling</i>	II-42

Gambar II.27 Mesin Bor.	II-43
Gambar II.28 <i>Insert carbide</i>	II-44
Gambar II.29 Mata bor.....	II-46
Gambar II.30 Logo Minitab.	II-47
Gambar III.1 Flowchart penelitian.	III-1
Gambar III.2 Objek penelitian.	III-5
Gambar III.3 <i>Cover Pompa Submersible</i>	III-6
Gambar III.4 Gerinda tangan.	III-8
Gambar III.5 Mesin spektrometer emisi optik di laboratorium material Politeknik Manufaktur Bandung.	III-8
Gambar III.6 Tungku pemanas.	III-9
Gambar III.7 <i>Hardness Tester</i>	III-10
Gambar III.8 Mikroskop metalografi.....	III-11
Gambar III.9 Mesin <i>milling</i> konvensional.	III-13
Gambar III.10 Mesin bor konvensional.	III-14
Gambar IV.1 Proses pembuatan spesimen.....	IV-3
Gambar IV.2 Ukuran Spesimen	IV-4
Gambar IV.3 Alat pemegang spesimen <i>polishing</i>	IV-4
Gambar IV.4 Spesimen material Ni-Hard.....	IV-4
Gambar IV.5 Alat uji kekerasan.....	IV-5
Gambar IV.6 Pengujian kekerasan sebelum <i>annealing</i>	IV-5
Gambar IV.7 Grafik kekerasan material sebelum <i>annealing</i>	IV-7
Gambar IV.8 Pengujian kekerasan setelah <i>annealing</i>	IV-7
Gambar IV.9 Grafik kekerasan material sesudah <i>annealing</i>	IV-9
Gambar IV.10 Grafik perbandingan kekerasan.	IV-10
Gambar IV.11 Grafik pengaruh suhu dan <i>holding time</i> terhadap kekerasan. ..	IV-12
Gambar IV.12 Diagram <i>annealing</i>	IV-14
Gambar IV.13 Alat uji metalografi.	IV-15
Gambar IV.14 Mesin <i>milling</i> konvensional.	IV-20
Gambar IV.15 Hasil <i>Milling</i> material Ni-Hard as-cast.	IV-21
Gambar IV.16 Insert mengalami <i>chipping</i>	IV-22
Gambar IV.17 Hasil <i>Milling</i> material stelah proses <i>annealing</i>	IV-22

Gambar IV.18 Mesin <i>drilling</i> konvensional.	IV-23
Gambar IV.19 Hasil proses <i>drilling</i> material setelah <i>annealing</i>	IV-24
Gambar IV.20 Pengujian Proses <i>drilling</i> material as-cast.	IV-25
Gambar IV.21 Mata bor mengalami chipping.	IV-26
Gambar IV.22 Hasil <i>drilling</i> pada <i>cover</i> pompa <i>submersible</i> (tampak atas)...	IV-26
Gambar IV.23 Hasil <i>drilling</i> pada <i>cover</i> pompa <i>submersible</i> (tampak bawah)...	IV-27
Gambar IV.24 Perubahan mikrostruktur (1) <i>as-cast</i> (2) after <i>annealing</i>	IV-28
Gambar IV.25 Hasil proses pemesinan <i>milling</i>	IV-29
Gambar IV.26 Hasil proses pemesinan bor.	IV-30
Gambar IV.27 Desain <i>factorial</i>	IV-32
Gambar IV.28 Hasil ANOVA.	IV-32
Gambar IV.29 Diagram pareto.	IV-33
Gambar IV.30 <i>Main effect plot</i>	IV-34
Gambar IV.31 <i>Interaction Plot</i>	IV-35
Gambar IV.32 Parameter optimasi untuk proses <i>annealing</i>	IV-36
Gambar IV.33 Solusi optimasi proses <i>annealing</i>	IV-36

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Uji Komposisi

Lampiran 2 Dokumentasi Proses *Annealing*

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

HRC	=	<i>Hardness Rockwell C</i>
CBN	=	<i>Cubic Boron Nitride</i>
C	=	Karbon
Si	=	Silikon
ASTM	=	<i>American Standards Testing and Materials</i>
Mn	=	Mangan
Ni	=	Nikel
Cr	=	Kromium
P	=	Fosfor
S	=	Belerang
Fe	=	Besi
Cr ₇ C ₃	=	Karbida Kromium
M ₇ C ₃	=	Karbida Eutektik
FCC	=	<i>Face-Centered Cubic</i>
HSS	=	<i>High Speed Steel</i>
V _c	=	<i>Velocity Cutting</i>
F _c	=	<i>Cutting Force</i>
BHN	=	<i>Brinell Hardness Number</i>
HR	=	<i>Hardness Rockwell</i>
HV	=	<i>Vickers Hardness</i>
OES	=	<i>Optical Emission Spectroscopy</i>
MM	=	<i>Medium Machining</i>
SEM	=	<i>Scanning Electron Microscopy</i>
ASM	=	<i>American Society for Metals</i>
DoE	=	<i>Design of Experiment</i>
FFD	=	<i>Full factorial Design</i>
ANOVA	=	<i>Analysis of Variance</i>
MS	=	Mean Square
SS	=	Sum of Squares
DOF	=	Degrees of Freedom
fz	=	Feed per tooth

Vf	=	Feed rate total (mm/menit)
n	=	Spindle speed (rpm)
d	=	Diameter alat potong (mm)
π	=	Konstanta pi (3.14)
Z	=	Jumlah mata potong
CCT Diagram	=	<i>Continuous Cooling Transformation</i>
mm	=	Milimeter
\emptyset	=	Diameter

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Industri pertambangan memainkan peran vital dalam pengolahan sumber daya alam, baik secara global maupun nasional. Hasil tambang tidak hanya menjadi komoditas ekspor utama, tetapi juga bahan baku penting bagi berbagai industri lanjutan seperti konstruksi, energi, dan manufaktur. Di Indonesia, arah kebijakan industri pertambangan semakin menekankan pentingnya proses hilirisasi material mentah guna meningkatkan nilai tambah, efisiensi industri, serta kemandirian ekonomi nasional [1]. Oleh karena itu, keberlangsungan dan produktivitas industri pertambangan sangat bergantung pada efektivitas peralatan operasional yang digunakan di lapangan.

Salah satu komponen penting dalam sistem transportasi fluida di lingkungan pertambangan adalah pompa.



Gambar I.1 Pompa *submersible*.

Pompa seperti pada gambar I.1 digunakan untuk mengalirkan air, lumpur, dan *slurry* selama proses ekstraksi dan pemrosesan pada tambang yang kedalamannya mencapai puluhan meter di dalam tambang. Pada kasus penelitian ini pompa tersebut digunakan untuk mengangkut air dan lumpur dalam tambang batu bara dengan kedalaman $\pm 100\text{m}$.

Diantara bagian-bagian pompa, *cover* pompa *submersible* berfungsi sebagai ruang spiral yang mengarahkan dan memperlambat laju aliran *fluida* dari *impeller* menuju *outlet*, sekaligus mengubah energi kinetik menjadi energi tekanan [2].



Gambar I.2 *cover* pompa *submersible* standart.

Berdasarkan hasil observasi, komponen *cover* pompa *submersible* standart dari pabrikan (Gambar I.2) menunjukkan kerusakan setelah masa pemakaian selama 3 hari dengan intensitas operasional 18 jam per hari. Salah satu contoh manifestasi kerusakan tersebut dapat dilihat pada Gambar I.3.

Salah satu tantangan utama yang dihadapi adalah ketiadaan *cover* pompa *submersible* sebagai komponen suku cadang yang tersedia secara terpisah dalam rantai pasokan saat ini. Kondisi ini memaksa konsumen untuk membeli unit pompa secara utuh dengan harga yang cukup signifikan, melebihi Rp4.000.000 per unit, meskipun hanya komponen tertentu yang mengalami kerusakan. Selain menimbulkan pemborosan biaya, praktik ini juga menyebabkan akumulasi limbah komponen yang sebenarnya masih dapat berfungsi, sehingga berdampak negatif terhadap aspek ekonomi dan lingkungan.



Gambar I.3 *Cover* pompa *submersible* standar mengalami kerusakan.

Tingginya harga penggantian unit secara keseluruhan tidak hanya memberatkan dari segi finansial, tetapi juga memperpanjang waktu henti operasional karena proses penggantian yang lebih rumit. Di sisi lain, ketergantungan terhadap pembelian unit utuh juga mengurangi fleksibilitas perawatan dan meningkatkan risiko keterlambatan akibat ketersediaan stok dari pemasok. Solusi terhadap permasalahan ini memerlukan pendekatan terintegrasi, mulai dari pengembangan suku cadang mandiri, optimalisasi material yang lebih tahan lama, hingga penerapan strategi perawatan yang lebih efektif guna mengurangi frekuensi penggantian komponen. Dengan demikian, efisiensi biaya dan kinerja operasional dapat ditingkatkan sekaligus meminimalkan dampak lingkungan dari limbah komponen pompa yang tidak terpakai.

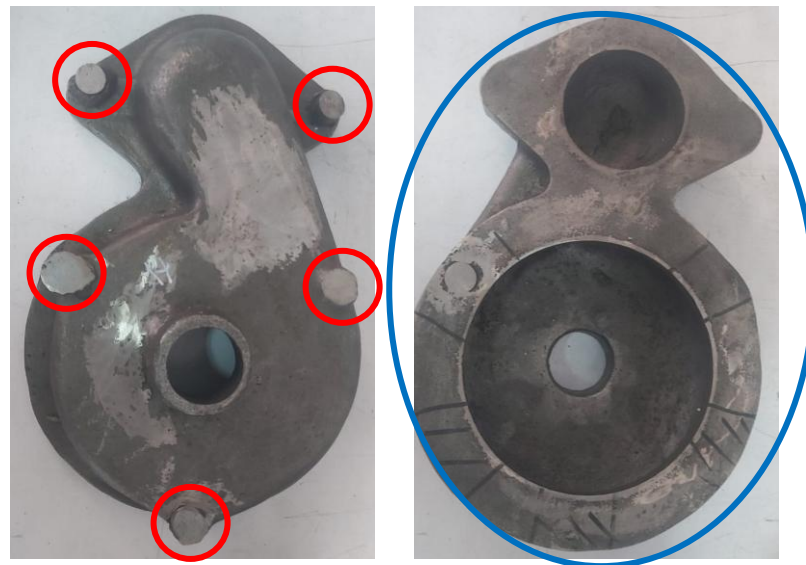
Sebagai solusi awal, komponen *cover* pompa *submersible* diproduksi menggunakan material besi cor FC 25 atau *lamellar cast iron*. Pemilihan material ini dengan pertimbangan sifat mekanik yang memadai dan biaya produksi yang ekonomis. Namun, dalam aplikasi lapangan di lingkungan pertambangan yang bersifat ekstrem dengan siklus operasional intensif (6 hari kerja dengan 18 jam per hari), serta paparan konstan terhadap partikel abrasif seperti pasir dan kerikil, material tersebut menunjukkan keterbatasan signifikan dalam hal ketahanan aus dan resistensi korosi.

Bukti empiris yang terlihat pada Gambar I.4 menunjukkan terjadinya degradasi material berupa korosi dan abrasi yang signifikan pada permukaan *cover* pompa *submersible* setelah periode pemakaian tertentu. Fenomena ini mengindikasikan ketidaksesuaian performa material dengan kondisi operasional yang sebenarnya.



Gambar I.4 *Cover* pompa *submersible* dengan material *lamellar cast iron*.

Beberapa studi menunjukkan bahwa keausan dan korosi merupakan penyebab utama penurunan kinerja *Cover* pompa *submersible* pada pompa pertambangan, yang berdampak pada meningkatnya frekuensi perawatan dan risiko kerusakan sistem secara keseluruhan [3]. Oleh karena itu, dibutuhkan inovasi material yang mampu bekerja secara andal di lingkungan ekstrem tersebut. Sebagai jawaban atas keterbatasan material sebelumnya, Ni-Hard telah diidentifikasi dan dikembangkan dalam penelitian terdahulu sebagai kandidat unggulan dengan ketahanan aus tinggi. Material Ni-Hard yaitu material besi cor putih paduan nikel dan kromium tinggi yang dikenal memiliki ketahanan aus serta kekerasan yang tinggi (50—58 HRC). Material ini banyak digunakan pada komponen yang bersentuhan langsung dengan fluida abrasif. Oleh karena itu *cover* pompa *submersible* dimodifikasi dan materialnya digantikan menggunakan material Ni-Hard dalam penelitian terdahulu seperti pada gambar I.5.



Gambar I.5 *Cover* pompa *submersible* dengan material Ni-Hard.

Ni-Hard yang memiliki karakteristik kekerasan tinggi (50—58 HRC) dan ketahanan aus unggul justru menimbulkan kendala dalam proses pemesinan karena tingkat kekerasannya yang melebihi batas optimal penggunaan alat potong (45 HRC), mengakibatkan kesulitan untuk proses pemesinan (*drilling* yang ditandai lingkaran merah dan *faceMilling* yang dilingkari biru), percepatan keausan pahat, serta peningkatan biaya dan waktu produksi.

Berdasarkan analisis komprehensif terhadap keterbatasan pemesinan material Ni-Hard akibat kekerasan ekstrem dan kegetasannya, penelitian ini mengimplementasikan proses *annealing* sebagai solusi strategis untuk memodifikasi sifat mekanik material secara terkontrol tanpa mengorbankan keunggulan ketahanan ausnya. Melalui perlakuan panas (heat treatment) pada suhu di atas temperatur kritis ($Ac_1 \approx 610^\circ\text{C}$), proses *annealing* memfasilitasi peluruhan fasa martensit dan redistribusi karbida keras ($\text{Fe}_3\text{C}/\text{M}_7\text{C}_3$) menuju struktur ferrit-perlit yang lebih stabil, sehingga menurunkan kekerasan material secara signifikan sekaligus meningkatkan keuletannya untuk mendukung optimasi kemampuan pemesinan [4][5].

Namun, teknik dan parameter *annealing* seperti suhu, *holding time*, dan laju pendinginan harus diatur secara tepat agar menghasilkan perubahan mikrostruktur yang diinginkan. Penelitian mengenai teknik *annealing* terhadap Ni-Hard masih terbatas, khususnya dalam konteks aplikatif di sektor perbaikan komponen pompa pertambangan. Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan untuk mengisi kesenjangan tersebut, sekaligus memberikan kontribusi praktis terhadap pengembangan material tahan aus yang tidak hanya tangguh, tetapi juga ekonomis dan mudah dikerjakan.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh variasi suhu dan *holding time* pada proses *annealing* terhadap penurunan kekerasan material Ni-Hard?
2. Bagaimana perubahan mikrostruktur material Ni-Hard akibat proses *annealing* dan kaitannya dengan peningkatan kemampuan pemesinan (*machinability*)?
3. Parameter *annealing* (suhu dan *holding time*) manakah yang optimal untuk mencapai kekerasan material di bawah 45 HRC agar dapat diproses dengan alat potong konvensional, tanpa mengorbankan ketahanan aus secara signifikan?

I.3 Batasan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang didapatkan, agar dapat dibahas lebih spesifik maka dibentuk beberapa batasan masalah sebagai berikut.

1. Material: Ni-Hard dengan komposisi kimia standar ASTM A532 (Ni 3.3–5.0%, Cr 1.4–4.0%, C 2.8–3.6%).
2. Proses *annealing* hanya divariasikan pada suhu 400°C, 600°C, 800°C, dan 1000°C dengan *holding time* 1 jam, 2 jam, 4 jam, dan 6 jam, serta pendinginan dilakukan dalam tungku (*furnace cooling*).
3. Pengujian sifat material hanya mencakup uji kekerasan Rockwell C (HRC), analisis mikrostruktur untuk observasi fasa austenit dan distribusi karbida, serta uji *machinability* terbatas pada operasi *facing* (*milling*) dan *drilling*.
4. Proses pemesinan menggunakan alat potong konvensional dengan spesifikasi: mata bor HSS-Co berdiameter 10 mm untuk *drilling* dan *insert carbide* NMX1206ANN PC5300 untuk *facing*, dengan parameter pemotongan tetap.
5. Kriteria keberhasilan penelitian dibatasi pada tercapainya kekerasan material ≤ 45 HRC setelah *annealing*, tidak terjadinya *tool failure* (patah/aus ekstrem) selama pemesinan, dan teramatinya distribusi karbida yang homogen dalam mikrostruktur.

I.4 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh variasi suhu dan *holding time annealing* terhadap penurunan kekerasan dan perubahan mikrostruktur material Ni-Hard.
2. Mengevaluasi kemampuan pemesinan (*machinability*) material *pasca-annealing* melalui uji *facing* dan *drilling*.
3. Menentukan parameter optimal (suhu dan *holding time*) proses *annealing* untuk menghasilkan material Ni-Hard dengan kekerasan ≤ 45 HRC dan ketahanan aus yang tetap memadai.

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan rekomendasi proses heat treatment yang efektif untuk meningkatkan kemampuan pemesinan komponen yang terbuat dari material Ni-Hard.

2. Membuktikan secara statistik bahwa suhu merupakan variabel paling berpengaruh dibanding *holding time* dalam konteks perlakuan panas Ni-Hard.
3. Menghindarkan industri dari penggunaan suhu *annealing* yang tidak efektif (400–600 °C), sehingga lebih hemat energi dan terarah.
4. Menyediakan referensi teknis bagi industri manufaktur terkait optimasi perlakuan material tahan aus.
5. Mendukung pengembangan suku cadang pompa yang lebih ekonomis, dapat dimesin ulang, dan ramah lingkungan.

I.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Karya Tulis Ilmiah Tugas Akhir ini dibahas dengan penjabaran sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN, berisi uraian mengenai latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA, berisi gambaran umum tentang landasan teori dari topik yang dikaji dan digunakan sebagai landasan teori yang meliputi konsep-konsep yang relevan dengan permasalahan yang akan diteliti dalam memecahkan masalah. Penelitian terdahulu yang dapat diambil dari jurnal dan tugas akhir aktual.

BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH, berisi langkah-langkah penyelesaian tugas akhir berupa gambaran umum sistem serta perancangan sistem.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN, berisi hasil dan pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN, berisi kesimpulan dan saran berdasarkan penelitian yang telah dilakukan.