

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI MEDIA PUPUK UREA DAN ARANG
BIOAKTIF PADA PROSES *PACK CARBONTRIDING* TERHADAP
KEKERASAN, KEAUSAN DAN METALOGRAFI SEM
BAJA AISI 4140**

SKRIPSI

Oleh:

**MAHARDHIYAN RAIHAN PRATAMA
116190014**



**PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI
JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
YOGYAKARTA
2023**

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI MEDIA PUPUK UREA DAN ARANG
BIOAKTIF PADA PROSES *PACK CARBONTRIDING* TERHADAP
KEKERASAN, KEAUSAN DAN METALOGRAFI SEM
BAJA AISI 4140**

SKRIPSI

Disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

Oleh:

**MAHARDHIYAN RAIHAN PRATAMA
116190014**



**PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI
JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN”
YOGYAKARTA
2023**

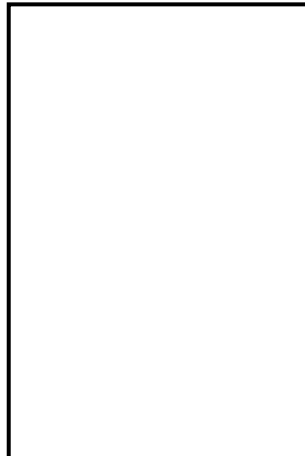
LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI MEDIA PUPUK UREA DAN ARANG
BIOAKTIF PADA PROSES *PACK CARBONITRIDING* TERHADAP
KEKERASAN, KEAUSAN DAN METALOGRAFI SEM
BAJA AISI 4140**

Oleh:

Mahardhiyan Raihan Pratama

116190014



Disetujui untuk

Program Studi Teknik Metalurgi

Jurusan Teknik Pertambangan,

Fakultas Teknologi Mineral, UPN “Veteran” Yogyakarta

Disahkan pada Tanggal.....2023

Pembimbing I

Agris Setiawan, S. Pd. T., M. Eng.

NIP. 19860323 201903 1014

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI MEDIA PUPUK UREA DAN ARANG
BIOAKTIF PADA PROSES *PACK CARBONITRIDING* TERHADAP
KEKERASAN, KEAUSAN DAN METALOGRAFI SEM
BAJA AISI 4140**

Oleh:

Mahardhiyan Raihan Pratama

116190014

Telah dipertahankan di depan penguji ujian akhir Program Studi
Program Studi Teknik Metalurgi
Jurusan Teknik Pertambangan
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

Pada Tanggal:..... 2023

Penguji:

1. Ir. Sudaryanto, M. T.
(Ketua Penguji)
2. Ir. Dyah Probowati, M. T.
(Anggota Penguji)
3. Yasmina Amalia, S. T., M. T.
(Anggota Penguji)
4. Agris Setiawan, S. Pd. T., M. Eng.
(Anggota Penguji)

ABSTRAK

Bucket Wheel Excavator merupakan alat berat yang digunakan dalam dunia pertambangan. Komponen utama alat ini yaitu sebuah *bucket* dimana pada setiap ujungnya dipasangkan beberapa gigi *bucket* yang digunakan untuk menggali atau mengeruk material yang terbuat dari baja AISI 4140. Penggunaan gigi *bucket* yang terus-menerus dapat menyebabkan material mengalami penurunan kualitas serta sifat mekanik seperti kekerasan dan keausan. Upaya mencegah hal tersebut dalam penelitian ini digunakan metode *pack carbonitriding* dimana proses ini memanfaatkan difusi dari nitrogen dan karbon ke lapisan permukaan material. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi komposisi media pupuk urea dan arang bioaktif yang digunakan dalam proses *pack carbonitriding* terhadap kekerasan, keausan dan metalografi SEM baja AISI 4140.

Penelitian ini menggunakan spesimen baja AISI 4140 yang kemudian dibentuk dengan ukuran P x L x T sebesar 40 mm x 20 mm x 10 mm. Media *pack carbonitriding* pada penelitian ini digunakan 3 variasi komposisi pupuk urea dan arang bioaktif diantaranya yakni 60% C : 40% N (w/w%); 50% C : 50% N (w/w%) dan 40% C : 60% N (w/w%). Kemudian spesimen dipanaskan hingga temperatur 950°C lalu dilakukan penahanan temperatur selama 3 jam. Setelah dilakukan penahanan temperatur, spesimen langsung dilakukan *quenching* pada media pendingin oli SAE 40 kemudian dibersihkan.

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa spesimen A 60% C : 40% N (w/w%) memiliki nilai rata-rata kekerasan tertinggi dibandingkan spesimen lainnya yakni sebesar 723,37 HVN. Berdasarkan hasil pengujian keausan yang telah dilakukan, diketahui bahwa nilai laju keausan terendah terdapat pada spesimen A 60% C : 40% N (w/w%) yakni sebesar 1.55×10^{-7} mm²/kg. Pada pengamatan struktur mikro SEM diperoleh ketebalan rata-rata lapisan difusi sebesar 39,87 µm dan kandungan unsur karbon dengan komposisi persen massa sebesar 16,15%.

Kata kunci: AISI 4140, Pack Carbonitriding, Kekerasan, Keausan, Struktur Mikro SEM.

ABSTRACT

Bucket Wheel Excavator is heavy equipment used in the world of minning. The main component of this tool is a bucket where several bucket teeth are attached to each end which are used to dig or dredge materials made of AISI 4140 steel. Continous use of bucket teeth can cause the material to experience a decrease in quality and mechanical properties such as hardness and weal. The effort to prevent this in this study uses the pack carbonitriding method where this process utilizes the diffusion of nitrogen and carbon into the surface layer material. This study aims to determine variations in the composition of urea fertilizer and bioactive charcoal media used in the pack carbonitriding process on hardness, wear, and SEM metallography of AISI 4140 steel.

The study used specimen AISI 4140 steel which formed with a size L x W x H of 40 mm x 20 mm x 10 mm. The pack carbonitriding media in this study used 3 variations composition of urea fertilized and bioactive charcoal, including 60% C : 40% N (w/w%); 50% C : 50% N (w/w%); 40% C : 60% N (w/w%). Then the specimen was heated to a temperature of 950°C and then held for 3 hours. After holding the temperature, the specimens were immediately quenched in the SAE 40 oil and the cleaned.

Based on the results of the hardness test, it shown that specimen A 60% C : 40% N (w/w%) had the highest average hardness value compared to other specimens, namely 723,37 HVN. Based on the results of the wear tests that have been carried out, it is known that the lowest weal level is found in spesimen A 60% C : 40% N (w/w%) which is $1.55 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{kg}$. In the observation of the SEM microstructure, the average thickness of the diffusion layer was 39,87 μm and the content of carbon elements with mass percent composition of 16,15 %.

Keyword: AISI 4140, Pack Carbonitriding, Hardness, Wear Resistance, SEM

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur yang mendalam sehingga dapat terselesaikannya skripsi ini. Penulis mempersembahkannya kepada:

1. Bapak Iswahyudhi Purbowaseso (Alm) dan Ibu Waode Dwi Purnamayanti orang tua sekaligus rumah bagi saya yang sangat saya sayangi, terimakasih atas segala macam bentuk support, dukungan, serta pelajaran hidup yang diberikan selama 22 tahun ini sehingga dapat mencapai titik seperti saat ini.
2. Dwidhiyan Galuh Titansyah dan Dhiyandreii Sean Adiratan kedua adik saya yang selalu memotivasi saya agar dapat memberikan contoh teladan yang baik dan agar saya dapat membahagiakan mereka.
3. Deviana Dewi Marshanda, saya ucapkan terimakasih dari lubuk hati yang dalam karena telah menjadi rumah kedua bagi saya yang selalu ada dan menjadi saksi perjuangan penyusunan skripsi ini sekaligus sebagai tempat saya mengeluarkan semua isi hati dan perasaan karena saya berharap skripsi ini juga dapat menjadi langkah awal untuk meraih mimpi dan impian kita berdua pada masa yang akan datang.
4. Yeremia Adi Putranto Kurniawan, terimakasih telah menjadi partner dalam penelitian dan selebihnya sebagai sahabat karena telah membantu segala macam proses yang ada dalam skripsi ini serta seluruh teman-teman Teknik Metalurgi Angkatan 2019.
5. Bapak Agris Setiawan sebagai pembimbing skripsi yang telah membimbing dan membantu dari segi ilmu maupun moril selama proses pengerjaan skripsi ini.
6. Civitas akademika kampus UPN “Veteran” Yogyakarta terkhusus Program Studi Teknik Metalurgi yang telah memberikan saya bimbingan dan ilmu selama berada di kampus ini

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan studi S1 yang ditempuh di Program Studi Teknik Metalurgi Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta. Penelitian dilaksanakan pada Maret 2023 – Juni 2023 di Laboratorium Proses Produksi, Fakultas Teknik Mesin, Universitas Islam Indonesia dan Laboratorium Bahan, Departemen Teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Irhas Effendi, M. Si., Rektor UPN “Veteran” Yogyakarta.
2. Bapak Dr. Ir. Sutarto, M. T., Dekan Fakultas Teknologi Mineral.
3. Bapak Dr. Ir. Eddy Winarno, M. T., Ketua Jurusan Teknik Pertambangan.
4. Bapak Agris Setiawan, S. Pd. T., M. Eng., Koordinator Prodi Teknik Metalurgi sekaligus selaku Dosen Pembimbing
5. Ibu Ir. Dyah Probowati, M. T., selaku Dosen Wali.
6. Teman-teman Teknik Metalurgi 2019.
7. Dan seluruh pihak yang telah membantu dalam proses penyusunan skripsi ini.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya untuk melakukan penelitian selanjutnya.

Yogyakarta, 12 Maret 2023

Penulis

Mahardhiyan R. P.
NIM 116190014

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR JUDUL	ii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB	
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Dasar Teori	5
2.2 Penelitian Terdahulu.....	32
III. METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan	40
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	41
3.3 Variabel Penelitian.....	50
3.4 Tahapan Penelitian.....	51
IV. HASIL PENELITIAN	
4.1 Hasil Pembuatan Spesimen.....	56
4.2 Hasil Preparasi Spesimen.....	57

4.3 Hasil Uji Kekerasan	59
4.4 Hasil Uji Keausan	59
4.5 Hasil Pengamatan Struktur Mikro SEM	60
V. PEMBAHASAN	
5.1 Analisis Pengaruh Komposisi Media terhadap Nilai Kekerasan	63
5.2 Analisis Pengaruh Komposisi Media terhadap Nilai Keausan	65
5.3 Analisis Pengaruh Komposisi Media terhadap Struktur Mikro SEM.	69
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1 Kesimpulan	71
6.2 Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Permodelan terjadinya proses difusi	7
2.2 Ilustrasi Proses <i>Pack Nitriding</i>	10
2.3 Difusi Atom N pada Logam	10
2.4 Mekanisme Difusi Nitrogen ke Dalam Baja	11
2.5 Diagram Keseimbangan Fasa Fe-Fe ₃ C	19
2.6 Skema Lapisan Senyawa Nitridasi	21
2.7 Diagram Fe-N	21
2.8 Kurva TTT (<i>Time Temperature Transformation</i>)	22
2.9 Kurva CCT (<i>Continous Cooling Transformation</i>)	23
2.10 Metode Pengujian kekerasan	25
2.11 Tipe Alat Uji Keausan	27
2.12 Struktur Fasa Ferrite (90x)	30
2.13 Struktur Fasa Martensit (90x)	30
2.14 Struktur Fasa Austenit (90x)	31
2.15 Struktur Fasa Bainit (90x)	31
2.16 Struktur Fasa Perlite (90x)	32
3.1 <i>Muffle Furnace</i>	41
3.2 Kotak Karbonitridasi	42
3.3 Timbangan Digital	42
3.4 Jangka Sorong Digital	43
3.5 <i>Thermogun</i>	43
3.6 Mesin Uji Kekerasan <i>Micro Vickers</i>	44
3.7 Mesin Uji Keausan <i>Ogoshi</i>	44
3.8 Mesin Uji Struktur Mikro SEM	45
3.9 Ayakan Gantung	45
3.10 Kunci T 12	46

3.11 Tang	46
3.12 Wadah Arang Karbon Aktif	47
3.13 Wadah Pupuk Urea	47
3.14 Wadah Oli Mesin SAE 40.....	47
3.15 Baja AISI 4140.....	47
3.16 Arang Karbon Aktif	48
3.17 Pupuk Nitrogen Nitrea	48
3.18 Oli Mesin SAE 40	49
3.19 Kertas Amplas	49
3.20 Metal <i>Polishing</i>	49
3.21 Diagram Alir Penelitian	50
3.22 Diagram Alir Percobaan.....	51
4.1 Pembuatan Pola Spesimen	57
4.2 Pencetakan Spesimen	57
4.3 Spesimen setelah di Preparasi	58
4.4 Pengukuran Spesimen	58
4.5 Hasil Ketebalan Lapisan Difusi SEM Spesimen Kekerasan Tertinggi.....	60
4.6 Lokasi Pengukuran Komposisi Unsur Area pada Daerah Lapisan	61
4.7 Lokasi Pengukuran Komposisi Unsur Area pada Daerah Tengah.....	62
5.1 Grafik Nilai Rata-rata Kekerasan <i>Vickers</i>	64
5.2 Grafik Nilai Rata-rata Laju Keausan.....	66
5.3 Lebar Goresan pada <i>Raw Material</i>	68
5.4 Lebar Goresan pada Spesimen 60% C : 40% N.....	68
5.5 Lebar Goresan pada Spesimen 50% C : 50% N.....	69
5.6 Lebar Goresan pada Spesimen 40% C : 60% N.....	69

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Komposisi Kimia Baja AISI 4140	15
2.2 Kualitas Karbon Aktif dari Arang Tempurung Kelapa	17
2.3 Penelitian Terdahulu	32
2.4 Posisi Penelitian	38
3.1 Agenda Kegiatan Penelitian	40
3.2 Variabel Penelitian	50
3.3 Persiapan Benda Uji	52
4.1 Hasil Nilai Kekerasan	59
4.2 Hasil Nilai Keausan.....	60
4.3 Kandungan Elemen Spesimen pada Daerah Lapisan.....	61
4.4 Kandungan Elemen Spesimen pada Daerah Tengah	62
5.1 Persentase Kenaikan Kekerasan dengan Variasi Komposisi Media	65
5.2 Hasil Nilai Lebar Goresan.....	67

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A. DOKUMEN BAHAN PENELITIAN.....	77
B. STANDAR PENGUJIAN	81
C. HASIL PENGUJIAN	84
D. HASIL PENGUKURAN	88
E. GAMBAR KERJA	92
F. PROSES PENELITIAN	94

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri baja merupakan salah satu pendorong utama pembangunan dalam berbagai bidang industri mulai dari infrastruktur seperti pembuatan jembatan, manufaktur, otomotif dan transportasi. Menurut data *World Steel Association* (WSA), total produksi baja di dunia pada tahun 2021 sebesar 1.943,1 juta ton. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan peningkatan dibandingkan dengan produksi baja tahun 2020 yang sebesar 1.864,0 juta ton. Produksi baja di dunia dipimpin oleh Tiongkok, yang pada tahun 2021 memproduksi 1.160,4 juta ton baja atau sekitar 59,7% dari total produksi dunia.

Baja merupakan bahan utama yang digunakan dalam industri otomotif, khususnya pada alat berat atau alat pertambangan salah contoh produknya adalah sebuah *Bucket Wheel Excavator* (BWE). BWE termasuk jenis alat penggali secara terus menerus beroperasi dalam skala besar. Salah satu komponen utama BWE adalah *buckets* dimana berfungsi sebagai tempat material galian. Pada setiap ujung *buckets* dipasangkan beberapa gigi *buckets* yang digunakan untuk menggali atau mengeruk dimana komponen tersebut terbuat dari material baja AISI 4140. Penggunaan gigi *bucket* yang terus-menerus dapat menyebabkan material mengalami penurunan kualitas serta sifat mekanik seperti kekerasan dan keausan sehingga diperlukan proses *surface treatment* untuk memodifikasi permukaannya.

Surface Treatment dapat didefinisikan sebagai suatu usaha dalam upaya meningkatkan kualitas atau mutu permukaan suatu material atau komponen sesuai yang diinginkan, sehingga yang mengalami perubahan sifat hanya terdapat pada permukaan saja, sedangkan pada bagian dalam sifatnya tetap sama. Hal tersebut dapat dilakukan dengan pertimbangan bahwa dari bahan dengan kualitas sedang dapat diperoleh kualitas yang jauh lebih baik dari bahan dasarnya (Sunarto, 2010). Tujuan *surface treatment* yaitu untuk meningkatkan kualitas permukaan yang

pada dasarnya dapat ditempuh dengan menambahkan unsur lain, berupa nitrogen yang disebut dengan proses *pack nitriding* atau karbon yang disebut dengan proses *pack carburizing*.

Pack nitriding merupakan salah satu metode *surface hardening* yaitu proses menambahkan kadar nitrogen sehingga bagian permukaan material akan keras, tahan aus dan meminimalisir korosi dengan demikian bagian dalam dari material tersebut tetap ulet. Beberapa faktor yang mempengaruhi proses *pack nitriding* adalah media nitridasi, berat media, temperatur, dan *holding time* (Prpto, 2018). *Pack Carburizing* merupakan proses penambahan unsur karbon secara difusi sehingga karbon dari media *Pack carburizing* akan masuk ke permukaan baja dan meningkatkan kadar karbon pada permukaan baja karbon rendah tersebut. Pada baja dengan kadar karbon tinggi ($> 1\% \text{ C}$), jumlah kandungan karbon pada permukaan baja sudah cukup tinggi sehingga karbon akan sulit terdifusi ke permukaan.

Carbonitriding adalah proses perlakuan panas yang melibatkan penggabungan proses *carburizing* dan *nitriding*, yaitu proses difusi atom karbon dan nitrogen ke permukaan logam. Dalam proses *carbonitriding*, baja dipanaskan dalam lingkungan yang mengandung campuran karbon dan nitrogen dengan kandungan tertentu. Pada penelitian *carbonitriding* ini dilakukan perlakuan yakni variasi komposisi nitrogen yang diambil dari pupuk urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) dengan karbon bioaktif yang diambil dari arang tempurung kelapa. Hal ini dilakukan untuk mencari tahu pengaruh variasi komposisi nitrogen dan karbon aktif terhadap nilai kekerasan, nilai keausan dan struktur mikro hasil uji metalografi SEM pada baja AISI 4140 yang didapat dari proses *carbonitriding* dengan variasi kandungan nitrogen dan karbonnya. Meninjau dari hal tersebut, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “PENGARUH VARIASI KOMPOSISI MEDIA PUPUK UREA DAN ARANG BIOAKTIF PADA PROSES *PACK CARBONITRIDING* TERHADAP KEKERASAN, KEAUSAN DAN METALOGRAFI SEM BAJA AISI 4140”.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi komposisi media pupuk urea dan arang bioaktif pada proses *pack carbonitriding* terhadap nilai kekerasan baja AISI 4140.
2. Bagaimana pengaruh variasi komposisi media pupuk urea dan arang bioaktif pada proses *pack carbonitriding* terhadap nilai keausan baja AISI 4140.
3. Bagaimana pengaruh variasi komposisi media pupuk urea dan arang bioaktif pada proses *pack carbonitriding* terhadap struktur mikro hasil uji metalografi SEM baja AISI 4140.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi komposisi media pupuk urea dan arang bioaktif pada proses *pack carbonitriding* terhadap nilai kekerasan baja AISI 4140.
2. Menganalisis pengaruh variasi komposisi media pupuk urea dan arang bioaktif pada proses *pack carbonitriding* terhadap nilai keausan baja AISI 4140.
3. Menganalisis pengaruh variasi komposisi media pupuk urea dan arang bioaktif pada proses *pack carbonitriding* terhadap struktur mikro hasil uji metalografi SEM baja AISI 4140.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Penelitian ini menggunakan baja AISI 4140 dengan menggunakan metode *pack carbonitriding* dengan suhu 950°C dan *holding time* selama 3 jam.
2. Media yang digunakan pada penelitian adalah campuran pupuk urea dengan kandungan N sebesar 46% dan arang bioaktif yang masing-

masing memiliki ukuran 28 mesh sebanyak 1000 gr dengan persentase perbandingan 40:60 (w/w)%, 50:50 (w/w)%, dan 60:40 (w/w)%

3. Media pendinginan yang digunakan yaitu Oli Mesin SAE 40.
4. Penelitian ini akan melakukan 3 macam jenis pengujian, yaitu pengujian kekerasan (ASTM E-384), pengujian keausan (ASTM G-99), dan uji metalografi SEM (ASTM E-3)
5. Pengamatan uji struktur mikro SEM menggunakan material yang diambil dari hasil nilai uji kekerasan terbaik dari keseluruhan spesimen.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam bidang akademik sebagai salah satu referensi dalam pengembangan dan pengaplikasian dalam bidang metalurgi. Disamping itu dapat memberikan kontribusi informasi mengenai metode proses *heat treatment* khususnya proses *pack carbonitriding* dengan mengetahui komposisi terbaik untuk menghasilkan nilai kekerasan, keausan, dan uji metalografi SEM yang sesuai pada baja AISI 4140 sehingga dapat dilakukan optimalisasi *durability* dan *maintanance* dalam proses penggunaannya.

Penelitian ini juga dilakukan sebagai bentuk implementasi dari salah satu nilai bela negara yaitu cinta tanah air, dimana penelitian dilakukan sebagai bentuk kontribusi pada kemajuan bangsa dan negara. Oleh karena itu, diharapkan penelitian ini dapat membuahkan hasil yang memuaskan sehingga bisa diaplikasikan untuk memajukan negara Indonesia dibidang metalurgi fisik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

2.1.1 *Heat Treatment*

Perlakuan panas dapat didefinisikan suatu kombinasi proses pemanasan dan pendinginan logam atau paduannya dalam keadaan padat secara terkontrol. Tujuannya adalah mempersiapkan material logam sebagai produk setengah jadi agar layak diproses lanjut untuk meningkatkan umur pakai material logam sebagai produk jadi.

Perlakuan panas didefinisikan sebagai kombinasi dari proses pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan tertentu yang dilakukan terhadap logam/paduan dalam keadaan padat, sebagai upaya untuk memperoleh sifat-sifat tertentu. Perubahan sifat tersebut terjadi karena ada perubahan struktur mikro selama proses pemanasan dan pendinginan dimana sifat logam atau paduan sangat dipengaruhi oleh struktur mikro.

Tujuan dari perlakuan panas adalah mendapatkan sifat-sifat mekanik yang lebih baik dan sesuai dengan yang diinginkan seperti meningkatkan kekuatan dan kekerasan, mengurangi tegangan, melunakan, mengembalikan pada kondisi normal akibat pengaruh pada pengerjaan sebelumnya, dan menghaluskan butir kristal yang akan berpengaruh pada pengerjaan sebelumnya, dan menghaluskan butir kristal yang akan berpengaruh pada keuletan bahan (ASM handbook Vol 4, 1991).

Menurut definisi dari ASM Handbook Vol 4, 1991. *Surface hardening* merupakan salah satu proses dari perlakuan panas yang digunakan untuk meningkatkan ketahanan aus tanpa mengubah bagian dalam material. Kombinasi permukaan keras dan ketahanan dapat mempertahankan kerusakan pada beban gesekan, yang diaplikasikan pada poros, *gear* dan komponen otomotif. Pada *surface hardening* terdapat dua metode yang dapat digunakan sebagai berikut:

- a. Penambahan pelapisan dengan dilakukan *thin films* atau *weld overlays*
- b. Penambahan pelapisan dengan dilakukan *diffusion treatment* menggunakan komposisi kimia seperti karbon, nitrogen atau boron

Tujuan dari *surface hardening* adalah menyesuaikan kebutuhan material yang keras pada permukaan dan memiliki sifat ketahanan aus dan didalam material masih ulet/tangguh. Kondisi ini pada lapisan permukaan terdapat tegangan sisa yang berupa tegangan tekan (tahan terhadap kelelahan, *fatigue limit* naik dan secara keseluruhan material tersebut masih ulet.

2.1.2 Carburizing

Case Hardening adalah teknik dimana bertujuan untuk meningkatkan kekerasan permukaan dari baja. Hal ini dicapai dengan perlakuan *carburizing* dimana komponen berada atmosfer karbon pada temperatur tinggi. Lapisan permukaan luar mengalami difusi atom karbon dari fase gas masuk ke dalam material. Kedalaman penetrasi karbon biasanya hingga 1 mm dan pada permukaan material akan lebih keras daripada inti material bagian dalam. Peningkatan kekuatan fatik merupakan hasil dari peningkatan kekerasan (William D. Callister, 2007).

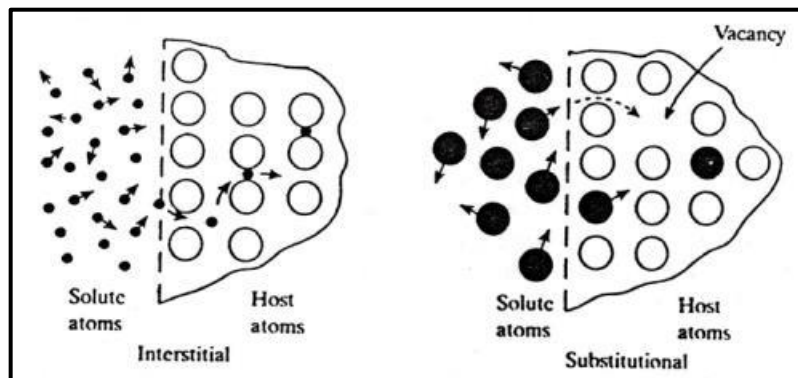
Menurut Bryson (2015), Baja karbon rendah (dibawah 0,25% wt kandungan karbon) tidak dapat dikeraskan tanpa penambahan lebih banyak karbon ke permukaan, yang kemudian memungkinkan permukaan yang dikeraskan dengan *case hardening* selama perlakuan panas hingga kedalaman tertentu berdasarkan penetrasi karbon. Penetrasi karbon adalah fungsi waktu dan temperatur, dan itu terjadi ketika karbon yang tersedia diserap ke dalam permukaan baja dan perlahan-lahan bermigrasi ke area permukaan luar dari bagian-bagian yang sedang diproses.

2.1.3 Pack Carburizing

Case Hardening adalah teknik dimana bertujuan untuk meningkatkan kekerasan permukaan dari baja. Hal ini dicapai dengan perlakuan *carburizing* dimana komponen berada atmosfer karbon pada temperatur tinggi. Lapisan permukaan luar mengalami difusi atom karbon dari fase gas masuk ke dalam material. Kedalaman

penetrasi karbon biasanya hingga 1 mm dan pada permukaan material akan lebih keras daripada inti material bagian dalam. Peningkatan kekuatan fatik merupakan hasil dari peningkatan kekerasan. (William D. Callister, 2007).

Karburasi adalah penambahan karbon ke permukaan baja karbon rendah pada suhu (umumnya antara 850°C dan 950°C, atau 1560°F dan 1740°F) di mana austenit, dengan kelarutan karbon yang tinggi, merupakan struktur kristal yang stabil. Pengerasan dicapai ketika lapisan permukaan karbon tinggi dipadatkan untuk membentuk martensit sehingga wadah martensit karbon tinggi dengan ketahanan aus dan lelah yang baik ditumpangkan pada inti baja karbon rendah yang tangguh. (ASM Handbook Vol 4, 1991).



(Sumber: Budinski, 1999)

Gambar 2.1 Permodelan terjadinya proses difusi

Carburizing merupakan proses penambahan unsur karbon pada baja karbon secara difusi, fenomena difusi terjadi bahwa struktur *Ferrite* (besi α) dan *austenite* (besi γ) memiliki kemampuan untuk menampung atom-atom penyisip seperti atom karbon untuk membentuk larutan padat seperti yang bisa dilihat pada Gambar 2.1, Karena ukuran atom karbon relatif kecil dibandingkan dengan atom besi, sehingga memungkinkan atom karbon masuk kedalam kisi besi α dan besi γ sebagai atom yang larut secara interstisi. Unsur paduan logam seperti mangan, nikel dan krom memiliki atom yang relatif besar sehingga bila masuk kedalam besi akan membentuk larutan padat substitusi oleh karena itu, maka perbandingan ukuran atom karbon dengan ukuran celah yang tersedia menunjukkan bahwa beberapa distorsi akan terjadi pada saat atom karbon masuk kedalam kisi besi. (Reza Abbaschian, 2008). Difusi karbon umumnya dilakukan pada suhu 842°C – 953°C.

Terdapat tiga metode *carburizing*, yaitu gas, liquid dan *pack carburizing*. (Budinski, 1999).

Lingkungan yang kaya karbon dapat diciptakan dengan beberapa cara. Salah satu metode melibatkan penggunaan bahan berkarbon seperti arang atau kokas yang dikemas dalam wadah tertutup dengan bagian-bagiannya. Proses ini, yang disebut *pack carburizing*, menghasilkan lapisan yang relatif tebal pada permukaan bagian, mulai dari sekitar 0,6 hingga 4 mm (0,025 hingga 0,150 in). Metode lain, yang disebut karburasi gas, menggunakan bahan bakar hidrokarbon seperti propana (C_3H_8) di dalam tungku tertutup untuk menyebarkan karbon ke bagian-bagiannya. Ketebalan permukaan dalam perlakuan ini tipis, dari 0,13 hingga 0,75 mm (0,005 hingga 0,030 in). Proses lainnya adalah karburasi cair, yang menggunakan rendaman garam cair yang mengandung natrium sianida ($NaCN$), barium klorida ($BaCl_2$), dan senyawa lain untuk menyebarkan karbon ke dalam baja. Proses ini menghasilkan ketebalan lapisan permukaan yang umumnya antara dua perlakuan lainnya. Temperatur karburasi yang khas adalah $875^{\circ}C$ hingga $925^{\circ}C$ ($1600F$ hingga $1700F$), jauh ke dalam kisaran austenit. (William D. Callister, 2007)

2.1.4 Nitriding

Nitriding adalah suatu perlakuan panas pengerasan permukaan dengan memasukkan atau mendifusi nitrogen ke permukaan baja pada suhu kisaran $500^{\circ}C$ sampai $550^{\circ}C$, saat berada di kondisi ferrit. Pada proses *nitriding* tidak melibatkan pemanasan ke fasa *austenite* dengan pendinginan membentuk martensit, komponen nitride menunjukkan distorsi minimum dan dimensi yang sangat baik dikontrol. *Nitriding* memiliki keuntungan tambahan dapat meningkatkan ketahanan korosi.

Mekanisme nitridasi umumnya, reaksi spesifik yang terjadi pada baja yang berbeda dan media nitridasi yang digunakan berbeda. Nitrogen memiliki kelarutan parsial dalam besi, hal ini dapat membentuk larutan padat dengan ferit pada kandungan nitrogen hingga 6%. Pada sekitar 6%N, a merupakan senyawa yang disebut gamma prime γ' dengan membentuk komposisi Fe_4N . Pada nitrogen dengan kandungan lebih besar dari 8% produk reaksi yang dihasilkan adalah senyawa ϵ yang membentuk komposisi Fe_3N . Pada zona ϵ dari yang dikeraskan oleh

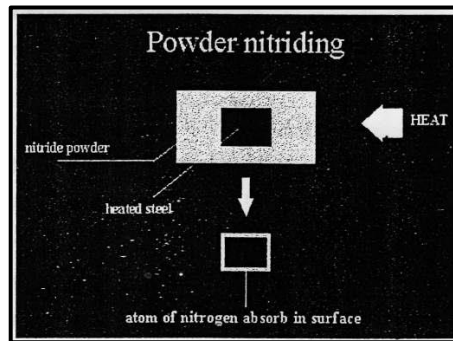
pembentukan dari Fe₃N senyawa dan dibawah pada lapisan ini ada penguatan larutan padat yang ditunjukkan pada gambar . Fe₃N (ϵ) yang terbentuk pada lapisan luar lebih keras dari Fe₄N yang lebih ulet. Mengontrol pembentukan masing – masing lapisan senyawa ini sangat penting untuk aplikasi dan tingkat distrosi yang dihasilkan rendah.

Kedalaman pelapisan tergantung pada konsentrasi dan jenis elemen pembentuk nitrida dalam baja. Secara umum, semakin tinggi kandungan paduan, maka semakin tinggi kekerasan yang dihasilkan. Namun paduan yang lebih tinggi menghambat laju difusi N₂, yang melambat dalam pengembangan kedalaman yang dihasilkan.

Baja nitridasi umumnya menggunakan baja karbon menengah yang mengandung elemen pembentuk pelapisan nitridasi, seperti *aluminium*, *vanadium* dan *molybdenum*. *Chromium* dapat meningkatkan kekerasan yang lebih tinggi pada proses nitridasi dari baja paduan rendah AISI. *Molybdenum* menghasilkan kekuatan tinggi dapat dipertahankan bahkan setelah *tempering* diatas suhu nitridasi, hal ini meminimalkan kerentanan terhadap *embrittlement* selama nitriding dan meningkatkan *hardenability*. Sedangkan pada *vanadium* memungkinkan pengontrolan perlakuan panas yang lebih mudah (Pye, 2003).

2.1.5 Pack Nitriding

Pack nitriding atau biasa juga disebut *powder nitriding* merupakan salah satu metode dari *heat treatment* khususnya *surface hardening* (pengerasan permukaan) yang prosesnya menggunakan nitrogen padat sebagai sumber nitrida misalnya urea (CO(NH₂)₂) untuk di difusikan kedalam sebuah material logam seperti ditunjukkan pada gambar 2.2. Jumlah serbuk nitrida yang diberikan bergantung pada luas permukaan benda kerja yang dinitridasi (Setiawan dan Purwadi, 2009).

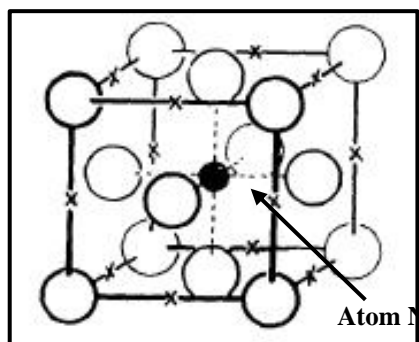


(Sumber: Setiawan dan Purwadi, 2009)

Gambar 2.2 Ilustrasi Proses *Pack Nitriding*

Metode nitridasi memiliki resistansi terhadap *fatigue* atau ketebalan selain itu kemungkinan terjadi distorsi juga kecil dan permukaannya akan lebih tahan terhadap korosi. Selain dari nitridasi padat, metode nitridasi juga terdiri dari nitridasi cair yang menggunakan larutan garam sianida yang mengandung 60% - 70% NaCN sebagai unsur nitrogen dan nitridasi gas yang menggunakan gas ammonia (NH_3). Perbedaan dari ketiga jenis metode ini hanya pada proses pengerjaannya (Rumendi dan Hermawan, 2014).

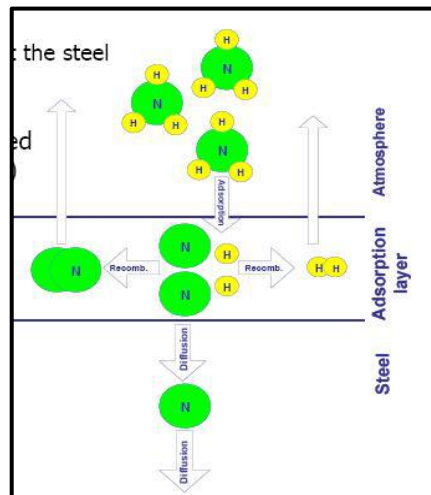
Menurut Erwin S dan Putu H tahun 2010 pada penelitiannya mengenai pengaruh variasi suhu pada proses *pack nitriding* menjelaskan bahwa semakin tinggi temperatur maka semakin luas pula daerah yang terpanaskan dan semakin tinggi temperatur sehingga butir-butir logam akan memuai semakin besar yang mengakibatkan rongga antar butir akan semakin luas sehingga nitrogen akan dengan mudah berdifusi semakin dalam pada logam dan lebih banyak membentuk nitrida-nitrida seperti ditunjukkan pada gambar 2.3. Hal tersebut mengakibatkan kekerasan dan kedalaman material yang dikeraskan menjadi semakin dalam.



(Sumber: Erwin S. Putu H., & Yoni S, 2010)

Gambar 2.3 Difusi Atom N pada Logam

Dalam proses *pack nitriding* baja dipanaskan dalam atmosfer nitrogen sehingga karena tingginya konsentrasi nitrogen di atmosfer dibandingkan di dalam baja maka akan terjadi difusi nitrogen dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah dalam baja. Gambar 2.4 berikut menggambarkan proses pendifusian nitrogen kedalam baja pada *pack nitriding*.



(Sumber: Erwin S. Putu H., & Yoni S, 2010)

Gambar 2.4 Mekanisme Difusi Nitrogen ke Dalam Baja

Menurut Erwin S., Putu H. dan Yoni S. tahun 2010, berdasarkan gambar diatas menjelaskan bahwa selanjutnya akan terjadi persenyawaan nitrogen dengan logam membentuk nitrida, seperti CrN sehingga permukaannya menjadi lebih keras. Proses difusi pada kromium dijabarkan dalam langkah-langkah berikut:

1. Pupuk nitrogen dalam hal ini urea dan ZA bila dikenai panas akan terurai menjadi nitrogen aktif (N_{aktif}) dan gas hidrogen. Gas hidrogen (H_2) ini kembali ke atmosfer. Berikut adalah reaksinya



2. Mengingat kandungan nitrogen di atmosfer lebih tinggi daripada dalam baja maka (N_{aktif}) berdifusi ke dalam permukaan dan dalam (N_{aktif}) akan mengikat unsur paduan membentuk nitrida. Berikut adalah reaksinya



2.1.6 *Carbonitriding*

Carbonitriding adalah proses perlakuan panas untuk meningkatkan kekerasan permukaan benda kerja dengan memperkaya permukaan benda kerja dengan unsur karbon dan nitrogen. Dalam proses ini, benda kerja dipanaskan dalam suasana yang kaya akan gas karbon dan nitrogen, sehingga karbon dan nitrogen akan berdifusi ke dalam permukaan benda kerja dan membentuk lapisan permukaan yang keras dan tahan aus. Menurut Chen X pada tahun 2018 mengatakan bahwa *carbonitriding* merupakan proses pengerasan permukaan yang melibatkan difusi karbon dan nitrogen ke permukaan logam untuk meningkatkan ketahanan aus, ketahanan lelah, dan kekerasan permukaan.

Reaksi *carbonitriding* adalah proses difusi atom karbon dan nitrogen ke dalam permukaan baja yang dipanaskan dalam lingkungan yang mengandung campuran gas karbon dan nitrogen. Proses ini terdiri dari beberapa tahap reaksi berikut:

1. Adsorpsi: Gas karbon dan nitrogen berikatan dengan permukaan baja dan membentuk lapisan adsorpsi di permukaan baja.
2. Dekomposisi: Gas karbon dan nitrogen terdisosiasi di permukaan baja, melepaskan atom karbon dan nitrogen.
3. Difusi: Atom karbon dan nitrogen berdifusi ke dalam permukaan baja, membentuk lapisan padat pada permukaan baja.
4. Reaksi: Atom karbon dan nitrogen bereaksi dengan baja dan membentuk senyawa paduan.
5. Penetrasi: Lapisan padat dari senyawa paduan menembus permukaan baja dan membentuk lapisan yang lebih dalam.

Proses *carbonitriding* dapat dilakukan pada suhu antara 780°C hingga 930°C selama beberapa jam, tergantung pada ketebalan lapisan yang diinginkan dan bahan yang digunakan. Proses ini biasanya dilakukan pada baja paduan yang mengandung sedikit karbon dan nitrogen, sehingga dapat meningkatkan kekerasan dan ketangguhan baja.

2.1.7 Baja (*Steel*)

Baja merupakan logam paduan yang terdiri dari besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*). Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah kromium, mangan, tungsten dan vanadium, dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan didapatkan kualitas baja yang bervariasi (Manurung et al, 2020).

Berdasarkan komposisi kimianya baja dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu baja karbon dan baja paduan:

a. Baja Karbon (*carbon steel*)

Baja karbon merupakan paduan besi dan karbon dimana unsur karbonnya sangat menentukan sifatnya. Digolongkan menjadi 3 yaitu :

- Baja Karbon Rendah (*low carbon steel*)

Baja karbon rendah mengandung unsur karbon <0.25% dan sulit untuk dilakukan proses perlakuan panas. Baja karbon rendah memiliki ketangguhan dan keuletan yang tinggi namun memiliki ketahanan aus yang rendah. Baja jenis ini memiliki sifat mampu las yang baik sehingga banyak digunakan untuk struktur bangunan.

- Baja Karbon Sedang (*medium carbon steel*)

Baja karbon menengah adalah baja yang mengandung unsur karbon antara 0.25 % - 0.5 %, baja jenis ini dapat diproses *heat treatment* dengan pendinginan cepat dan diikuti metode *tempering* untuk memperbaiki sifat mekaniknya. Baja ini memiliki ketangguhan dan ketahanan aus yang cukup tinggi. Biasa digunakan untuk pembuatan roda gigi ataupun komponen mesin.

- Baja Karbon Tinggi (*high carbon steel*)

Baja karbon tinggi merupakan baja yang mengandung unsur karbon >0.6% dan memiliki sifat baja yang paling keras dan tangguh namun keuletannya rendah. Baja jenis ini memiliki ketahanan gesek yang

tinggi sehingga banyak digunakan untuk alat perkakas dan *dies* (Manurung et al, 2020).

b. Baja Paduan (*alloy steel*)

Baja paduan merupakan baja yang mengandung unsur lain atau dengan kadar lebih daripada baja lainnya atau baja karbon. Dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu :

- **Baja Paduan Rendah (*low alloy steel*)**

Baja paduan rendah adalah baja yang mengandung unsur paduan kurang dari 10%. Baja paduan memiliki keuletan yang tinggi tanpa mengurangi kekuatan tarik dan biasanya lebih tahan terhadap temperatur dibanding baja karbon dengan kadar yang sama. Baja jenis ini biasa digunakan untuk bahan jembatan, roda kereta api dan konstruksi mesin.

- **Baja Paduan Tinggi (*high alloy steel*)**

Baja paduan tinggi memiliki kadar unsur yang paling tinggi biasanya lebih dari 10% dan memiliki sifat yang sangat keras serta katahanan aus yang sangat tinggi. Biasanya baja jenis ini digunakan pada kondisi yang telah dikeraskan (*hardened*). Aplikasi dari material baja ini seperti pahat HSS, komponen mesin, peralatan potong dan sejenisnya.

2.1.8 Baja AISI 4140

Setiap jenis baja perlu diberi suatu nama agar mudah dikenali. Nama ini merupakan kode yang ditetapkan dalam suatu standar, lengkap dengan spesifikasi utamanya. Salah satu standar yang umum digunakan adalah AISI dan *SAE*. AISI merupakan singkatan dari *American Iron and Steel Institute*. Sedangkan *SAE* merupakan singkatan dari *Society of Automotive Engineers*. AISI dan *SAE* menyatakan spesifikasi baja dengan empat atau lima angka. Angka pertama menunjukkan jenis bajanya, angka 1 untuk baja karbon, angka 2 untuk baja nickel, angka 3 untuk baja nickel-chromium dan seterusnya. Angka kedua pada baja paduan sederhana menunjukkan kadar unsur paduannya. Untuk baja paduan 41xx

merupakan jenis baja *chromium-molybdenum steels*. Kemudian untuk dua digit terakhir menunjukkan kadar karbon dalam per seratus persen (Avner, 1974).

Baja AISI 4140 berdasarkan komposisi kimia tergolong dalam jenis baja *chromium-molybdenum steel*. Kekuatan tarik AISI 4140 bisa mencapai 1650 MPa (240 ksi) melalui perlakuan panas *quench* dan *temper* konvensional. Baja ini juga dapat digunakan pada suhu setinggi 480°C (900°F), tetapi kekuatannya menurun dengan cepat dengan semakin meningkatnya suhu. Material AISI 4140 dapat tersedia dalam bentuk bar, batang, tempa, lembaran, plat, strip, dan coran. Aplikasi baja dengan material AISI 4140 digunakan untuk banyak mesin kekuatan tinggi seperti: *connecting rods*, poros engkol, as roda, batang piston, *collet*, kunci pas, dan *sprockets*. Komposisi kimia baja AISI 4140 ditunjukkan pada tabel 2.1 (ASTM International, 2009).

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja AISI 4140

C (%)	0.38 – 0.43
Mn (%)	0.75 – 1.00
Si (%)	0.20 – 0.35
Cr (%)	0.80 – 1.10
Mo (%)	0.15 – 0.25
P (%)	≤ 0.035
S (%)	≤ 0.04

(Sumber: ASTM International, 2009)

2.1.9 Pupuk Urea (CO(NH₂)₂)

Pupuk urea merupakan pupuk yang memiliki kandungan N yang tinggi yakni sebesar 45% - 56% (Angely S. Gorung dkk, 2022). Kandungan Nitrogen pada pupuk urea berada dalam bentuk amina (NH₂). Nitrogen merupakan unsur yang berasal dari zat hara. Pada pupuk urea, unsur nitrogen sangat bermanfaat bagi tanaman yakni untuk pertumbuhan dan perkembangan. Pupuk urea merupakan pupuk higroskopis sehingga lebih mudah menguap di udara. Proses nitriding menggunakan senyawa organik tertentu sebagai sumber dari nitrogen. Pada proses nitriding yang merupakan proses memperkuat permukaan dengan menggunakan

komponen utamanya yaitu nitrogen, pupuk urea berperan penting dalam proses ini karena pupuk urea merupakan sumber organik terbesar yang mengandung nitrogen.

2.1.10 Arang Bioaktif

Kelapa (*Cocos nucifera*) ialah salah satu tumbuhan Perkebunan yang mempunyai arti penting bagi bangsa Indonesia. Intinya tumbuhan kelapa tergolong salah satu jenis tumbuhan yang paling bermanfaat sebab mulai dari daunnya, daging buahnya, batang sampai akarnya bisa dimanfaatkan oleh masyarakat. Tempurung kelapa kebanyakan hanya disebut sebagai limbah industri pengolahan kelapa, ketersediaannya yang melimpah disebut sebagai persoalan lingkungan, tetapi *renewable*, serta murah. Arang tempurung kelapa masih bisa diolah lagi menjadi produk yang mempunyai nilai ekonomis tinggi yaitu sebagai bahan bakar langsung maupun dalam bentuk arang, bisa pula ditingkatkan manfaatnya di dalam industri yaitu menjadi bahan adsorpsi setelah diubah menjadi arang aktif atau karbon aktif. Menurut Dhidan tahun 2012 yang dimaksud dengan arang aktif adalah arang yang mempunyai kemampuan daya absorpsi lebih tinggi dari arang pada umumnya.

Menurut Doly prima pada penelitiannya tahun 2018 mengenai kualitas karbon aktif dari tempurung kelapa menjelaskan bahwa bagian yang hilang pada pemanasan 950°C disebut juga dengan kadar zat menguap. Kadar zat menguap merupakan hasil dekomposisi zat-zat penyusun karbon aktif akibat proses pemanasan selama karbonisasi dan bukan komponen penyusun karbon aktif. Karbon aktif yang diperoleh pada penelitian ini memiliki bagian yang hilang 18%, nilai ini memenuhi syarat mutu arang aktif teknis SNI yaitu maksimal 25%. Kadar air mempengaruhi kualitas penyerapan karbon aktif karena tingginya kadar air akan mengurangi daya serap karbon aktif terhadap gas maupun cairan. Kadar air dari karbon aktif hasil penelitian sebesar 4,4% masih memenuhi standar yang ditetapkan SNI yaitu maksimal 15%. Penetapan kadar abu karbon aktif dilakukan untuk mengetahui kandungan oksida logam dalam karbon aktif. Kadar abu yang diperoleh dari karbon aktif hasil penelitian yaitu 2,6 % memenuhi standar yang ditetapkan SNI yaitu maksimal 10%. Daya serap terhadap Iod semakin besar dengan kenaikan suhu, ini berarti bahwa kualitas arang aktif akan semakin baik dalam penyerapan

warna. Karbon aktif hasil penelitian memiliki daya serap terhadap I2 sebesar 825 mg/g dan memenuhi standar yang ditetapkan SNI yaitu minimal 750 mg/g. Dari hasil uji kualitas karbon aktif diatas, maka bisa diketahui buat melakukan karburising dengan memakai bubuk arang tempurung kelapa relatif memenuhi syarat buat meningkatkan kekerasan pada baja. Kualitas karbon aktif dari serbuk arang tempurung kelapa didapat seperti pada Tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.2 Kualitas Karbon Aktif dari Arang Tempurung Kelapa

No	Parameter	Satuan	Hasil	Syarat SNI
1	Bagian yang hilang pada pemanasan 950°C	%	18	maks. 25
2	Kadar Air	%	4.4	maks. 15
3	Kadar abu	%	2.6	maks. 10
4	Daya serap terhadap I2	mg/g	825	min. 750

(Sumber: Doly Prima, 2018)

2.1.11 Media Pendingin

Media pendingin adalah bahan yang digunakan untuk menurunkan suhu setelah pemanasan pada proses perlakuan panas. Pendingin berguna untuk meningkatkan sifat mekanik baja, termasuk kekerasan.

Pelumas atau oli adalah sejenis cairan kental yang berfungsi sebagai pelumas, pelindung dan bahan pembersih untuk interior mesin. Kode identifikasi oli tersebut berupa huruf *SAE* yang merupakan singkatan dari *Society of Automotive Engineers*. *SAE* 40 atau *SAE* 15W-50, semakin besar angka yang mengikuti kode oli, semakin padat oli. Sedangkan huruf W yang berada di belakang angka awal melambangkan musim dingin. Viskositas merupakan salah satu unsur kandungan minyak yang paling rentan karena berkaitan dengan ketebalan minyak atau besarnya hambatan yang dibutuhkan untuk mengalir. Viskositas minyak secara langsung berhubungan dengan sejauh mana minyak bertindak sebagai pelumas dan dampak pelindung antara permukaan logam.

Perubahan viskositas dapat menghasilkan laju pendinginan yang lebih cepat atau laju pendinginan yang lebih lambat. Viskositas cairan pendingin dapat memungkinkan sirkulasi cairan pendingin lebih cepat selama perpindahan panas dan mempercepat pendinginan. Viskositas cairan pendingin juga dapat mengurangi

perpindahan dan lebih cepat kering. Viskositas media pendingin juga mempengaruhi stabilitas termal yang berguna untuk meminimalkan retakan dan mengendapkan tegangan pada permukaan logam.

Menurut Surdia dan Shinroku pada tahun 1999, menjelaskan bahwa media pendingin yang biasa digunakan dalam proses pengerasan baja yaitu air, larutan garam/soda dalam air, minyak, campuran air dan minyak (*emulsi*), udara dan garam cair (*salt bath*).

1. Air

Air merupakan media pendingin yang paling tua, murah dan juga mempunyai kemampuan pendinginan yang tinggi sekali. Air biasanya digunakan untuk pendinginan baja yang kekerasannya cukup tinggi misal baja karbon.

2. Udara

Udara mempunyai kapasitas pendinginan rendah, sehingga laju pendinginan yang terjadi juga akan rendah. Tetapi dalam hal baja paduan hal ini justru menguntungkan karena dengan laju pendinginan yang rendah *thermal stress* juga akan rendah, sehingga benda kerja terbebas dari kemungkinan retak/distorsi.

3. *Salt bath* (garam yang dilelehkan)

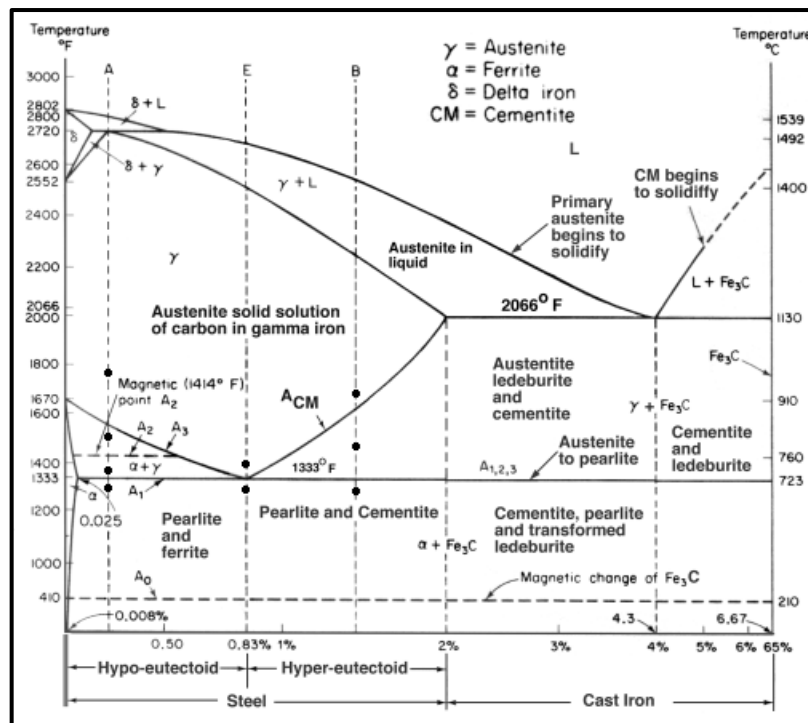
Biasanya garam ini merupakan campuran dari beberapa garam, antara lain *sodium nitrite* dan *potassium nitrite*, dengan berbagai komposisi tergantung pada temperatur kerja yang diinginkan, antara 160-500°C.

4. Oli/minyak

Viskositas oli dan bahan dasar oli sangatlah berpengaruh dalam proses pendinginan spesimen. Oli yang mempunyai viskositas lebih rendah memiliki kemampuan penyerapan panas lebih baik dibandingkan dengan oli yang mempunyai viskositas lebih tinggi karena penyerapan panas akan lebih lambat.

2.1.12 Diagram Kesetimbangan Besi Karbon (Fe-Fe₃C)

Diagram kesetimbangan fasa Fe-Fe₃C merupakan alat penting untuk memahami struktur mikro dan sifat-sifat baja karbon, suatu jenis logam paduan besi (Fe) dan karbon (C) yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Karbon larut di dalam besi dalam bentuk larutan padat (*solid solution*) hingga 0,05% berat pada temperatur ruang. Baja dengan atom karbon terlarut sampai pada jumlah tersebut memiliki struktur *alpha-ferrite* pada temperatur ruang.



(Sumber: William D. Callister, 2007)

Gambar 2.5 Diagram Kesetimbangan Fasa Fe-Fe₃C

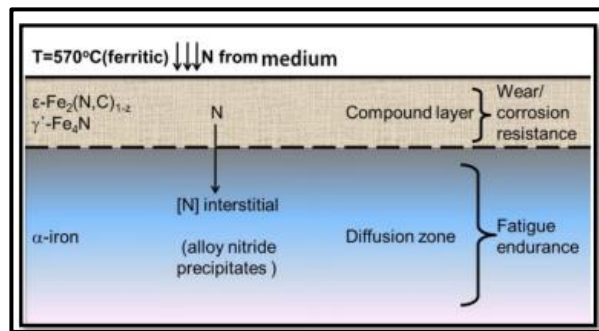
Menurut William D. Callister tahun 2007 pada kadar karbon lebih dari 0,05% akan terbentuk endapan karbon dalam bentuk *hard intermetallic stoichiometric compound (Fe₃C)* yang dikenal sebagai *cementite* atau *carbide*. Selain larutan padat *alpha-ferrite* pada kesetimbangan bisa ditemukan pada temperatur ruang terdapat fase-fase penting lainnya, yaitu *delta-ferrite* serta *gamma-austenite*. Logam Fe bersifat *polymorphism* yaitu memiliki struktur kristal berbeda pada temperatur berbeda. Pada Fe murni, contohnya, *alpha-ferrite* akan berubah menjadi *gamma-austenite* ketika dipanaskan melewati temperature 910°C. pada temperatur yang lebih tinggi, mendekati 1400°C *gamma-austenite* akan

kembali berubah menjadi *delta-ferrite* (alpha dan delta). Ferrite dalam hal ini mempunyai struktur kristal BCC sedangkan *Austenite* (Gamma) mempunyai struktur kristal FCC.

2.1.13 Diagram Fe-N

Diagram Fasa Fe-N Diagram fasa Fe-N dapat digunakan sebagai dasar untuk memahami proses nitridasi guna mendapatkan struktur dan sifat yang diinginkan. Didalam besi, atom nitrogen larut sebagai larutan padat interstisi. Kelarutan maksimum nitrogen dalam besi pada temperatur nitridasi 500-590°C adalah 0,1 %, lebih besar dari 0,1 % maka akan membentuk nitrida γ' (Fe₄N). Jika kelarutan nitrogen pada besi melebihi 6 %, nitrida γ' (Fe₄N) akan berubah menjadi ϵ (Fe₂-3N). Pada temperatur dibawah 500°C dengan kadar nitrogen lebih dari 11 % maka nitrida ξ (Fe₂N) akan segera terbentuk dan diatas 650°C Fe₄N akan terurai. Nitrida γ' dan ϵ secara fisik pada permukaan baja terlihat sebagai lapisan putih (white layer) atau compound layer (Setiawan dan Purwadi, 2009). Pada gambar 2.6 ditunjukkan, white layer merupakan ketebalan lapisan atas yang sangat tergantung pada komposisi kimianya, misalnya dalam kasus baja karbon biasa, lapisan *compound* lebih tebal dibandingkan dengan baja paduan. Lapisan senyawa terutama terdiri dari dua nitrida besi γ' -Fe₄N dan ϵ - Fe₂ - 3N. Pada permukaan di mana kandungan nitrogen lebih tinggi, pembentukan ϵ -Fe₂-3N dipercepat. Namun, dengan bertambahnya jarak dari permukaan ke inti, fase ϵ -Fe₂-3N digantikan oleh γ' -Fe₄N dan jumlahnya berkurang secara bertahap. Lapisan majemuk yang didominasi fase e akan menciptakan permukaan dengan karakteristik keausan yang baik, tetapi tidak akan memiliki kekuatan impact. Kehadiran ϵ -Fe₂-3N dapat meningkatkan kekuatan impact lapisan. Karena sifatnya yang rapuh, dalam banyak aplikasi tidak ada atau sedikit ketebalan lapisan ini diperbolehkan. Lapisan difusi merupakan lapisan yang terbentuk di bawah lapisan senyawa terutama terdiri dari nitrida elemen paduan. Berbeda dengan lapisan majemuk, peran lapisan difusi sangat penting dalam meningkatkan kekerasan kasus dan umur kelelahan substrat. Peningkatan kekerasan baja nitride adalah hasil dari keberadaan dan distribusi nitrida elemen paduan. Dengan kata

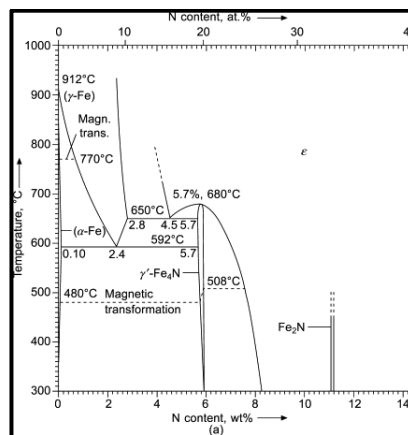
lain, dengan terbentuknya lapisan senyawa, nitrogen berdifusi ke dalam dan bergabung dengan unsur pembentuk nitrida membentuk senyawa nitrida. Pengendapan nitrida ini pada batas butir dan bidang kristalografi tertentu menghasilkan peningkatan kekerasan lapisan difusi.



(Sumber: Mei Yang & Sisson Jr, 2012)

Gambar 2.6 Skema Lapisan Senyawa Nitridasi

Secara umum, nitriding berlaku untuk berbagai macam baja, misalnya baja karbon, baja paduan rendah, baja perkakas, dan baja tahan karat. Namun, keberadaan elemen pembentuk nitrida sangat penting untuk efisiensi nitridasi yang tinggi. Unsur pembentuk nitrida kuat yang membentuk nitrida stabil adalah Al, Cr, V, W, dan Mo. Batasan penting juga ada tentang jumlah karbon dalam baja yang akan dinitridasi yang tidak boleh melebihi 0,5%. Hal ini disebabkan peningkatan kemungkinan unsur paduan untuk membentuk karbida dan menurunkan pembentukan nitride (Husein,2017). Berikut merupakan diagram dari Fe-N yang ditunjukkan pada gambar 2.7 sebagai berikut:



(Sumber: Suprpto, dkk, 2018)

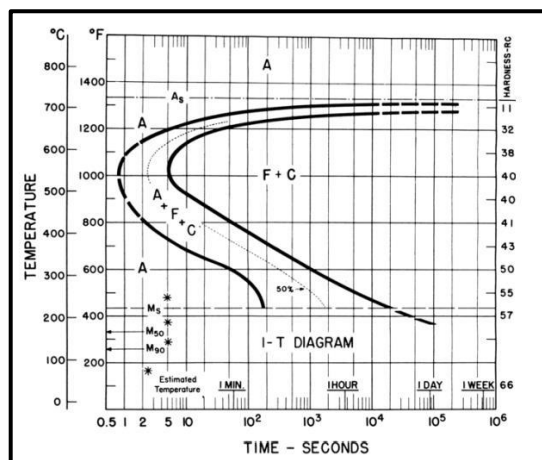
Gambar 2.7 Diagram Fe-N

2.1.14 Laju Pendinginan

Dalam proses *heat treatment* dilakukan beberapa cara pendinginan, pendinginan tersebut dibagi dalam 2, yaitu:

1. Pendinginan tidak menerus

Jika suatu baja didinginkan dari suhu yang lebih tinggi dan kemudian ditahan pada suhu yang lebih rendah selama waktu tertentu, maka akan menghasilkan struktur mikro yang berbeda. Hal ini dapat dilihat pada diagram isothermal transformasi, Gambar 2.8 di bawah ini.



(Sumber: ASM Handbook Vol 4, 1991)

Gambar 2.8 Kurva TTT (*Time Temperature Transformation*)

Kurva TTT (*Time Temperature Transformation*) adalah suatu diagram yang menghubungkan transformasi austenit terhadap waktu dan temperature pada temperatur konstan. Bila austenit bertransformasi dengan pendinginan secara isothermal (konstan pada temperature tertentu) akan didapat struktur tertentu sesuai dengan skema pada diagram TTT (*Time Temperature Transformation*).

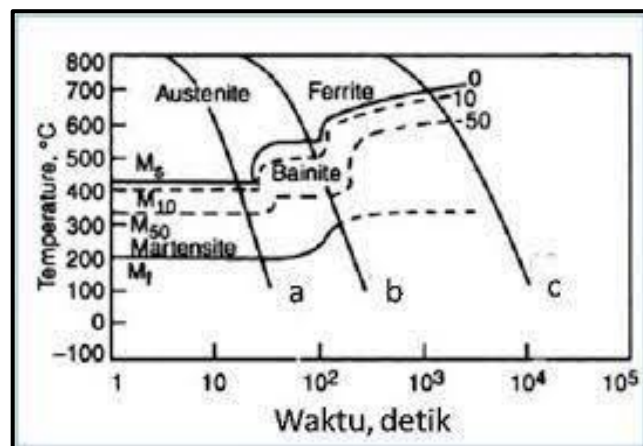
Berikut beberapa penjelasan tentang diagram di atas:

- Bentuk diagram tergantung dengan komposisi kimia terutama kadar karbon dalam baja tersebut.
- Baja dengan kadar karbon kurang dari 0,83% yang ditahan suhunya dititik tertentu dan letaknya dibagian atas dari kurva C, akan menghasilkan struktur perlit dan ferit.

- c) Jika ditahan suhunya pada titik tertentu bagian bawah kurva C tapi masih disisi sebelah atas garis horizontal, maka akan mendapatkan struktur mikro Bainit (lebih keras dari perlit).
- d) Bila ditahan suhunya pada titik tertentu di bawah garis horizontal, maka akan mendapat struktur Martensit (sangat keras dan getas).
- e) Semakin tinggi kadar karbon, maka kedua buah kurva C tersebut akan bergeser kekanan.
- f) Ukuran butir sangat dipengaruhi oleh tingginya suhu pemanasan, lamanya pemanasan dan semakin lama pemanasannya akan timbul butiran yang lebih besar. Semakin cepat pendinginan akan menghasilkan ukuran butir yang lebih kecil.

2. Pendinginan terus menerus

Dalam prakteknya proses pendinginan pada pembuatan material baja dilakukan secara menerus mulai dari suhu yang lebih tinggi sampai dengan suhu rendah. Pengaruh kecepatan pendinginan terus menerus terhadap struktur mikro yang terbentuk dapat dilihat dari gambar 2.9 *Continuous Cooling Transformation Diagram*.



(Sumber: ASM Handbook Vol 4, 1991)

Gambar 2.9 Kurva CCT (*Continuous Cooling Transformation*)

Transformasi pendinginan austenite selain secara isothermal juga dikenal pula pendinginan kontinyu disebut diagram CCT. Pendinginan yang dialami suatu benda pada proses laku panas biasanya pendinginan yang kontinyu, sehingga biasanya diagram CCT lebih banyak digunakan. Letak kurva semacam ini akan

bergeser bila transformasi berlangsung pada temperatur yang menurun. Karena itu perlu dibuat suatu diagram transformasi pada pendinginan kontinyu. Diagram transformasi semacam ini dinamakan CCT (*Continuous Cooling Transformation*). Struktur *martensite* hanya dapat diperoleh dari *austenite* yang didinginkan cepat yaitu yang lebih cepat dari laju pendinginan kritisnya agar tidak terbentuk struktur lain.

Kurva pendinginan (a) menunjukkan pendinginan secara kontinyu yang sangat cepat dari temperature *austenite* sekitar 920 °C ke temperatur 200°C. Laju pendinginan cepat ini menghasilkan dekomposisi fasa *austenite* menjadi *martensite*. Fasa *austenite* akan mulai terdekomposisi menjadi *martensite* pada Temperature MS (*Martensite Start*). Sedangkan akhir pembentukan *martensite* akan berakhir ketika pendinginan mencapai temperature MF (*martensite finish*). Kurva pendinginan (b) menunjukkan pendinginan kontinyu dengan laju sedang/medium dari temperatur 920°C ke 250°C. Dengan laju pendinginan kontinyu ini fasa *austenite* terdekomposisi menjadi struktur *bainite*. Kurva pendinginan (c) menunjukkan pendinginan kontinyu dengan laju pendinginan lebih lambat dari temperatur 920°C ke 250°C. Pendinginan lambat ini menyebabkan fasa *austenite* terdekomposisi menjadi fasa ferit dan perlit.

2.1.15 Pengujian Kekerasan

Salah satu sifat mekanik yang perlu dipertimbangkan adalah kekerasan. Beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam kekerasan adalah ukuran ketahanan material terhadap deformasi plastis local contohnya kelelahan atau gesekan. Pengujian kekerasan didasarkan pada material dengan perancangan yang memiliki kemampuan suatu bahan untuk menggores bahan lain yang lebih lunak (William D. Callister, 2007).

Pengujian kekerasan lebih sering digunakan karena beberapa faktor yang mempengaruhi untuk melakukan pengujian kekerasan antara lain sebagai berikut :

- a. Mereka sederhana dan murah, tidak memerlukan spesimen khusus disiapkan, dan peralatan pengujian relatif murah.

- b. Pengujian tidak merusak, spesimen tidak retak atau terdeformasi berlebihan; lekukan kecil adalah satu-satunya deformasi.
- c. Sifat mekanik lainnya sering dapat diperkirakan dari data kekerasan, seperti kekuatan tarik.

Berikut metode pengujian kekerasan yang ditunjukkan pada gambar 2.10

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number ^a
		Side View	Top View		
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854P/d_1^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2P/t^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	<ul style="list-style-type: none"> { Diamond cone { $\frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ in. diameter steel spheres 	 	 	60 kg } Rockwell 100 kg } 150 kg } 15 kg } Superficial Rockwell 30 kg } 45 kg }	

(Sumber: William D. Callister, 2007)

Gambar 2.10 Metode Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan *Vickers* merupakan penekanan oleh suatu gaya tekan tertentu oleh sebuah indenter berupa *pyramid diamond* terbalik dapat dilihat pada Gambar 2.10 diatas yang memiliki sudut puncak 136° ke permukaan logam yang akan diuji kekerasannya, dimana permukaan logam yang diuji ini harus rata dan bersih.

Setelah gaya tekan secara statis ini kemudian ditiadakan dan *pyramid diamond* dikeluarkan dari bekas yang terjadi, maka diagonal segi empat bekas teratas diukur secara teliti, yang digunakan sebagai kekerasan logam yang akan diuji. Permukaan tekan merupakan segi empat karena *pyramid* merupakan piramida sama sisi. Nilai kekerasan yang diperoleh disebut sebagai kekerasan *Vickers*, yang biasa disingkat dengan HV atau VHN (*Vickers Hardness Number*). Untuk memperoleh nilai kekerasan *Vickers*, maka hasil penekanan yang diperoleh dimasukkan ke dalam rumus berikut:

$$HVN = \frac{2 \times F \times \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{D^2} = \frac{1.854 \times F}{D^2} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

F = Beban (Kg)

D = Diagonal rata-rata (mm)

θ = Sudut puncak (136°)

Hal terpenting yang harus dipelajari dalam pengujian Vickers adalah bagaimana menggunakan alat uji kekerasan Vickers dalam hal memasang indenter *pyramid diamond*, meletakkan specimen di tempatnya, menyetel beban yang akan dipakai, melihat dan mengukur diagonal persegi empat teratas dari bekas yang terjadi seteliti mungkin.

2.1.16 Pengujian Keausan

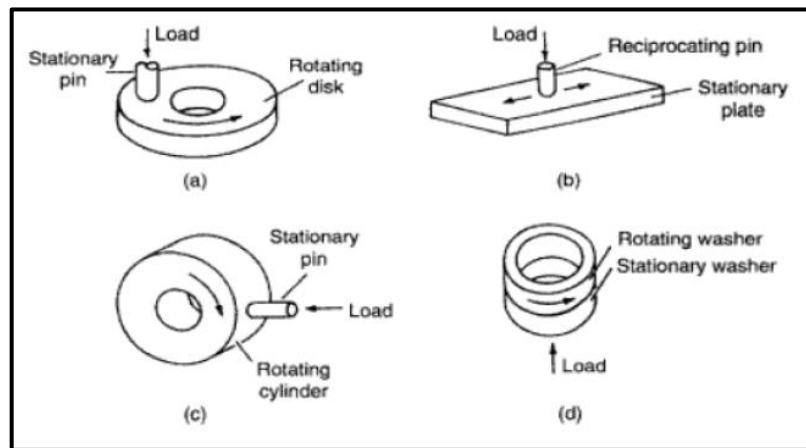
Keausan umumnya didefinisikan sebagai kehilangan material secara progresif atau pemindahan sejumlah material dari suatu permukaan sebagai suatu hasil pergerakan relative antara permukaan tersebut dan permukaan lainnya. Keausan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan respon material terhadap sistem luar (kontak permukaan). Material apapun dapat mengalami keausan disebabkan mekanisme yang beragam.

Alat uji keausan bahan merupakan perangkat alat uji yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat keausan suatu bahan. Keausan dapat diartikan dengan seberapa cepat rusak suatu komponen mesin selama dipakai. Pada umumnya untuk mencegah adanya gesekan antara mesin dengan rangka (*crankcasenya*) maka mesin tersebut diberi pelumas atau oli. Ada pengujian keausan dengan pelumasan dan tanpa pelumasan.

alat uji keausan digunakan agar dapat diperoleh standar kualitas suatu produk dan memberikan informasi usia pakai suatu produk / mesin produksi seberapa lama dapat bertahan dan digunakan untuk produksi. Dalam dunia industri alat uji keausan bahan adalah produk yang sering digunakan untuk aplikasi kontrol kualitas mesin dan produktif dalam produksi produk, sehingga produktifitasnya dapat terdata dengan akurat.

Material apapun dapat mengalami keausan disebabkan oleh mekanisme yang beragam. Keausan telah menjadi perhatian praktis sejak lama, tetapi hingga beberapa saat lamanya masih belum mendapatkan penjelasan ilmiah yang besar sebagaimana halnya pada mekanisme kerusakan akibat pembebanan tarik, impak, puntir atau fatigue. Hal ini disebabkan masih lebih mudah untuk mengganti komponen/part suatu sistem dibandingkan melakukan desain komponen dengan ketahanan/umur pakai (*life*) yang lama.

Berbagai macam tipe alat uji keausan dapat dilihat seperti gambar 2.11 dibawah ini:



(Sumber: Faruqi, 2012)

Gambar 2.11 Tipe Alat Uji Keausan

Pengujian keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknik, yang semuanya bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. Salah satunya adalah metode *ogoshi* dimana disk yang berputar menekan spesimen dan menyebabkan timbulnya celan bekas pengausan. Pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang yang pada akhirnya akan mengabrasi material, sesuai dengan standart ASTM G-99, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Pembebanan
2. Kecepatan lintasan
3. Jarak lintasan
4. Jari-jari pembebanan
5. Tebal pembebanan

Dalam pengujian keausan ini dapat ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut :

$$W = \frac{B \times b^3}{12 \times r} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

B= tebal revolving disc (mm)

r= jari – jari disc (mm)

b= lebar celah material yang terabrasi (mm)

Maka laju keausan (Ws) dapat ditentukan dengan sebagai berikut:

$$W = \frac{B \times b^3}{8 \times r \times P_0 \times l_0} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

Po : beban (kg)

lo : jarak abrasi (m)

2.1.17 Struktur Mikro

Metalografi adalah ilmu dan perlu mempersiapkan permukaan logam untuk dilakukan analisis struktur mikro. Sebelum dilakukan pengujian dilakukan preparasi sampel seperti melakukan pemotongan, pemolesan, dan etsa. Setelah persiapan, sampel dapat dengan mudah dianalisis menggunakan mikroskop optik atau elektron. Struktur mikro pada baja logam tergantung pada unsur pembentuk baja tersebut, seperti banyak logam pembentuk dan perlakuan panas yang diberikan (William D. Callister, 2007). Struktur mikro logam merupakan penggabungan dari satu atau lebih struktur kristal.

Pada umumnya logam terdiri dari banyak kristal (majemuk), walaupun ada diantaranya hanya terdiri dari satu kristal saja (tunggal). Logam dengan kristal majemuk memungkinkan pengembangan berbagai sifat-sifat yang dapat memperluas ruang lingkup pemakaiannya. Dalam logam, kristal sering disebut sebagai butiran. Batas pemisah antara dua kristal pemisah antara dua kristal disebut batas butir (*Grain Boundary*) (Mushlih N. & Rini H. N., 2020).

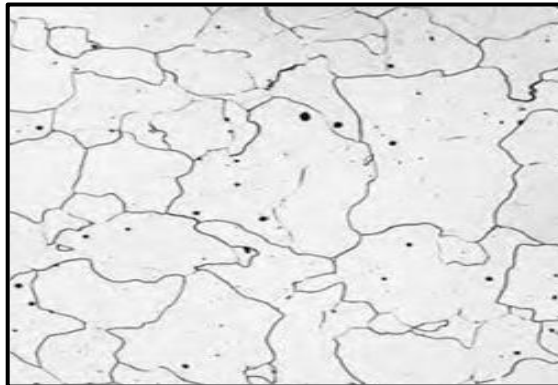
Dalam pengujian mikrostruktur, ASTM menerapkan standar ASTM E-3 untuk preparasi spesimen mencakup *mounting*, *cross sectioning*, dan *polishing*

material dan ASTM E-407 yang merupakan standar untuk menentukan bahan kimia etsa yang digunakan dan prosedur yang diperlukan untuk pengujian struktur mikro berbagai jenis logam. Baja karbon memiliki beberapa struktur seperti *Ferrite*, *pearlite*, dan *martensite* tergantung pada bagaimana karbon didistribusikan dalam material. Struktur mikro suatu material diamati dengan melakukan preparasi permukaan terlebih dahulu dengan menghaluskan permukaan spesimen hingga mengkilap. Preparasi ini bertujuan agar selama pengamatan dapat diperoleh pantulan sinar yang baik. Setelah permukaan spesimen halus, kemudian spesimen dietsa dengan larutan nital 2,5%. Kemudian spesimen dengan mikroskop dengan perbesaran 50 kali hingga 500 kali. Struktur mikro suatu material dapat mempengaruhi sifat mekanik suatu material seperti kekuatan, ketangguhan, keuletan, kekerasan, ketahanan korosi., dan kemampuan suatu material untuk diproses dengan perlakuan panas. Pada struktur mikro terdapat fasa-fasa yang hanya dapat dilihat dengan menggunakan alat bantu mikroskop optik. Untuk mengetahui struktur mikro dilakukan pengujian metalografi dengan menggunakan mikroskop. Dalam mempelajari material terutama logam baja, Analisa struktur mikro dilakukan untuk mengetahui fasa yang membentuk suatu struktur dari material. Dalam menganalisa, dilakukan uji metalografi agar fasa baja dapat terlihat.

Pada struktur mikro terdapat fasa-fasa yang hanya dapat dilihat dengan menggunakan alat bantu mikroskop optik. Adapun fasa-fasa yang terdapat pada baja sebagai berikut :

1. Fasa Ferit

Fasa ferit disebut besi alfa (α) dan merupakan larutan padat interstisial dengan sel kristal berbentuk BCC (*Body Centered Cubic*). Ruang antar atom kecil dan sempit, sehingga kelarutan karbon sangat rendah. Pada suhu kamar, kandungan karbon hanya 0,008%, sehingga dapat dianggap sebagai besi murni. Struktur fasa *ferrite* dengan perbesaran (90x) dapat dilihat pada Gambar 2.12 berikut ini.



(Sumber : William D. Callister, 2014)

Gambar 2.12 Struktur Fasa Ferrite (90x)

2. Fasa Martensit

Martensit adalah fasa metastabil yang terbentuk ketika austenit mendingin dengan sangat cepat, menekan deposisi karbida. Ini terjadi ketika baja karbon atau baja paduan rendah didinginkan dengan cepat. Struktur fasa Martensit dengan perbesaran (90x) dapat dilihat pada Gambar 2.13 berikut ini.

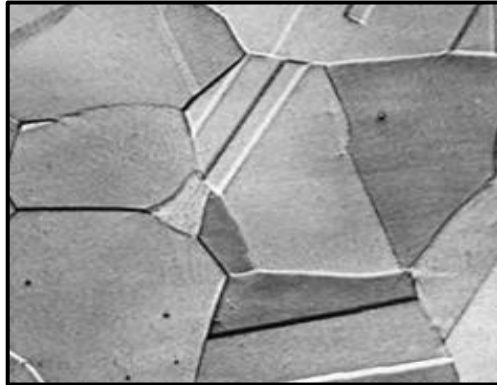


(Sumber : William D. Callister, 2014)

Gambar 2.13 Struktur Fasa Martensit (90x)

3. Fasa Austenit

Austenit merupakan fasa penting sebagai dasar pembentukan fasa lain dalam proses perlakuan panas. Fasa ini disebut besi karbida, senyawa interstisial dengan rumus kimia (Fe_3C). Dalam kasus baja, fasa ini dapat meningkatkan kekuatan, kekerasan dan ketahanan aus. Struktur fasa Austenit dengan perbesaran (90x) dapat dilihat pada Gambar 2.14 berikut ini.

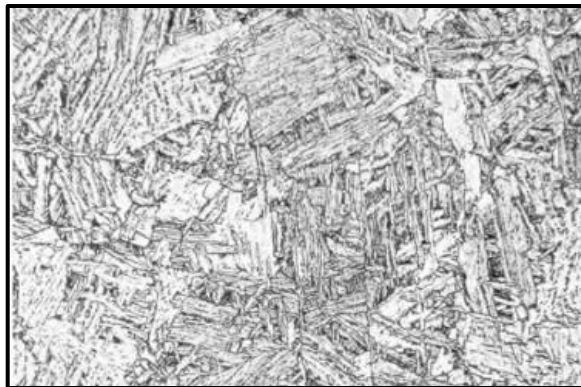


(Sumber : William D. Callister, 2014)

Gambar 2.14 Struktur Fasa Austenit (90x)

4. Fasa Bainit

Bainit merupakan fasa yang terjadi akibat transformasi pendinginan yang sangat cepat dimana semua elemen paduan masih larut dalam keadaan padat dan atom karbon tidak memiliki waktu untuk berdifusi. Ketika bainit terbentuk, austenit diubah secara isothermal menjadi ferit dan karbida di atas suhu reaksi awal martensit. Struktur fasa Bainit dengan perbesaran (90x) dapat dilihat pada Gambar 2.15 berikut ini.



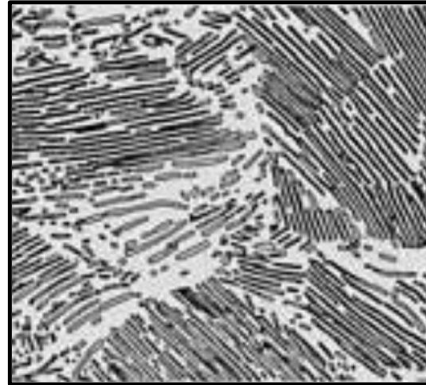
(Sumber : William D. Callister, 2014)

Gambar 2.15 Struktur Fasa Bainit (90x)

5. Fasa Perlit

Perlit adalah paduan eutektoid dari ferit dan sementit. Perlit terjadi terutama pada baja karbon rendah dalam bentuk campuran mekanik ferit dan sementit. Kekerasannya meningkat dengan proporsi perlit dalam bahan besi. Pearlite relatif kuat, keras dan ulet, sedangkan ferit lemah, lunak dan ulet. Perlit berbentuk seperti lapisan terang dan gelap secara bergantian. Lapisan-lapisan ini bergantian antara ferit (terang)

dan sementit (gelap). Struktur fasa perlit dengan perbesaran (90x) dapat dilihat pada Gambar 2.16 berikut ini.



(Sumber : William D. Callister, 2014)

Gambar 2.16 Struktur Fasa Perlite (90x)

2.2 Penelitian Terdahulu

Dalam melakukan penelitian kali ini, penulis mengambil beberapa referensi dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Hal ini dilakukan untuk menjadi rujukan dalam penentuan parameter, pertimbangan dalam pemilihan proses, serta dapat mengembangkan penelitian dengan inovasi dan keterbaruan dari penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya sehingga dapat memberikan pengetahuan baru tentang pemilihan metode dan peangaplikasiannya di industri. Beberapa penelitian yang dijadikan rujukan dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu

No	Judul	Nama & Tahun	Kesimpulan
1.	Pengaruh <i> Holding Time </i> terhadap Baja Karbon Menengah AISI 4140 dan AISI 1045 pada Pengujian Hardenability	Panggih Dwi Raharjo, Budi Istana, Lega Putri Utami 2016	1. Semakin lama waktu <i> holding time </i> maka semakin tinggi nilai kekerasan baja tersebut. 2. Nilai kekerasan tertinggi pada baja AISI 4140 dan baja AISI 1045 terdapat pada <i> holding time </i> 45 menit yaitu sebesar 499 VHN untuk baja AISI 4140 dan 543 VHN untuk baja AISI 1045 3. Nilai kekerasan terendah pada baja AISI 4140 dan baja AISI 1045 terdapat pada <i> holding time </i> 10 menit yaitu sebesar 385 VHN untuk baja AISI 4140 dan 283 VHN untuk baja AISI 1045

2.	<i>Hardness Improvement on Low Carbon Steel Using Pack Carbonitriding Method with Holding Time Variation</i>	Poppy Puspitasari Andoko, Heru Suyanto, Puput Risdanareni, Sandy Yudha 2017	<ol style="list-style-type: none"> 1. Perbedaan struktur mikro permukaan baja karbon yang dipanaskan pada suhu 700°C dengan <i>holding time</i> 60 menit dan 120 menit yaitu pada sisa fasa austenit yang terperangkap bersamaan dengan karbon dan permukaan lapisan austenite lebih tebal menyebabkan terjadinya difusi karbon sehingga menaikkan nilai kekerasan. 2. Pada suhu 750°C dengan <i>holding time</i> 60 menit sisa fasa austenite terperangkap dalam kisi struktur dan dengan <i>holding time</i> 120 menit nitrogen kembali berdifusi dan menyebabkan kestabilan fasa austenite sehingga menurunkan nilai kekerasan secara signifikan. 3. Pada suhu 800°C <i>holding time</i> 60 menit terbentuknya fasa nitrogen austenite yang stabil dan dengan <i>holding time</i> 120 menit menghasilkan lapisan permukaan yang menguraikan sifat austenite pada nitrogen yang menyebabkan bertransformasi dengan sifat ammonia.
3	Analisis Pengaruh Waktu Tahan (<i>Holding Time</i>) terhadap Kekerasan Baja AISI 4140 dengan Metode <i>Pack Carburizing</i> Media Arang Bambu.	Danel Saputro, Gery Setiadi, Supriyanto Wibowo 2019	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nilai kekerasan spesimen mengalami kenaikan seiring dengan <i>Holding Time</i> pada proses <i>Carburizing</i> yaitu sebesar 49.8 HRC pada waktu 60 menit dan 56.7 HRC pada waktu 90 menit dan dengan kekerasan tertinggi sebesar 63.0 HRC pada waktu 120 menit. 2. Hasil pengamatan foto struktur mikro pada spesimen yang telah di <i>Carburizing</i> menunjukkan adanya karbida yang terbentuk. Hal ini menyebabkan sifat baja keras pada bagian luarnya sedangkan ulet pada bagian dalamnya.
4.	Pengaruh Proses Nitriding terhadap Perubahan Kekerasan dan Keausan	Trisbenheiser 2020	<ol style="list-style-type: none"> 1. Peningkatan waktu penahanan dan suhu pada proses <i>nitriding</i> memberikan pengaruh terhadap peningkatan kekerasan permukaan pada

	Permukaan Baja St 40 dengan Variasi Waktu dan Suhu		<p>spesimen dimana semakin tinggi temperatur (suhu) dan semakin lama waktu penahanan saat proses <i>nitriding</i>, mengakibatkan perubahan kekerasan pada bagian permukaan baja St 40 akan semakin meningkat. Nilai kekerasan tertinggi terjadi pada suhu 550°C dengan waktu penahanan 5 jam dimana nilai kekerasannya adalah 116,51 HB pada bagian permukaan spesimen.</p> <p>2. Dari hasil analisa struktur mikro spesimen yang sudah melalui proses <i>Nitriding</i> dengan variasi waktu, dan suhu terlihat fasa perlit pada bagian permukaan mulai terjadi. Semakin meningkat suhu serta semakin lama waktunya maka fasa perlit yang tercipta makin banyak.</p> <p>3. Penambahan waktu tahan dan suhu pada proses <i>nitriding</i> juga memberi pengaruh terhadap laju keausan permukaan pada baja St 40 pada suhu 550°C dengan waktu penahanan 5 jam dan waktu pengausan 60 menit, 90 menit dan 120 menit diperoleh nilai terkecil laju keausan pada masing-masing waktu sebesar 0,38 mm³/menit, 0,44 mm³/menit, 0,57 mm³/menit</p>
5.	Pengaruh Variasi Suhu dan Media Pendingin pada Proses <i>Pack Nitriding</i> Material SUS 630 terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro	Yoseph Netanyahu Silalahi, Rudi Siswanto 2021	<p>1. Semakin tinggi suhu nitridasi maka semakin meningkat nilai kekerasan material SUS 630, nilai kekerasan tertinggi terdapat pada suhu 620°C pendinginan dalam tungku dengan nilai 80.9 HRN, diikuti nilai kekerasan pada suhu 620°C pendinginan hembusan fan 80.5 HRN dan nilai kekerasan pada suhu 620°C pendinginan suhu ruang 80.4 HRN</p> <p>2. Nilai optimal <i>diffusion layer</i> terdapat pada pendinginan dalam tungku dengan suhu 620°C menghasilkan nilai rata – rata 4.57 μm dan <i>white layer</i></p>

			<p>sebesar $0.53 \mu\text{m}$, diikuti nilai pendinginan suhu ruang dengan suhu 620°C menghasilkan nilai rata-rata $4.25 \mu\text{m}$ dan <i>white layer</i> sebesar $0.45 \mu\text{m}$ dan nilai pendinginan hembusan <i>fan</i> dengan suhu 620°C menghasilkan nilai rata – rata $4.23 \mu\text{m}$ dan <i>white layer</i> sebesar $0.44 \mu\text{m}$.</p>
6.	<p>Pengaruh Variasi <i>Energizer</i> pada <i>Pack Carburizing</i> dengan Media Arang Tempurung Kelapa terhadap Sifat Mekanik Baja AISI 4340</p>	<p>Sapna Yusmania 2022</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Semakin tinggi nilai <i>poisson ratio</i> semakin turun nilai <i>ultimate tensile strength</i>. Nilai rerata <i>ultimate tensile strength</i> tertinggi ditunjukkan oleh spesimen <i>raw material</i> sebesar $819,53 \pm 0$ Mpa, sedangkan spesimen A sebesar $441,92 \pm 25,56$ MPa, spesimen B sebesar $469,29 \pm 20,24$ MPa dan spesimen C sebesar $333,42 \pm 30,22$ Mpa. 2. Semakin besar nilai energi <i>impact</i> maka semakin besar pula nilai keuletannya. Nilai rerata energi <i>impact</i> tertinggi ditunjukkan oleh spesimen <i>raw material</i> sebesar $15,802 \pm 0$ Joule, sedangkan spesimen A sebesar $14,63 \pm 1,01$ Joule, spesimen B sebesar $10,65 \pm 0$ Joule dan spesimen C sebesar $4,32 \pm 0$ Joule. 3. Semakin banyak karbon yang terdifusi pada material maka akan semakin meningkat kekerasannya. Nilai rerata kekerasan tertinggi ditunjukkan oleh spesimen C sebesar $80,70 \pm 1,20$ HRC, sedangkan spesimen Raw sebesar $56,90 \pm 0$ HRC, spesimen A sebesar $66,97 \pm 1,13$ HRC dan spesimen B $72,72 \pm 0,81$ HRC. 4. Fasa yang terbentuk tanpa perlakuan adalah <i>ferrite</i> dan <i>pearlite</i> sedangkan setelah dilakukan perlakuan fasa yang terbentuk adalah <i>pearlite</i> dan <i>martensite</i>. Dengan terbentuknya fasa <i>martensite</i>

			pada permukaan baja AISI 4340 maka kekerasan baja menjadi tinggi setelah dilakukan perlakuan <i>pack carburizing</i> .
7.	Pengaruh Variasi Gas Argon pada Plasma Nitridasi terhadap Kekerasan, Keausan, dan Struktur Mikro pada Baja AISI 4340	Muhammad Benadhi Ferazhi Rachman 2022	<p>1. Variasi komposisi gas pada plasma nitridasi dengan menggunakan gas argon dapat meningkatkan kekerasan pada material. Nilai kekerasan tertinggi didapat pada spesimen dengan variasi 95%N₂ : 5%Ar dengan nilai rata – rata 453,86 VHN atau peningkatan dalam persentase sebesar 16% dari raw material dan 31% dari spesimen tanpa perlakuan gas argon.</p> <p>2. Variasi komposisi gas pada plasma nitridasi dengan menggunakan gas argon dapat mempengaruhi nilai ketahanan aus. Hal ini berbanding lurus dengan nilai kekerasan optimum yang didapat pada spesimen 95%N₂ : 5%Ar, didapat nilai ketahanan aus sebesar 5,33x10⁻⁸ mm² /kg.</p>

Pada penelitian diatas agar memudahkan penyesuaian posisi penelitian ini, maka dari itu posisi penelitian yang saya lakukan terhadap penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.4 dibawah ini.

Tabel 2.4 Posisi Penelitian

Penelitian	Baja AISI 4140	Heat Treatment			Pengujian		
		<i>Pack Carburizing</i>	<i>Pack Nitriding</i>	<i>Pack Carbonitriding</i>	Uji Kekerasan	Uji Keausan	Uji Struktur Mikro SEM
Panggih Dwi Raharjo, Budi Istana, Lega Putri Utami, 2016, Pengaruh <i>Holding Time</i> terhadap Baja Karbon Menengah AISI 4140 dan AISI 1045 pada Pengujian Hardenability							
Poppy Puspitasari Andoko, Heru Suyanto, Puput Risdanareni, Sandy Yudha 2017, <i>Hardness Improvement on Low Carbon Steel Using Pack Carbonitriding Method with Holding Time Variation</i>							
Danel Saputro, Gery Setiadi, Supriyanto Wibowo, 2019, Analisis Pengaruh Waktu Tahan (<i>Holding Time</i>) terhadap Kekerasan Baja AISI 4140 dengan Metode <i>Pack Carburizing</i> Media Arang Bambu							

Penelitian	Baja AISI 4140	Heat Treatment			Pengujian		
		<i>Pack Carburizing</i>	<i>Pack Nitriding</i>	<i>Pack Carbonitriding</i>	Uji Kekerasan	Uji Keausan	Uji Struktur Mikro SEM
Trisbenheiser, 2020, Pengaruh Proses Nitriding terhadap Perubahan Kekerasan dan Keausan Permukaan Baja St 40 dengan Variasi Waktu dan Suhu							
Yoseph Netanyahu Silalahi, Rudi Siswanto, 2021, Pengaruh Variasi Suhu dan Media Pendingin pada Proses <i>Pack Nitriding</i> Material SUS 630 terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro							
Sapna Yusmania, 2022, Pengaruh Variasi <i>Energizer</i> pada <i>Pack Carburizing</i> dengan Media Arang Tempurung Kelapa terhadap Sifat Mekanik Baja AISI 4340							
Muhammad Benadhi Ferazhi Rachman, 2022, Pengaruh Variasi Gas Argon pada Plasma Nitridasi terhadap Kekerasan, Keausan, dan Struktur Mikro pada Baja AISI 4340							
Mahardhiyan Raihan Pratama, 2022	Pengaruh Variasi Komposisi Media Pupuk Urea dan Arang Bioaktif pada Proses <i>Pack Carbonitriding</i> terhadap Kekerasan, Keausan dan Metalografi SEM Baja AISI 4140						

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

3.1.1 Waktu Penelitian

Waktu penelitian ini direncanakan dilakukan selama 3 bulan dari tanggal 1 Maret 2023 – 30 Juni 2023. Tahapan yang dilalui untuk melakukan penelitian ini meliputi tahap persiapan, penelitian, dan analisis hasil. Spesimen didapatkan melalui pembelian pada *platform e-commerce*. Dalam kegiatan penelitian ini menggunakan data pengujian spesimen baja AISI 4140 yang telah dilakukan *pack carbonitriding*, dengan pengujian kekerasan (ASTM E-384), pengujian keausan (ASTM G-99), dan pengujian metalografi SEM (ASTM E-3). Kegiatan yang dilakukan selama rentang waktu tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3.1 Agenda Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Maret				April				Mei				Juni			
		Minggu ke-															
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Literatur																
2	Pembuatan Pola Spesimen dan Proses Pack Carbonitriding																
3	Pengujian Spesimen																
4	Analisis Data																
5	Penyusunan Draft Skripsi																

3.1.2 Tempat Penelitian

Penelitian skripsi ini dilakukan di beberapa tempat seperti Laboratorium Proses Produksi, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Islam Indonesia untuk proses *pack carbonitriding*. Pengujian kekerasan dan pengujian keausan dilakukan di Laboratorium Material, Departemen Teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada. Sedangkan untuk pengamatan struktur mikro SEM dilakukan di *Teaching Industry Learning Center*, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Oven Pemanas dengan kontrol suhu (*Merk Wisetherm*)

Oven merupakan salah satu alat yang digunakan dalam pemanasan material. Dalam penelitian ini oven digunakan untuk pemanasan pada *pack carbonitriding* pada spesimen. Gambar 3.1 berikut merupakan gambar oven yang digunakan.



Gambar 3.1 *Muffle Furnace*

2. Kotak Karbonitridasi dengan ketebalan 4 mm

Kotak karburasi merupakan salah satu alat yang digunakan pada *pack carburizing*. Selain itu, kotak karbonitridasi juga digunakan untuk menyimpan spesimen dan media untuk kemudian dipanaskan. Kotak karburasi yang digunakan dengan dimensi 16,5 cm x 14,5 cm x 10,5 cm. Gambar 3.2 berikut merupakan gambar kotak karburasi yang digunakan.



Gambar 3.2 Kotak Karbonitridasi

3. Timbangan Digital (*Merk SF 400 Gold Coin*)

Timbangan digital merupakan salah satu alat yang digunakan untuk menimbang bahan. Dalam penelitian ini timbangan digital digunakan untuk menimbang berat arang karbon aktif dan pupuk urea yang digunakan pada *pack carbonitriding*. Gambar 3.3 berikut merupakan gambar timbangan digital yang digunakan.



Gambar 3.3 Timbangan Digital

4. Jangka Sorong Digital (*Merk Insize Type 1108-150*)

Jangka sorong digital merupakan salah satu alat yang digunakan dalam pengukuran dimensi material, dalam penelitian ini jangka sorong digunakan untuk mengukur *shrinkage* pada spesimen. Gambar 3.4 berikut merupakan gambar jangka sorong yang digunakan.



Gambar 3.4 Jangka Sorong Digital

5. *Thermogun (Merk Benetech GM900)*

Thermogun merupakan salah satu alat yang digunakan untuk menimbang bahan. Dalam penelitian ini *thermogun* digunakan untuk mengukur suhu yang terjadi pada proses pendinginan spesimen Gambar 3.5 berikut merupakan gambar *thermogun* yang digunakan.



Gambar 3.5 *Thermogun*

6. Mesin Pengujian Kekerasan *Hardness Micro Vickers (Merk Buehler MM 004)*

Metode Vickers merupakan salah satu pengujian kekerasan ini dengan penerapan menekan material atau spesimen uji dengan indenter intan dengan bentuk piramida dengan alas segi empat dan sudut dari permukaan yang berhadapan 136 derajat. Gambar 3.7 berikut merupakan gambar Mesin Hardnes.



Gambar 3.6 Mesin Uji Kekerasan *Micro Vickers*

7. Mesin Pengujian Keausan (*Merk Ogoshi Tipe OAT-U*)

Alat mesin ogoshi merk High Speed Universal Wear Testing tipe OAT-U di Laboratorium Bahan Teknik Universitas Gadjah Mada digunakan untuk melakukan pengujian keausan pada material yang ditunjukkan pada gambar 3.7



Gambar 3.7 Mesin Uji Keausan *Ogoshi*

8. Mesin Pengujian Struktur Mikro SEM (*Merk JOEL JSM – IT700HR*)

Alat uji struktur mikro digunakan untuk melihat struktur dari spesimen yang telah terbentuk setelah mengalami proses *pack carbonitriding*. Alat yang digunakan berupa pengujian SEM merk *JOEL JSM – IT700HR* di Laboratorium *Design and Development*, Vokasi Universitas Gadjah Mada Pada gambar 3.8 merupakan alat yang digunakan pada pengujian struktur mikro.



Gambar 3.8 Mesin Uji Struktur Mikro SEM

9. Ayakan Gantung

Ayakan Gantung digunakan untuk mengetahui ukuran arang karbon aktif dan pupuk urea yang digunakan. Gambar 3.9 berikut merupakan gambar ayakan gantung yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3.9 Ayakan Gantung

10. Kunci T 12 (Merk Tekiro)

Kunci T 12 digunakan untuk membuka baut yang ada pada kotak *pack carbonitriding*. Gambar 3.10 berikut merupakan gambar kunci T 12 yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3.10 Kunci T 12

11. Tang (*Merk Tekiro*)

Tang digunakan untuk menjepit kotak karbonitridasi. Selain itu, dalam penelitian ini tang juga digunakan untuk menjepit spesimen pada proses quenching. Gambar 3.11 berikut merupakan gambar tang yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3.11 Tang

12. Wadah (wadah arang karbon aktif, wadah pupuk urea, wadah oli)

Wadah digunakan untuk menampung bahan-bahan yang dibutuhkan pada *pack carbonitriding*. Berikut merupakan gambar-gambar wadah yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3.12 Wadah Arang Karbon Aktif



Gambar 3.13 Wadah Pupuk Urea



Gambar 3.14 Wadah Oli Mesin SAE 40

3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Material Baja AISI 4140 (CV.Rizqi Barokah Steel)

Material Baja AISI 4140 merupakan bahan utama yang digunakan untuk mencetak spesimen. Spesimen didapatkan melalui pembelian di CV. Rizqi Barokah Steel melalui *platform* Tokopedia. Gambar 3.15 berikut merupakan gambar material baja AISI 4140.



Gambar 3.15 Baja AISI 4140

2. Arang Karbon Aktif (*Merk Procarb*)

Coconut Activated Carbon digunakan sebagai karbon aktif pada *pack carbonitriding*. *Activated Carbon* didapatkan melalui pembelian di PT. Carbi Belian melalui *platform* Tokopedia. Gambar 3.16 berikut merupakan gambar *Coconut Activated Carbon*.



Gambar 3.16 Arang Karbon Aktif

3. Pupuk Nitrogen Urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) (*Merk Pupuk Nitrea*)

Pupuk Nitrogen Urea ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$) dengan Kadar N 46% digunakan sebagai sumber nitrogen pada *pack carbonitriding*. Pupuk nitrogen urea didapat melalui pembelian di platform Tokopedia. Gambar 3.17 berikut merupakan gambar pupuk nitrogen urea.



Gambar 3.17 Pupuk Nitrogen Nitrea

4. Oli Mesin SAE 40 (*Merk Fastron*)

Oli mesin SAE 40 digunakan sebagai media *quenching* pada *pack carbonitriding*. Oli mesin SAE 40 yang digunakan dalam penelitian ini *engine oil* bermerk *fastron* dari Pertamina *Brighmart*. Gambar 3.18 berikut merupakan gambar Oli SAE 40.



Gambar 3.18 Oli Mesin SAE 40

5. Kertas Amplas (*Merk Sikkens*)

Pada gambar 3.19 merupakan bahan yang akan digunakan untuk persiapan proses penghalusan material sebelum dilakukan proses pack carbonitriding dengan menggunakan amplas dari ukuran *grid* 80, 120, 180, 240, 400, 800, dan 1000.



Gambar 3.19 Kertas Amplas

6. Metal Polishing (*Merk Autosol*)

Pada gambar 3.20 autosol merupakan bahan yang akan digunakan untuk membersihkan spesimen sebelum dilakukan pengujian struktur mikro SEM.



Gambar 3.20 Metal Polishing

3.3 Variabel Penelitian

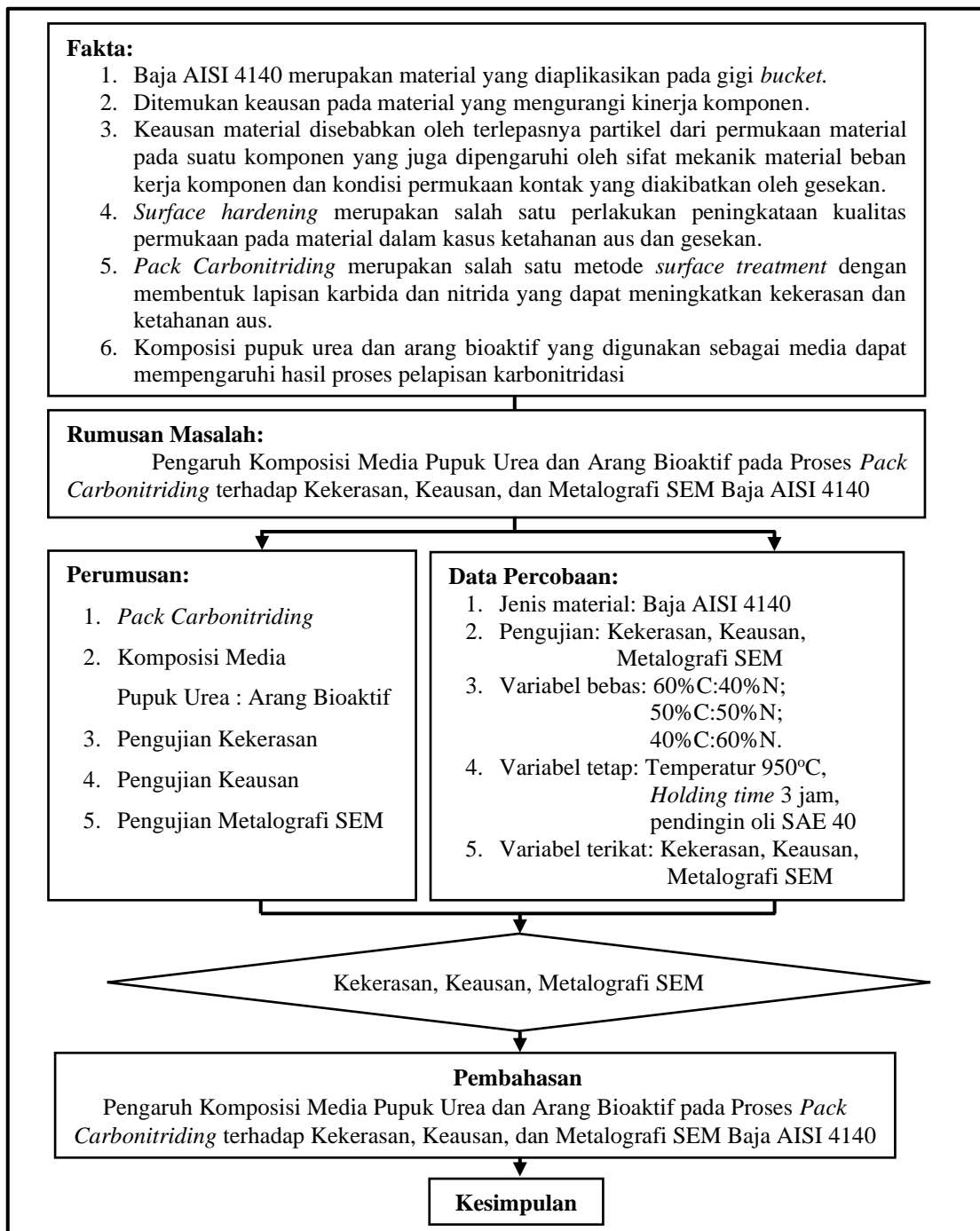
Pengujian menggunakan standar ASTM E-384 untuk kekerasan *hardness vickers*, standar ASTM E-G99 untuk pengujian keausan dengan Metode Ogoshi, dan pengujian metalografi SEM ASTM E-3. Adapun variabel yang digunakan pada penelitian kali ini dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut ini

Tabel 3.2 Variabel Penelitian

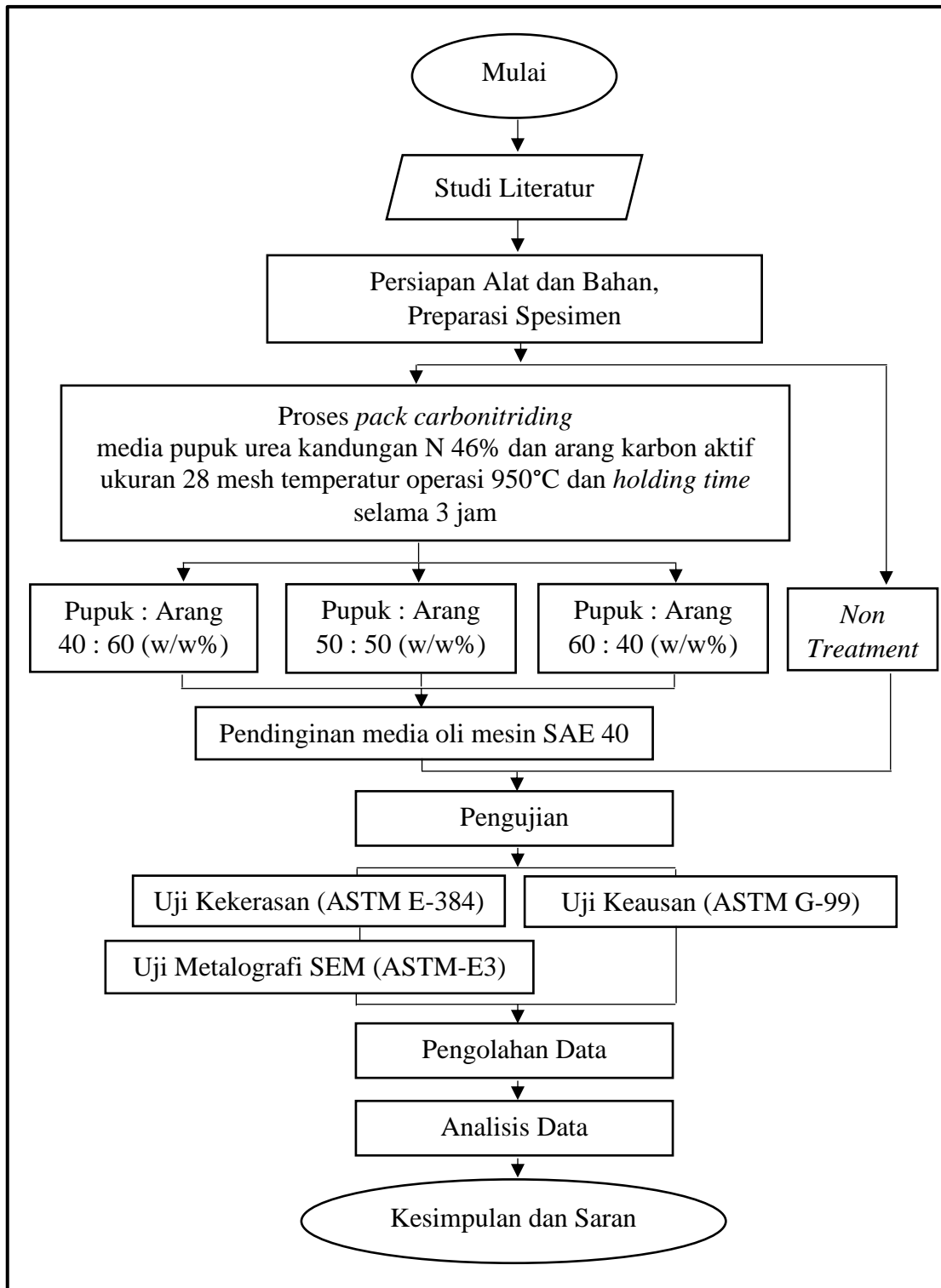
Variabel Bebas	Variabel Terikat			
	Suhu (°C)	Holding Time (Jam)	Ukuran Butir (Mesh)	Media Quenching
Spesimen A Pupuk Urea : Arang Bioaktif 40 : 60 (w/w%)	950°C	3 Jam	28	Oli Mesin SAE 40
Spesimen B Pupuk Urea : Arang Bioaktif 50 : 50 (w/w%)	950°C	3 Jam	28	Oli Mesin SAE 40
Spesimen C Pupuk Urea : Arang Bioaktif 60 : 40 (w/w%)	950°C	3 Jam	28	Oli Mesin SAE 40

3.4 Tahapan Penelitian

Untuk memudahkan pelaksanaan penelitian dan menjadikan penelitian ini lebih sistematis, diperlukan diagram alir penelitian dan diagram alir percobaan yang ditunjukkan pada Gambar 3.21 dan 3.22 dibawah ini



Gambar 3.21 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.22 Diagram Alir Percobaan

3.4.1 Persiapan Benda Uji

1. Melakukan pembelian spesimen uji melalui *platform e-commerce* dengan ukuran dan spesifikasi yang sudah ditentukan yaitu dengan ketebalan 10 mm.
2. Memotong spesimen dengan ukuran P x L x T sebesar 40 mm x 20 mm x 10 mm.
3. Melakukan pengamplasan dengan ukuran grid sebesar 80, 120, 180, 240, 400, 800, 1000.
4. Membersihkan spesimen yang telah dilakukan pengamplasan dan spesimen siap dilakukan proses *pack carbonitriding*.

Adapun benda uji yang harus dipersiapkan untuk penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3.3 Persiapan Benda Uji

No	Variasi Komposisi	Jumlah Pengujian		Total
	Pupuk : Arang	Uji Kekerasan	Uji Keausan	
1	40 : 60 (w/w%)	2 Spesimen, 3 Titik	3 Spesimen	5 Spesimen
2	50 : 50 (w/w%)	2 Spesimen, 3 Titik	3 Spesimen	5 Spesimen
3	60 : 40 (w/w%)	2 Spesimen, 3 Titik	3 Spesimen	5 Spesimen
4	Tanpa Perlakuan	1 Spesimen, 3 Titik	1 Spesimen	2 Spesimen
Total				17 Spesimen

3.4.2 Proses *Pack Carbonitriding*

1. Menyiapkan spesimen uji yang telah di preparasi.
2. Menyiapkan campuran pupuk urea dengan kandungan N sebesar 46% dan arang karbon aktif dengan variasi persentase komposisi 40:60 (w/w%), 50:50 (w/w%), 60:40 (w/w%).
3. Membuka kotak *carbonitriding* yang telah disiapkan

4. Memasukkan campuran pupuk urea dengan kandungan N sebesar 46% dan arang karbon aktif dengan variasi persentase komposisi 40:60 (w/w%), 50:50 (w/w%), 60:40 (w/w%) ke dalam kotak *carbonitriding* sampai spesimen berada di tengah-tengah kotak kemudian ditutup lagi lalu dimasukkan ke dalam tungku pemanas.
5. Mengatur pemanasan pada temperatur 950°C dengan lama pemanasan selama 3 jam
6. Membuka oven kemudian mengangkat spesimen lalu dicelupkan ke dalam media *quenching* Oli Mesin SAE 40 pada suhu 950°C.
7. Melakukan pengukuran temperatur spesimen selama perendaman dengan interval waktu pengukuran setiap 1 menit selama waktu perendaman
8. Membersihkan spesimen yang telah didinginkan
9. Melakukan pengujian pada spesimen yang telah melalui *pack carbonitriding*. Spesimen yang akan di uji di bersihkan dan diberi tanda sesuai dengan jumlah campuran komposisinya, kemudian dilakukan *polishing*.

3.4.3 Pengujian Kekerasan

1. Meratakan specimen dengan menggunakan gerinda dan amplas grid 80, 240, dan 600
2. Permukaan specimen dihaluskan menggunakan amplas grid 1000 dan 2000 serta kain beludru dengan pasta autosol
3. Pemasangan uji kekerasan Vickers dengan beban sebesar 50 gram, jarak 150 μm dan waktu pembebanan 10 detik
4. Memosisikan ujung indentor pada permukaan benda kerja
5. Menyalakan heater dan tunggu hingga suhu permukaan spesimen mencapai suhu yang sesuai
6. Lepaskan handel secara perlahan tanpa tekanan ke bawah, hande akan bergerak turun dengan sendiri nya. Biarkan jarum besar pada skala turun sampai berhenti.

7. Saat jarum mulai berhenti, tunggu selama 5 detik sebelum menggerakkan handel ke atas menjauhi permukaan spesimen.
8. Ulangi pengujian dengan menggeser spindle ke arah samping specimen dengan jarak 1 mm sebanyak 3 kali.

3.4.4 Pengujian Keausan

1. Kecepatan putar mesin uji keausan yaitu 770 rpm.
2. Jarak langkah maju-mundur mesin uji keausan yaitu 157,2 mm.
3. Media gesekan (*abrassive wear*) menggunakan karborundum dengan ukuran kekasaran 600 yang dicampurkan pada oli. Campuran karborundum dan oli ini ditempatkan secara merata pada landasan gesekan sebelum pengujian dilakukan.
4. Waktu pengujian keausan untuk masing- masing spesimen yaitu 18 menit dengan melakukan pengukuran hasil pada setiap 16 menit pengujian.

3.4.5 Pengujian Metalografi SEM

1. Menyiapkan specimen untuk Pengujian Struktur mikro
2. Memotong spesimen baja AISI 4140 dengan menggunakan gerinda tangan. Pemotongan spesimen ini bertujuan untuk mempermudah pengamatan dengan mikroskop optik.
3. Membingkai atau *mounting* spesimen. Pembungkaiian ini bertujuan agar spesimen dapat berdiri tegak saat dilakukan foto mikro selain itu juga agar spesimen tidak rusak. Adapun proses *mounting* yaitu setelah dilakukan pemotongan dilakukan *mounting* atau pembungkaiian dimana spesimen diberi resin lalu dipanaskan hingga mengeras.
4. Melakukan proses penghalusan menggunakan amplas, pada tahapan pengamplasan dimulai dari mesh yang paling kasar hingga yang paling halus. Tujuannya adalah untuk meratakan permukaan hasil dari pemotongan.
5. Melakukan proses *Polishing* menggunakan cairan agar dihasilkan permukaan yang sangat halus menyerupai cermin. *Polishing* ini bertujuan

untuk menghaluskan dan melicinkan permukaan sampel yang akan diamati. Cara melakukan *polishing* adalah menggunakan *metal polish* (autosol) dan kain halus sebagai media penghalus.

6. Melakukan proses etsa menggunakan larutan Nital. Tujuan dari etsa adalah menumbuhkan batas butir dan fasa yang ada. Pengetsaan dilakukan dengan meneteskan larutan nital kepermukaan spesimen sekitar 15-20 detik.

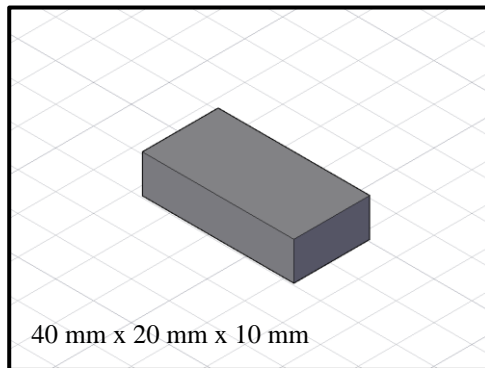
BAB IV

HASIL PENELITIAN

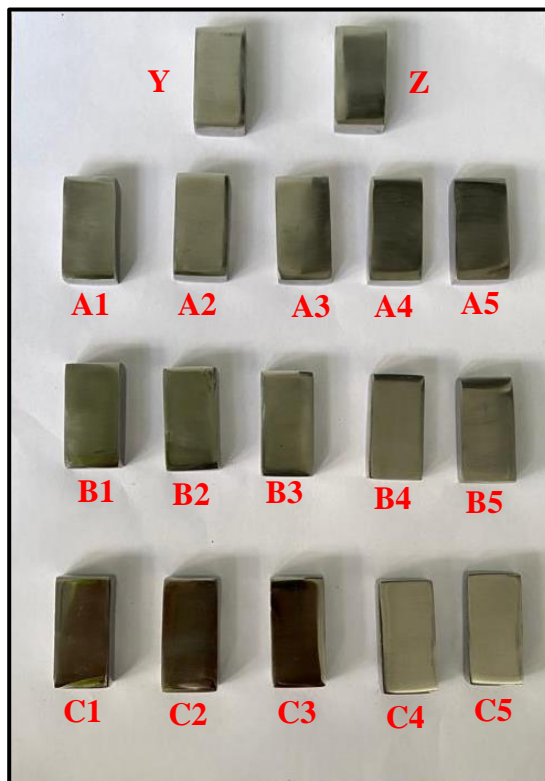
Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan dan pencetakan spesimen serta pengujian mekanik dan pengamatan mikrostruktur meliputi pengujian kekerasan mikro, pengujian keausan, dan pengamatan metalografi SEM dari spesimen tersebut. Pembuatan pola spesimen dibuat menggunakan *Software AutoCAD 2019*, kemudian pola spesimen tersebut dicetak menggunakan mesin *CNC*. Selanjutnya dilakukan proses identifikasi terhadap spesimen yang telah dicetak dengan cara memberi kode spesimen A, spesimen B, spesimen C. Sebagai contoh, kode spesimen A merupakan kode untuk spesimen dengan komposisi media pupuk urea dan arang bioaktif 40:60 (w/w%), kode spesimen B merupakan kode untuk spesimen dengan komposisi media pupuk urea dan arang bioaktif 50:50 (w/w%), kode spesimen C merupakan kode untuk spesimen dengan komposisi media pupuk urea dan arang bioaktif 60:40 (w/w%).

4.1 Hasil Pembuatan Spesimen

Pembuatan pola spesimen uji kekerasan dan keausan dibuat menggunakan *Software AutoCAD 2019* dengan ukuran yang sama yaitu panjang 40 mm, lebar 20 mm, dan tebal 10 mm. Terkait gambar kerja dengan tampak atas, tampak depan, dan tampak samping spesimen dapat dilihat pada (Lampiran E). Kemudian dilakukan pemotongan dan pembentukan spesimen oleh toko tempat spesimen ini dipesan yaitu CV. Rizqy Barokah Steel dan selanjutnya spesimen dikirim dalam keadaan sudah terpotong. Hasil pembuatan pola spesimen dan hasil pencetakan spesimen dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.1 Pembuatan Pola Spesimen

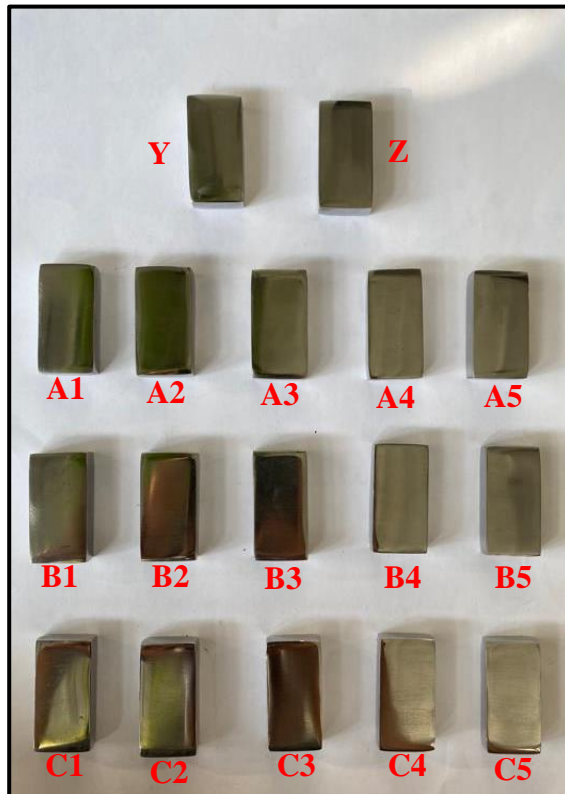


Gambar 4.2 Pencetakan Spesimen

4.2 Hasil Preparasi Spesimen

Pada gambar 4.3 merupakan hasil spesimen yang telah dicetak dengan panjang 40 mm, lebar 20 mm, dan tebal 10 mm dan telah dilakukan preparasi dengan cara diampelas dengan menggunakan kertas amplas dari ukuran *grid* 80, 120, 180, 240, 400, 800, dan 1000. Kemudian dilakukan pengkilapan dengan

menggunakan *metal polishing autosol* yang bertujuan untuk menghilangkan kotoran sisa pada material. Sebelum dilakukan proses *carbonitriding* spesimen yang telah melalui tahap preparasi diukur terlebih dahulu yang bertujuan untuk mengetahui ukuran awal dari spesimen sebelum dilakukannya perlakuan panas yang dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut.



Gambar 4.3 Spesimen setelah di preparasi



Gambar 4.4 Pengukuran Spesimen

4.3 Hasil Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan ini menggunakan alat uji kekerasan mikro *Vickers* dengan merk *Buehler High Quality Micro Hardness Tester* model MM 0054 di Laboratorium Bahan Departemen Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada. Pengujian ini dilakukan dengan parameter masing-masing spesimen beban benda uji 50 gf dengan waktu indentasi selama 10 detik. Penentuan titik kekerasan per spesimen dilakukan 3 kali pada permukaan material sehingga diperoleh data nilai kekerasan yang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Nilai Kekerasan

Variabel	Kode Spesimen	d1 (µm)	d2 (µm)	D (µm)	P (Kg)	HVN	Rata-Rata HVN Pertitik	Rerata HVN Spesimen	Standar Deviasi
Raw	Y	18	18	18	0.05	286.11	291.64	291.64	9.57
		18	18	18	0.05	286.11			
		17.5	17.5	17.5	0.05	302.69			
C : N 60% : 40% w/w%	A1	12.5	12	12.5	0.05	617.74	628.21	723.37	174.63
		10.5	10.5	10.5	0.05	840.82			
		15	14.5	15	0.05	426.08			
	A2	11.5	11	11.5	0.05	732.44	818.53		
		10.5	10	10.5	0.05	882.33			
		10.5	10.5	10.5	0.05	840.82			
C : N 50% : 50% w/w%	B1	14	13	14	0.05	508.64	486.06	483.77	40.99
		14.5	14.5	14.5	0.05	440.90			
		13.5	13.5	13.5	0.05	508.64			
	B2	15	14.5	15	0.05	426.08	481.47		
		13	13.5	13	0.05	528.02			
		13.5	14	13.5	0.05	490.31			
C : N 40% : 60% w/w%	C1	16	15.5	16	0.05	371.33	348.07	350.83	25.76
		17	16.5	17	0.05	332.39			
		17	16	17	0.05	340.50			
	C2	16	15.5	16	0.05	373.70	353.58		
		17.5	17	17.5	0.05	313.35			
		16	15.5	16	0.05	373.70			

4.4 Hasil Uji Keausan

Pengujian keausan ini menggunakan alat uji keausan dengan merk *Ogoshi High Speed Universal Wear Testing* tipe OAT-U di Laboratorium Bahan Departemen Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada. Pengujian ini dilakukan dengan parameter bobot beban pengaus sebesar 2,12 kg, ketebalan beban pengaus sebesar 3 mm, jari-jari piringan pengaus sebesar 13,05 mm selama 3 menit dengan

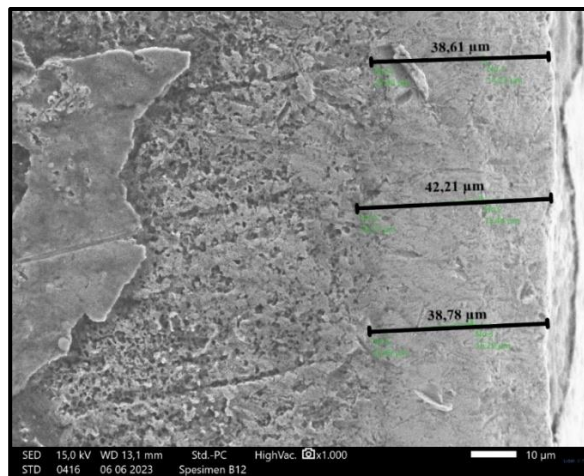
jarak abrasi sejauh 66 m sehingga dapat diperoleh data nilai laju keausan yang dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Nilai Keausan

Variabel	Kode Spesimen	Nilai b (mm)	B (mm)	r (mm)	P0 (Kg)	l0 (m)	Keausan Spesifik (Ws) (mm ² /Kg)	Rerata Ws (mm ² /Kg)	Standar Deviasi
Raw	Z	1.1048	3	13.05	2.12	66	2.77 X 10 ⁻⁷	2.77 X 10 ⁻⁷	0
C : N 60% : 40% w/w%	A3	0.9344	3	13.05	2.12	66	1.68 X 10 ⁻⁷	1.55 X 10 ⁻⁷	1.73 X 10 ⁻⁸
	A4	0.8692	3	13.05	2.12	66	1.35 X 10 ⁻⁷		
	A5	0.9224	3	13.05	2.12	66	1.61 X 10 ⁻⁷		
C : N 50% : 50% w/w%	B3	1.0132	3	13.05	2.12	66	2.14 X 10 ⁻⁷	2.16 X 10 ⁻⁷	5.39 X 10 ⁻⁹
	B4	1.0108	3	13.05	2.12	66	2.12 X 10 ⁻⁷		
	B5	1.0264	3	13.05	2.12	66	2.22 X 10 ⁻⁷		
C : N 40% : 60% w/w%	C3	1.0828	3	13.05	2.12	66	2.61 X 10 ⁻⁷	2.46 X 10 ⁻⁷	1.29 X 10 ⁻⁸
	C4	1.0484	3	13.05	2.12	66	2.37 X 10 ⁻⁷		
	C5	1.0544	3	13.05	2.12	66	2.41 X 10 ⁻⁷		

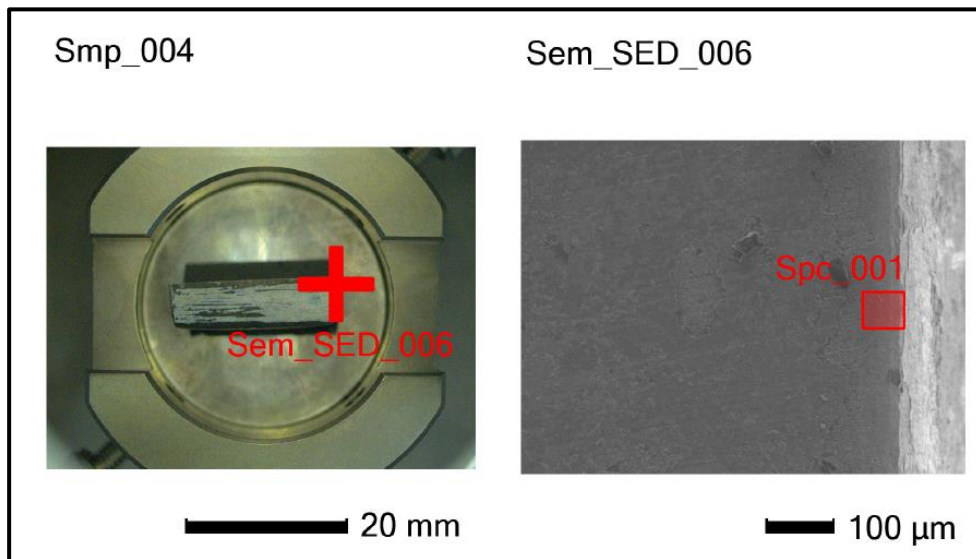
4.5 Hasil Pengamatan Struktur Mikro SEM

Pengamatan struktur mikro SEM ini menggunakan alat SEM-EDS merk *JOEL JSM-IT700HR* di *Laboratorium Design and Development*, Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada. Berdasarkan pengamatan tersebut diperoleh hasil ketebalan lapisan difusi spesimen dengan kekerasan tertinggi yang dapat dilihat pada gambar 4.5. Pada hasil SEM-EDS struktur mikro dengan perbesaran 10 µm didapatkan ketebalan lapisan difusi pada 3 titik yaitu sebesar 38,61 µm, 42,21 µm, dan 38,78 µm.



Gambar 4.5 Hasil Ketebalan Lapisan Difusi SEM Spesimen Kekerasan Tertinggi

Berdasarkan hasil pengukuran EDS yang dilakukan pada daerah lapisan yang ditunjukkan pada gambar 4.6 dapat diperoleh kandungan komposisi unsur yang terdapat pada tabel 4.3. Nilai persen massa karbon pada daerah lapisan sebesar 16,5 % dan Nilai persen massa nitrogen sebesar 0,39%.

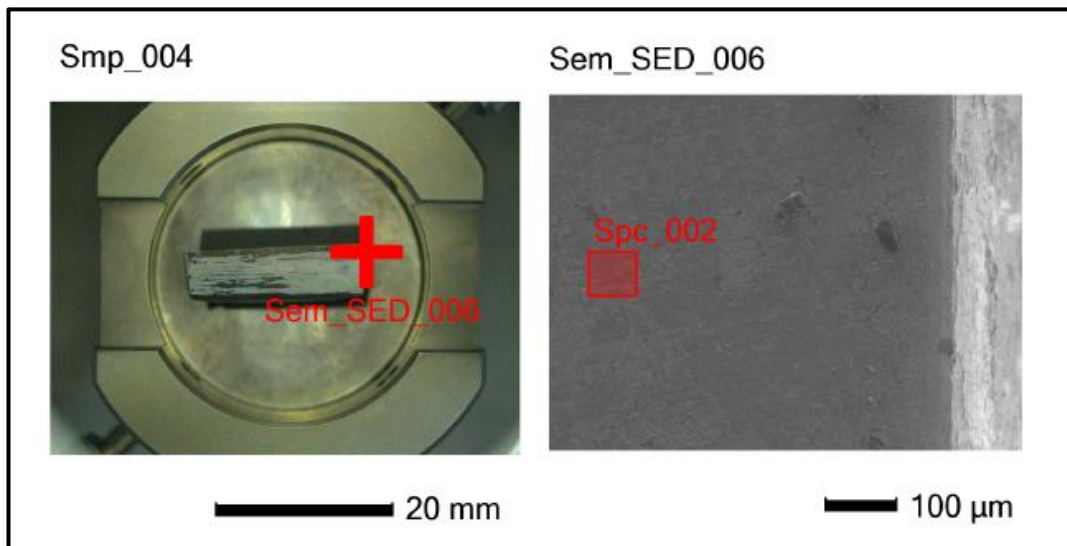


Gambar 4.6 Lokasi Pengukuran Komposisi Unsur Area pada Daerah Lapisan

Tabel 4.3 Kandungan Elemen Spesimen pada Daerah Lapisan

Elemen	Lapisan	Mass (%)	Atom (%)
C	K	16,15	40,50
N	K	0,39	0,83
O	K	9,93	18,70
Si	K	0,49	0,53
Cr	K	1,83	1,06
Mn	K	1,67	0,91
Fe	K	69,37	37,42
Total		100,00	100,00

Berdasarkan hasil pengukuran EDS yang dilakukan pada daerah tengah yang ditunjukkan pada gambar 4.7 dapat diperoleh kandungan komposisi unsur yang terdapat pada tabel 4.4. Nilai persen massa karbon pada daerah tengah sebesar 10,36 % dan Nilai persen massa nitrogen sebesar 0,20%.



Gambar 4.7 Lokasi Pengukuran Komposisi Unsur Area pada Daerah Tengah

Tabel 4.4 Kandungan Elemen Spesimen pada Daerah Tengah

Elemen	Lapisan	Mass (%)	Atom (%)
C	K	10,36	22,63
N	K	0,20	0,37
O	K	28,81	47,24
Si	K	0,20	0,19
Cr	K	0,20	0,10
Mn	K	0,32	0,1
Fe	K	59,86	29,31
Total		100,00	100,00

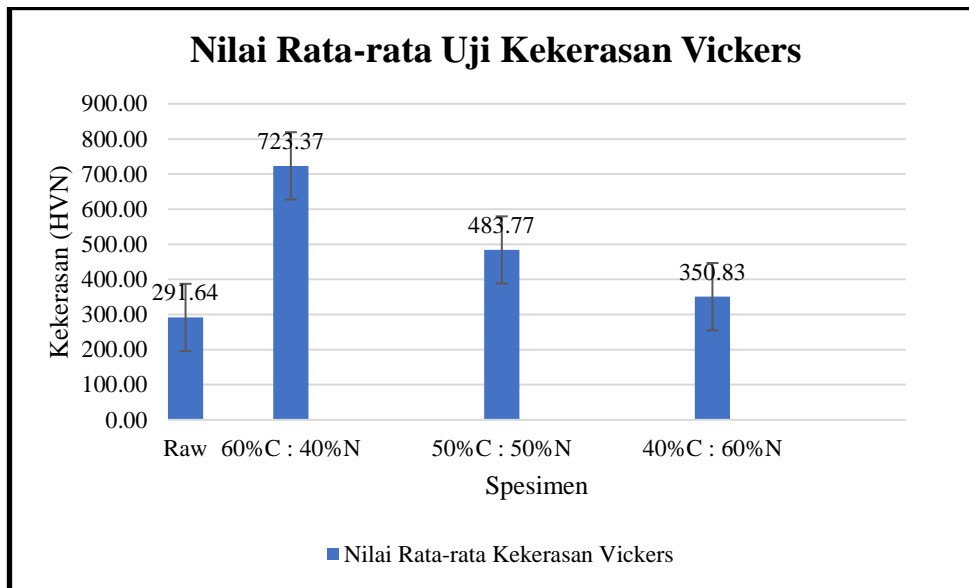
BAB V

PEMBAHASAN

Dalam bab ini membahas mengenai hasil pengaruh variasi komposisi media pada proses *pack carbonitriding* terhadap sifat mekanik dengan pengujian kekerasan mikro, pengujian keausan, dan pengamatan struktur mikro SEM. Hasil cetak dari penelitian berjumlah 17 spesimen yang terdiri dari 7 spesimen untuk pengujian kekerasan, 10 spesimen untuk pengujian keausan dan 1 spesimen untuk analisa struktur mikro SEM yang diambil dari 1 spesimen pengujian kekerasan yang memiliki nilai kekerasan tertinggi. Proses *pack carbonitriding* pada penelitian ini menggunakan variasi komposisi media pupuk urea dan arang karbon aktif dengan pengkodean spesimen dalam setiap variasi komposisi (*w/w%*) adalah A (60% C : 40% N), B (50% C : 50% N), dan C (40% C : 60% N). Setiap perlakuan komposisi terdiri dari 3 spesimen pengujian keausan dan 2 spesimen pengujian keausan, kemudian hasil dari masing-masing pengujian tersebut dirata-ratakan. Hal ini dilakukan agar kesalahan pada saat proses pengujian maupun pengukuran dapat lebih akurat.

5.1 Analisis Pengaruh Komposisi Media terhadap Nilai Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan yang dihasilkan setelah dilakukan proses *pack carbonitriding*. Pengukuran kekerasan dilakukan menggunakan metode *Microhardness Vickers* dengan beban 50 gf dan waktu indentasi selama 10 detik. Pada proses *pack carbonitriding* dilakukan dengan variasi komposisi (*w/w%*) dengan A (60% C : 40% N), B (50% C : 50% N), dan C (40% C : 60% N). Grafik rata-rata hasil pengaruh variasi komposisi media pupuk urea dan arang karbon aktif pada *pack carbonitriding* terhadap nilai kekerasan ditunjukkan pada gambar 5.1.



Gambar 5.1 Grafik Nilai Rata-rata Kekerasan *Vickers*

Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan didapatkan nilai rata-rata hasil kekerasan pada *raw material* sebesar 291,64 HVN; komposisi 60% C : 40% N sebesar 723,37 HVN; komposisi 50% C : 50% N sebesar 483,77 HVN; komposisi 40% C : 60% N sebesar 350,83 VHN. Penggunaan variasi komposisi media dalam proses *pack carbonitriding* dapat mempengaruhi nilai rata-rata kekerasan yang dihasilkan.

Dari grafik yang ditunjukkan, nilai kekerasan yang dihasilkan akan meningkat seiring dengan peningkatan komposisi media karbon tetapi akan menurun seiring dengan peningkatan komposisi media nitrogen. Nilai rata-rata kekerasan tertinggi yang diperoleh pada spesimen dengan komposisi 60% C : 40% N sebesar 723,37 HVN. Peningkatan nilai rata-rata kekerasan ini terjadi karena adanya penambahan unsur karbon akibat lebih tingginya variasi komposisi yang terdapat pada media, yang mana struktur *Ferrite* (besi α) dan *austenite* (besi γ) atom karbon akan menyisip untuk membentuk larutan padat. Atom karbon memiliki ukuran relatif kecil dibandingkan dengan atom besi, sehingga memungkinkan atom karbon masuk ke dalam kisi besi α dan besi γ sebagai atom yang larut secara interstisi. Selanjutnya dengan adanya pendinginan yang dilakukan menggunakan oli membuat atom karbon yang telah berikatan dengan besi akan membuat fasa martensit yang akan meningkatkan nilai kekerasan.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Poppy Puspitasari Dkk, 2016 dalam penelitiannya yang berjudul “*Hardness Improvement on Low Carbon Steel Using Pack Carbonitriding Method with Holding Time Variation*” yang hasilnya menyatakan bahwa semakin meningkatnya variasi waktu penahanan dan komposisi karbon dalam proses *pack carbonitriding* juga akan meningkatkan nilai rata-rata kekerasan pada spesimen. Hal ini disebabkan oleh banyaknya unsur karbon yang berdifusi kedalam spesimen ketimbang unsur nitrogen daripada komposisi tersebut.

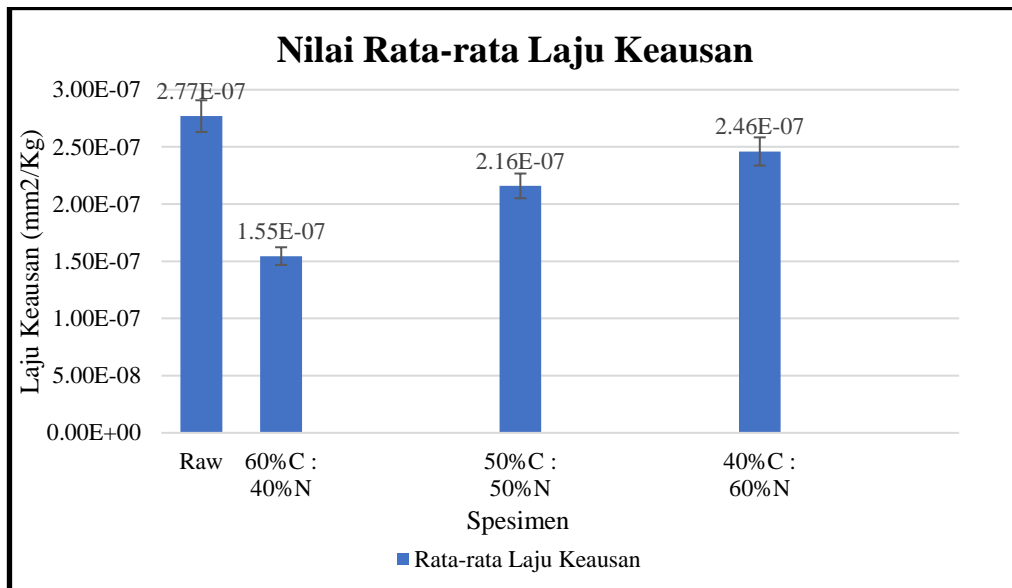
Berdasarkan grafik diatas, perubahan nilai kekerasan dari spesimen yang telah dilakukan perlakuan terhadap spesimen *raw material* dapat disajikan dalam bentuk persentase yang ditunjukkan pada tabel 5.1. Pada spesimen A dengan komposisi 60%C : 40%N diperoleh persentase kenaikan sebesar 147%, spesimen B dengan komposisi 50%C : 50%N diperoleh persentase kenaikan sebesar 65%, spesimen C dengan komposisi 40%C : 60%N diperoleh persentase kenaikan sebesar 20%

Tabel 5.1 Persentase Kenaikan Kekerasan dengan Variasi Komposisi Media

Kode Spesimen	Nilai Kekerasan (HVN)	Persentase
A (60%C:40%N)	723,37	147%
B(50%C:50%N)	483,77	65%
C(40%C:60%N)	350,83	20%

5.2 Analisis Pengaruh Komposisi Media terhadap Nilai Keausan

Pengujian keausan dilakukan untuk mengetahui nilai laju keausan atau nilai ketahanan aus yang dihasilkan setelah dilakukan proses *pack carbonitriding*. Pengukuran keausan dilakukan pada 1 titik dari masing-masing spesimen dengan menggunakan metode *Ogoshi* dengan berat beban pengaus sebesar 2,12 kg, ketebalan sebesar 3 mm, dan jari-jari sebesar 13,05 mm. Jarak abrasi yang diambil sebesar 66 m yang dilakukan selama 4 menit. Grafik rata-rata hasil pengaruh variasi komposisi media pupuk urea dan arang karbon aktif pada *pack carbonitriding* terhadap nilai keausan ditunjukkan pada gambar 5.2.



Gambar 5.2 Grafik Nilai Rata-rata Laju Keausan

Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan didapatkan nilai rata-rata laju keausan pada *raw material* sebesar $2,77 \times 10^{-7}$ mm²/kg; komposisi 60% C : 40% N sebesar $1,55 \times 10^{-7}$ mm²/kg; komposisi 50% C : 50% N sebesar $2,16 \times 10^{-7}$ mm²/kg; komposisi 40% C : 60% N sebesar $2,46 \times 10^{-7}$ mm²/kg. Penggunaan variasi komposisi media dalam proses *pack carbonitriding* dapat mempengaruhi nilai rata-rata laju keausan yang dihasilkan.

Berdasarkan gambar grafik 5.2, hasil pengukuran keausan didapatkan nilai laju keausan terendah pada spesimen dengan komposisi 60% C : 40% N yaitu sebesar $1,55 \times 10^{-7}$ mm²/kg. Hal ini didapatkan sebanding dengan peningkatan kekerasan maksimum pada komposisi tersebut. Hal tersebut terjadi karena kenaikan komposisi karbon pada media, yang mana struktur *Ferrite* (besi α) dan *austenite* (besi γ) akan berikatan dengan atom karbon dan menyisip untuk membentuk larutan padat. Atom karbon memiliki ukuran relatif kecil dibandingkan dengan atom besi, sehingga memungkinkan atom karbon masuk kedalam kisi besi α dan besi γ sebagai atom yang larut secara interstisi.

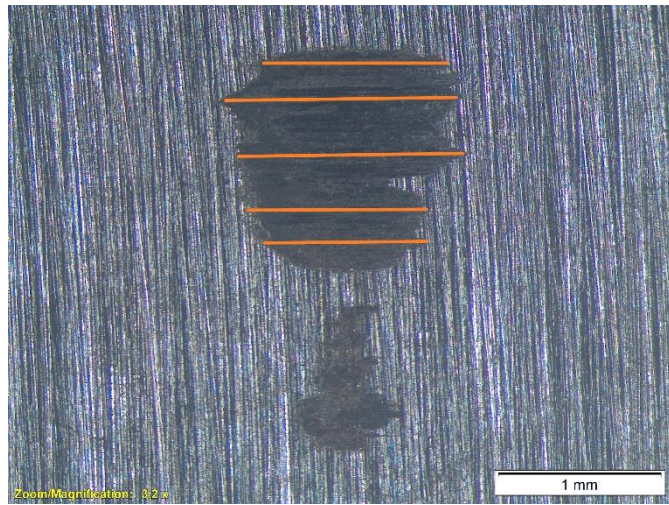
Hasil penelitian yang dilakukan oleh Silvia et al, 1998 dalam penelitiannya yang berjudul “*Influence of retained austenite on short fatigue crack growth and wear resistance of case carburized steel*” yang hasilnya menyatakan bahwa kekerasan yang relative tinggi mengakibatkan ketahanan aus yang lebih baik. Hal

tersebut terjadi karena pengaruh proses hardening yang menyebabkan austenite sisa bertransformasi menjadi martensit sehingga menyebabkan nilai kekerasan meningkat dan ketahanan aus juga meningkat.

Berdasarkan pengamatan dengan menggunakan struktur makro yang ditunjukkan pada gambar 5.3 sampai dengan gambar 5.6 dan hasil tabel 5.2 diketahui bahwa lebar goresan pada material yang terabrasi dari spesimen *raw material* sebesar 1,10 mm; komposisi 60%C : 40%N sebesar 0,91 mm; komposisi 50%C : 50%N sebesar 1,02 mm; komposisi 40%C : 60%N sebesar 1,06 mm. Nilai lebar tersebut berkorelasi dengan nilai keausan yang diperoleh dimana semakin kecil lebar goresan yang dihasilkan maka semakin kecil nilai keausan yang diperoleh oleh sebab itu dapat diindikasikan bahwa material yang memiliki ketahanan aus yang baik pada spesimen dengan komposisi 60%C : 40%N.

Tabel 5.2 Hasil Nilai Lebar Goresan

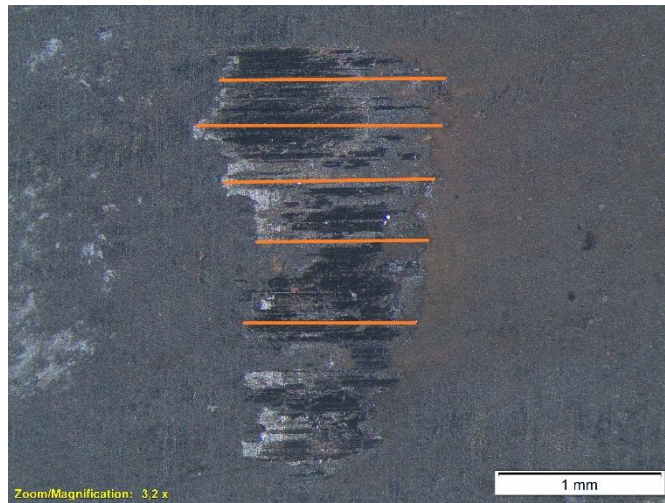
Variabel	Kode Spesimen	b1 (µm)	b2 (µm)	b3 (µm)	b4 (µm)	b5 (µm)	Rata-rata lebar celah material (mm)	Rerata lebar celah material (mm)
Raw	Z	1112	1250	1314	1044	804	1.10	1.10
C : N 60% : 40% w/w%	A3	1210	1250	882	642	688	0.93	0.91
	A4	784	954	928	878	802	0.87	
	A5	1084	1158	958	712	700	0.92	
C : N 50% : 50% w/w%	B3	1256	1234	878	986	712	1.01	1.02
	B4	1072	1268	1112	872	730	1.01	
	B5	1242	1320	1052	874	644	1.03	
C : N 40% : 60% w/w%	C3	1210	1268	1348	992	596	1.08	1.06
	C4	1026	1204	1088	1048	876	1.05	
	C5	1014	1104	928	1076	1150	1.05	



Gambar 5.3 Lebar Goresan pada *Raw Material*



Gambar 5.4 Lebar Goresan pada Spesimen 60%C : 40%N



Gambar 5.5 Lebar Goresan pada Spesimen 50% C : 50% N



Gambar 5.6 Lebar Goresan pada Spesimen 40% C : 60% N

5.3 Analisis Pengaruh Komposisi Media terhadap Struktur Mikro SEM

Pengujian struktur mikro SEM-EDS dilakukan untuk mengetahui ketebalan lapisan difusi dan komposisi unsur yang dihasilkan setelah dilakukan proses *pack carbonitriding*. Sebelum dilakukan pengujian material terlebih dahulu dilakukan pemotongan spesimen dengan ukuran P x L x T, 20 mm x 10 mm x 5 mm dimana ukuran ini sesuai dengan standar alat yang digunakan. Kemudian dilakukan pembungkaman agar spesimen tidak bergerak atau tetap pada posisinya dengan menggunakan *double tape* sesuai dengan standar alat tersebut. Pada

pengujian ini spesimen yang diuji yaitu spesimen yang memiliki nilai kekerasan terbaik yang dihasilkan oleh spesimen A2 pada komposisi media komposisi 60%C : 40%N.

Pada hasil SEM-EDS struktur mikro dengan perbesaran 10 μm (dapat dilihat pada gambar 4.5) didapatkan ketebalan lapisan difusi pada 3 titik yaitu sebesar 38,61 μm , 42,21 μm , dan 38,78 μm . Jika dirata-ratakan ketebalan difusi dari 3 titik tersebut yaitu sebesar 39,87 μm atau sebesar 0,03987 mm. Selanjutnya dari hasil pengukuran EDS yang dilakukan pada 2 area yaitu daerah lapisan dan daerah tengah (dapat dilihat pada gambar 4.6 dan gambar 4.7) didapatkan nilai persen massa karbon pada daerah lapisan sebesar 16,5 % dan pada daerah tengah sebesar 10,36%. Menurut hasil tersebut terjadi peningkatan persen massa karbon yang cukup signifikan yaitu sebesar 6,14%. Disamping itu juga didapatkan nilai persen massa nitrogen pada daerah lapisan sebesar 0,39 % dan pada daerah tengah sebesar 0,20%. Menurut hasil tersebut terjadi peningkatan persen massa nitrogen yang kurang signifikan yaitu sebesar 0,19%.

Berdasarkan perbandingan peningkatan persen massa karbon dan persen massa nitrogen pada daerah lapisan maka dapat diindikasikan bahwa pada proses *pack carbonitriding* dari penelitian ini dengan perbandingan komposisi media 60%C : 40%N telah terjadi difusi karbon pada material dimana dibuktikan dengan peningkatan persen massa karbon yang cukup signifikan. Oleh karena itu, seiring dengan meningkatnya persen massa karbon diikuti juga dengan meningkatnya nilai kekerasan yang dihasilkan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data pada penelitian ini, didapatkan kesimpulan antara lain:

1. Variasi komposisi media pupuk urea dan arang karbon aktif pada proses *pack carbonitriding* dapat memengaruhi nilai kekerasan yang dihasilkan. Semakin tinggi komposisi arang karbon aktif yang digunakan pada media *pack carbonitriding* maka akan semakin tinggi pula nilai kekerasan yang dihasilkan oleh material yang telah mengalami perlakuan. Nilai kekerasan rata-rata tertinggi didapatkan pada spesimen A yang memiliki variasi komposisi media (w/w%) 60%C : 40%N dengan nilai rata-rata sebesar 723,37 HVN, sedangkan nilai kekerasan rata-rata terendah didapatkan pada spesimen C yang memiliki variasi komposisi media (w/w%) 40%C : 60%N dengan nilai rata-rata sebesar 350,83 HVN.
2. Variasi komposisi media pupuk urea dan arang karbon aktif pada proses *pack carbonitriding* dapat memengaruhi nilai keausan yang dihasilkan. Semakin tinggi komposisi karbon yang digunakan pada media *pack carbonitriding* maka akan semakin tinggi pula nilai ketahanan aus yang dihasilkan oleh material yang telah mengalami perlakuan. Hal ini sebanding dengan nilai kekerasan maksimum yang diperoleh, dimana pada spesimen A yang memiliki variasi komposisi media (w/w%) 60%C : 40%N didapatkan nilai ketahanan aus terbaik yaitu sebesar $1.55 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{kg}$.
3. Melalui pengamatan struktur mikro SEM pada spesimen yang memiliki nilai kekerasan tertinggi dapat diperoleh rata-rata ketebalan lapisan difusi sebesar 39,87 μm . Hal tersebut diikuti dengan peningkatan komposisi

unsur karbon melalui uji komposisi dimana pada bagian lapisan dari spesimen memiliki komposisi persen massa sebesar 16,15% sedangkan pada bagian tengah lapisan memiliki komposisi persen massa sebesar 10,36%.

6.2 Saran

Berdasarkan dari hasil pengujian dan hasil analisis data pada penelitian ini terdapat beberapa saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut:

1. Berdasarkan penelitian ini dapat dilanjutkan dengan melakukan variasi *fine tune* komposisi yang lebih akurat sehingga diharapkan dapat diperoleh nilai kekerasan yang lebih maksimum dan nilai laju keausan yang lebih baik.
2. Berdasarkan penelitian ini dapat dilanjutkan dengan melakukan variasi media pendingin sebagai variabelnya sehingga diharapkan dapat diperoleh nilai kekerasan yang lebih maksimum dan nilai laju keausan yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Angely S. G., dkk. 2022. *Pengaruh Pemberian Pupuk Urea terhadap Pertumbuhan Tanaman Bayam (Amaranthus Tricolor L) pada Tanah Sawah di Desa Ranokerang Atas*. Manado: Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Unsrat.
- ASTM E3 – 95. *Standard Practice For Preparation of Metallographic Specimens*. ASTM International. Departement of Defense.
- ASTM E-384. *Standard Practice For Preparation of Metallographic Specimens*. ASTM International. Departement of Defense.
- ASTM G-99. *Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-On-Disk Apparatus*. ASTM International. Departement of Defense.
- ASM Handbook. 1990. *Heat Treating Materials Vol 9 Metallograpy*. ASM International Handbook Comitte.
- ASM Handbook. 2003. *Practical Nitriding .Vol 9 Metallograpy*. ASM International Handbook Comitte.
- ASM Handbook Vol.4. 1991. *Heat Treatment*. ASM Handbook Committee, United State.
- Avner. 1974. New York. *Introduction to Physical Metallurgy Second Edition*. McGraw Hill.
- Budinski, G. dan Budinski, K. (1999). *Engineering Materials – Properties And Selection. 6th edition, Prentice Hall International, Inc., New Jersey, USA*.
- Bryson, William E. (2015). *Heat treatment: Master control manual*. Carl Hanser GmbH Co KG.
- Callister Jr., W.D., 2007, *Materials science and engineering: an introduction, 8th Edition*. Interactive e Text, John Wiley & Sons.
- Callister Jr, W. D., & Rethwisch, D. G. (2014). *Fundamentals of Materials Science and Engineering*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Chen, X., Ma, M., Dong, H., & Zhang, L. (2018). *Effect of Carbonitriding on the Corrosion Behavior of AISI 316L Stainless Steel in Sulfuric Acid Solution*. Journal of Materials Engineering and Performance, 27(1), 163-169.

- Erwn S., Putu H., & Yoni S. 2010. *Proses Pack Nitriding Dengan Variasi Suhu dan Media Pupuk Nitrogen Terhadap Kekerasan AISI 420*. Jurnal Rekayasa Mesin Vol. 1, No. 1, hlm. 17-20.
- Fauzi Widyawati. 2019. *Analisis Sifat Mekanik pada Material AISI 4140 dan Creusabro 8000 untuk Aplikasi Gigi Bucket Produksi PT. POLMAN SWADAYA*. Bandung. Jurusan Teknik Pengecoran Logam, Polman Bandung.
- Hussein, A. K., L. K. Abbas, dan A. K. Hameed. 2018. *Multiple Performance Optimization of Carburized Steel Using Taguchi Based Moora Approach*. *Engineering and Technology Journal* 36(7): 770-776.
- Malau, V. & Khasani. 2008. *Karakterisasi Laju Keausan dan Kekerasan Dari Pack Carburizing Pada Baja AISI 1020*. Media Teknik Edisi Agustus. ISSN 0216-3012.
- Manurung, V. AT et al. 2020. *Panduan Metalografi*. LP2M POLITEKNIK MANUFAKTUR ASTRA. Jakarta.
- Mushlih N. & Rini H. H. 2020. *Analisis Kekerasan dan Struktur Mikro Baja AISI 1020 terhadap Perlakuan Carburizing dengan Arang Batok Kelapa*. Medan: Universitas Harapan Medan.
- Nasution, M., & Nasution, R. H. (2020). *Analisa Kekerasan Struktur Mikro Baja AISI 1020 Terhadap Perlakuan Carburizing Dengan Arang Batok Kelapa*. *Buletin Utama Teknik*, 15(2).
- Poppy Puspitasari, dkk. 2016. *Hardness Improvement on Low Carbon Steel Using Pack Carbonitriding Method with Holding Time Variation*. Malang: Fakultas Teknik Mesin, Universitas Negeri Malang.
- Prpto. 2018. *Peningkatan Kekerasan Sprocket Imitasi Melalui Proses Karburasi Cair dengan Suhu 850°C*. Yogyakarta. Universitas Sanata Dharma.
- Pye, David. 2003. *Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing*. United States of America. ASM International.
- Reza Abbaschian, L. A., & Reed-Hill, R. E. 2008. *Physical Metallurgy Principles*. Stamford: Cengage Learning.



- Rumendi U. & Hermawan H. 2014. *Analisis Pengerasan Permukaan Dan Struktur Mikro Baja Aisi 1045 Melalui Proses Nitridasi Menggunakan Media Urea*. Edisi terbit II – April 2014 terbit 46 halaman.
- Setyawan A. B. & Purwadi H. 2009. *Pengaruh Temperatur Dan Waktu Proses Nitridasi Terhadap Kekerasan Permukaan Fcd 700 Dengan Media Nitridasi Urea*. Seminar Nasional Kluster Riset Teknik Mesin 2009 hal 35-40.
- Silva, V.F., Canale, L.F., Spinel, D., Filho, W.W.B., Crnkovic, O.R., 1999, *Influence of retained austenite on short fatigue crack growth and wear resistance of case carburized steel*, Journal of materials engineering and performance 8:543-548.
- Sunarto. 2010. *Pengaruh Surface Treatment Metode Plasma Nitriding Terhadap Kekerasan dan Ketahanan Aus Pahat Bubut Bahan Baja Kecepatan Tinggi*. Semarang. Politeknik Negeri Semarang.
- Surdia M. S. & Shinroku S. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita
- Tribenheiser. 2020. *Pengaruh Proses Nitriding Terhadap Perubahan Kekerasan dan Keausan Permukaan Baja St 40 Dengan Variasi Waktu dan Suhu*. Makassar. Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Yang Mei. 2012. *Nitriding – Fundamentals, Modelling and Process Optimization*. United States of America. Material Science and Engineering.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A

DOKUMEN BAHAN PENELITIAN


1. Mill Certificate Baja AISI 4140

 <p>SeAH Besteel Corp. 1-6, SORYONG-DONG, KUNSAN, CHEONGJU, KOREA(573-711)</p>	<p>MILL CERTIFICATE</p>	<p>TEL : +82-(0)53-460-8572, 8318(QA) +82-(0)53-460-8114(Repres.) FAX : +82-(0)53-460-8423 Page(0/0)</p>																																																															
<p>Date : 2019-01-11 Cert. No. : 201901-039434 Customer : Heat No. : 286991</p>	<p>Steel Grade : AISI 4140/SCM 440 Shape of Product : PLATE SHEET Delivery Condition : Plate Bar</p>	<p>Size (mm) : 5 - 100 Length (mm) : 3,000 Weight (kg) : Quantity(pcs) : 1</p>																																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Inspection Items</th> <th colspan="9">Chemical Composition (wt. %)</th> </tr> <tr> <th>C</th> <th>SI</th> <th>MN</th> <th>P</th> <th>S</th> <th>CU</th> <th>NI</th> <th>CR</th> <th>MO</th> </tr> <tr> <td></td> <td>x 100</td> <td>x 100</td> <td>x 100</td> <td>x 100</td> <td>x 100</td> <td>x 100</td> <td>x 1000</td> <td>x 1000</td> <td>x 100</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Spec. Min.</td> <td>38</td> <td>15</td> <td>75</td> <td>35</td> <td>20</td> <td></td> <td></td> <td>80</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>Max.</td> <td>43</td> <td>35</td> <td>100</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>110</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Result</td> <td>41</td> <td>25</td> <td>67</td> <td>16</td> <td>20</td> <td>25</td> <td></td> <td>103</td> <td>15</td> </tr> </tbody> </table>	Inspection Items	Chemical Composition (wt. %)									C	SI	MN	P	S	CU	NI	CR	MO		x 100	x 100	x 100	x 100	x 100	x 100	x 1000	x 1000	x 100	Spec. Min.	38	15	75	35	20			80	15	Max.	43	35	100					110	25	Result	41	25	67	16	20	25		103	15	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Inspection Items</th> <th>Product Hardness (H-B)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SURFACE</td> <td>255-273 HB 50-52 HRC</td> </tr> </tbody> </table>		Inspection Items	Product Hardness (H-B)	SURFACE	255-273 HB 50-52 HRC
Inspection Items		Chemical Composition (wt. %)																																																															
	C	SI	MN	P	S	CU	NI	CR	MO																																																								
	x 100	x 100	x 100	x 100	x 100	x 100	x 1000	x 1000	x 100																																																								
Spec. Min.	38	15	75	35	20			80	15																																																								
Max.	43	35	100					110	25																																																								
Result	41	25	67	16	20	25		103	15																																																								
Inspection Items	Product Hardness (H-B)																																																																
SURFACE	255-273 HB 50-52 HRC																																																																
<p>Mechanical Properties AISI 4140/SCM 440</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Mechanical Properties</th> <th>Symbol</th> <th>Steel</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Yield strength (N/mm²)</td> <td></td> <td>≥739</td> </tr> <tr> <td>Tensile Strength (N/mm²)</td> <td></td> <td>≥892</td> </tr> <tr> <td>Extension ratio (%)</td> <td></td> <td>≥18.2</td> </tr> <tr> <td>Area reduction (%)</td> <td></td> <td>≥63</td> </tr> <tr> <td>Impact (V)</td> <td></td> <td>87 - 88</td> </tr> </tbody> </table>			Mechanical Properties	Symbol	Steel	Yield strength (N/mm ²)		≥739	Tensile Strength (N/mm ²)		≥892	Extension ratio (%)		≥18.2	Area reduction (%)		≥63	Impact (V)		87 - 88																																													
Mechanical Properties	Symbol	Steel																																																															
Yield strength (N/mm ²)		≥739																																																															
Tensile Strength (N/mm ²)		≥892																																																															
Extension ratio (%)		≥18.2																																																															
Area reduction (%)		≥63																																																															
Impact (V)		87 - 88																																																															
<p><<Remarks>></p> <p>B/D/S : 4</p> <p style="text-align: center;">----- End of report -----</p>																																																																	
<p style="font-size: small;">We hereby certify that the material described herein has been made in accordance with the rules of the contract.</p>		<p>Certified by  Manager of Quality Assurance Dept</p>																																																															

Gambar A.1

Mill Certificate Baja AISI 4140

2. Material Safety Data Sheet (MSDS) Arang Karbon Aktif



Jl. Raya [redacted] Kampung Kalijaya, Kel. Kampung Melayu Barat
Kec. Teluknaga Kab. Tangerang Provinsi Banten 15510

231861.0214MSDS

SECTION 3 – COMPOSITION / INFORMATION ON INGREDIENTS

3.1 Substances	Wet Basic	Dry Basic
Moisture in the Analysis Sample (weight %) :	5.80	-
Ash Content (weight %) :	2.04	2.17
Volatile Matter (weight %) :	3.97	4.21
Fixed Carbon (weight %) :	88.19	93.62

SECTION 4 – FIRST AID MEASURES

4.1 Description of first aid measures

General notes : Take off contaminated clothing

Following inhalation : Provide fresh air. In all cases of doubt, or when symptoms persist, seek medical advice.

Following skin contact : Rinse skin with water/shower. In all cases of doubt, or when symptoms persist, seek medical advice.

Following eye contact : Rinse cautiously with water for several minutes. In all cases of doubt, or when symptoms persist, seek medical advice.

Following ingestion : Rinse mouth. Call a doctor if you feel unwell. Symptoms and effects are not known to date.


4.2 Most Important Symptoms and Effects, both acute delayed : None

4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed : None

Gambar A.2

Material Safety Data Sheet (MSDS) Arang Karbon Aktif

3. Material Safety Data Sheet (MSDS) Pupuk Urea

PT PUPUK KUJANG		
	Kantor Pusat :	Kantor Jakarta :
	Jl. Jendral Achmad Yani No.39 Cikampek – 41373, Jawa Barat – Indonesia P.O. Box 4 Cikampek Telp. (0264) 316141-317007 (Hunting) Fax. (0264) 314235, 314335 Homepage: www.pupuk-kujang.co.id	Gd. Pusri Jakarta Lt. II & III Jl. Taman Anggrek kemanggisian Jaya Jakarta Barat-11480, Indonesia Telp. (021) 53662099 Fax. (021) 5322439,5322723 E-mail : info@pupuk-kujang.co.id
MSDS (Material Safety Data Sheet) U R E A		
1. Product Identification		
Synonyms :	Carbamide resin; Isourea; Carbonyl diamide; Carbonyldiamine	
Molecular Weight :	60.06	
Chemical Formula :	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	
2. Composition/Information on Ingredients		
Ingredient	Percent	Hazardous


Urea	99 - 100%	Yes

Gambar A.3

Material Safety Data Sheet (MSDS) Pupuk Urea

4. Product Data Sheet (PDS) Oli SAE 40

PASSENGER CAR MOTOR OILS



FASTRON TECHNO 10W-40

FASTRON TECHNO 10W-40 is synthetic high performance engine oil.

FASTRON TECHNO 10W-40 adalah pelumas sintetik berkinerja tinggi.

TYPICAL CHARACTERISTICS		
Characteristics	Test Method	FASTRON TECHNO
SAE Viscosity Grade	-	10W-40
Appearance	-	Clear
Density at 15 °C, Kg/L	ASTM D-4052	0.8577
Kinematic Viscosity at 40 °C, cSt	ASTM D-7279	100.7
at 100 °C, cSt	ASTM D-7279	14.85
Viscosity Index	ASTM D-2270	154
ASTM Colour	ASTM D-1500	L 3.0
Flash Point, °C	ASTM D-92	238
Pour Point, °C	ASTM D-97	-30
Total Base Number, mg KOH/g	ASTM D-2896	8

PERFORMANCE LEVEL
FASTRON TECHNO 10W-40 meets performance level of API SN.

SUPERIORITIES

- Offers excellent oxidation stability that gives durable performance in all driving condition; high speed, stop and go, or heavy traffic.
- Good shear stability and high performance additives provide engine cleanliness and maximum protection from excessive wear.
- Low evaporation level that gives low oil consumption and optimum lubrication.
- Compatible with modern exhaust emission system technology.
- Minimize engine noise and optimize engine performance.

APPLICATIONS
FASTRON TECHNO 10W-40 is highly recommended for latest car generation from the leading car manufacturers, that operate under extreme condition.

TINGKATAN MUTU
FASTRON TECHNO 10W-40 memenuhi tingkatan mutu API SN.

KEUNGGULAN

- Dengan kestabilan oksidasi yang baik, memberikan kinerja yang tahan lama dalam segala kondisi berkendara, baik kecepatan tinggi, *stop and go* maupun lalu lintas yang padat.
- Mempunyai kestabilan terhadap shear yang baik dan menggunakan aditif berkinerja tinggi untuk menjaga kebersihan mesin dan melindungi mesin dari keausan berlebih.
- Tingkat penguapan pelumas yang rendah sehingga pemakaian pelumas lebih irit dan pelumasan lebih optimal.
- Cocok dengan teknologi sistem emisi gas buang modern.
- Meminimalkan suara gesekan mesin dan mengoptimalkan kinerja mesin.

PENGGUNAAN
FASTRON TECHNO 10W-40 direkomendasikan untuk kendaraan generasi terbaru dari pabrikan kendaraan terkemuka, yang beroperasi pada kondisi ekstrem.

PERTAMINA LUBRICANTS GUIDE | 9

Gambar A.4


Product Data Sheet (PDS) Oli SAE 40

LAMPIRAN B

STANDAR PENGUJIAN

1. Standar Pengujian Kekerasan ASTM E 384

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.



Designation: E384 – 17

Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials¹

This standard is issued under the fixed designation E384; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.

1. Scope*

1.1 This test method covers determination of the microindentation hardness of materials.

1.2 This test method covers microindentation tests made with Knoop and Vickers indenters under test forces in the range from 9.8×10^{-3} to 9.8 N (1 to 1000 gf).

1.3 This test method includes an analysis of the possible sources of errors that can occur during microindentation testing and how these factors affect the precision, bias, repeatability, and reproducibility of test results.

1.4 Information pertaining to the requirements for direct verification and calibration of the testing machine and the requirements for the manufacture and calibration of Vickers and Knoop reference hardness test blocks are in Test Method E92.

Nom: 1—While Committee E04 is primarily concerned with metals, the test procedures described are applicable to other materials.

1.5 *Units*—The values stated in SI units are to be regarded as standard. No other units of measurement are included in this standard.

1.6 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

1.7 *This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

- C1326 Test Method for Knoop Indentation Hardness of Advanced Ceramics
- C1327 Test Method for Vickers Indentation Hardness of Advanced Ceramics
- E3 Guide for Preparation of Metallographic Specimens
- E7 Terminology Relating to Metallography
- E92 Test Method For Vickers Hardness of Metallic Materials
- E140 Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, Scleroscope Hardness, and Leeb Hardness
- E175 Terminology of Microscopy
- E177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods
- E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method
- E766 Practice for Calibrating the Magnification of a Scanning Electron Microscope
- E1268 Practice for Assessing the Degree of Banding or Orientation of Microstructures
- E2554 Practice for Estimating and Monitoring the Uncertainty of Test Results of a Test Method Using Control Chart Techniques
- E2587 Practice for Use of Control Charts in Statistical Process Control

2.2 *ISO Standard:*³

- ISO/IEC 17025 General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories

3. Terminology

3.1 *Definitions*—For definitions of terms used in this test method, see Terminology E7.

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E04 on Metallography and is the direct responsibility of Subcommittee E30.05 on Microindentation Hardness Testing. With this revision the test method was expanded to include the requirements previously defined in E28.92, Standard Test Method for Vickers Hardness Testing of Metallic Material that was under the jurisdiction of E28.06

Current edition approved June 1, 2017. Published August 2017. Originally approved in 1969. Last previous edition approved in 2016 as E384 – 16. DOI: 10.1520/E0384-17

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ Available from International Organization for Standardization (ISO), 1, ch. de la Voie-Creuse, Case postale 56, CH-1211, Geneva 20, Switzerland, <http://www.iso.org>.


*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States

1

Gambar B.1
Standar Pengujian Kekerasan ASTM E 384

2. Standar Pengujian Keausan ASTM G 99

 Designation: G 99 – 95a (Reapproved 2000)^{e1}

Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus¹

This standard is issued under the fixed designation G 99; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

^{e1} *Note*—Editorial corrections were made throughout in May 2000.

1. Scope

1.1 This test method describes a laboratory procedure for determining the wear of materials during sliding using a pin-on-disk apparatus. Materials are tested in pairs under nominally non-abrasive conditions. The principal areas of experimental attention in using this type of apparatus to measure wear are described. The coefficient of friction may also be determined.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*
E 122 Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process²
E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods²
E 178 Practice for Dealing with Outlying Observations²
G 40 Terminology Relating to Wear and Erosion³

2.2 *Other Standard:*⁴
DIN-50324 Testing of Friction and Wear

3. Summary of Test Method

3.1 For the pin-on-disk wear test, two specimens are required. One, a pin with a radiused tip, is positioned perpendicular to the other, usually a flat circular disk. A ball, rigidly held, is often used as the pin specimen. The test machine causes either the disk specimen or the pin specimen to revolve about the disk center. In either case, the sliding path is a circle on the disk surface. The plane of the disk may be oriented either horizontally or vertically.

Note 1—Wear results may differ for different orientations.

3.1.1 The pin specimen is pressed against the disk at a specified load usually by means of an arm or lever and attached weights. Other loading methods have been used, such as, hydraulic or pneumatic.

Note 2—Wear results may differ for different loading methods.

3.2 Wear results are reported as volume loss in cubic millimetres for the pin and the disk separately. When two different materials are tested, it is recommended that each material be tested in both the pin and disk positions.

3.3 The amount of wear is determined by measuring appropriate linear dimensions of both specimens before and after the test, or by weighing both specimens before and after the test. If linear measures of wear are used, the length change or shape change of the pin, and the depth or shape change of the disk wear track (in millimetres) are determined by any suitable metrological technique, such as electronic distance gaging or stylus profiling. Linear measures of wear are converted to wear volume (in cubic millimetres) by using appropriate geometric relations. Linear measures of wear are used frequently in practice since mass loss is often too small to measure precisely. If loss of mass is measured, the mass loss value is converted to volume loss (in cubic millimetres) using an appropriate value for the specimen density.

3.4 Wear results are usually obtained by conducting a test for a selected sliding distance and for selected values of load and speed. One set of test conditions that was used in an interlaboratory measurement series is given in Table 1 and Table 2 as a guide. Other test conditions may be selected depending on the purpose of the test.

3.5 Wear results may in some cases be reported as plots of wear volume versus sliding distance using different specimens for different distances. Such plots may display non-linear relationships between wear volume and distance over certain portions of the total sliding distance, and linear relationships over other portions. Causes for such differing relationships include initial “break-in” processes, transitions between regions of different dominant wear mechanisms, etc. The extent of such non-linear periods depends on the details of the test system, materials, and test conditions.

3.6 It is not recommended that continuous wear depth data

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee G02 on Wear and Erosion and is the direct responsibility of Subcommittee G02.40 on Non-Abrasive Wear.
Current edition approved Nov. 10, 1995. Published January 1996. Originally published as G 99-90. Last previous edition G 99-95.
² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.
³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.02.
⁴ Available from Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstrasse 6, 1000 Berlin 30, Germany.


Copyright © ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

1

Gambar B.2

Standar Pengujian Keausan ASTM G 99

3. Standar Pengujian Struktur Mikro SEM ASTM E 3



Designation: E 3 – 95

An American National Standard

Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens¹

This standard is issued under the fixed designation E 3; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 The primary objective of metallographic examinations is to reveal the constituents and structure of metals and their alloys by means of the light microscope. In special cases, the objective of the examination may require the development of less detail than in other cases but, under nearly all conditions, the proper selection and preparation of the specimen is of major importance. Because of the diversity in available equipment and the wide variety of problems encountered, the following text presents for the guidance of the metallographer only those practices which experience has shown are generally satisfactory; it cannot and does not describe the variations in technique required to solve individual problems.

NOTE 1—For a more extensive description of various metallographic techniques, refer to Samuels, L. E., *Metallographic Polishing by Mechanical Methods*, American Society for Metals (ASM) Metals Park, OH, 3rd Ed., 1982; Petzow, G., *Metallographic Etching, ASM, 1978*; and Hunderbort, G., *Metallography: Principles and Practice*, McGraw Hill, NY, 1984.

1.2 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards*:
E 7 Terminology Relating to Metallography²
E 45 Practice for Determining the Inclusion Content of Steel²
E 340 Test Method for Macroetching Metals and Alloys²
E 407 Test Methods for Microetching Metals and Alloys²
E 1077 Test Method for Estimating the Depth of Decarburization of Steel Specimens²
E 1268 Practice for Assessing the Degree of Banding or Orientation of Microstructures²
E 1558 Guide to Electrolytic Polishing of Metallographic Specimens²

3. Significance and Use

3.1 Microstructures have a strong influence on the properties and successful application of metals and alloys. Determination and control of microstructure requires the use of metallographic examination.

3.2 Many specifications contain a requirement regarding microstructure; hence, a major use for metallographic examination is inspection to ensure that the requirement is met. Other major uses for metallographic examination are in failure analysis, and in research and development.

3.3 Proper choice of specimen location and orientation will minimize the number of specimens required and simplify their interpretation. It is easy to take too few specimens for study, but it is seldom that too many are studied.

4. Selection of Metallographic Specimens

4.1 The selection of test specimens for metallographic examination is extremely important because, if their interpretation is to be of value, the specimens must be representative of the material that is being studied. The intent or purpose of the metallographic examination will usually dictate the location of the specimens to be studied. With respect to purpose of study, metallographic examination may be divided into three classifications:

4.1.1 *General Studies or Routine Work*—Specimens from locations that are most likely to reveal the maximum variations within the material under study should be chosen. For example, specimens should be taken from a casting in the zones wherein maximum segregation might be expected to occur as well as specimens from sections where segregation should be at a minimum. In the examination of strip or wire, test specimens should be taken from each end of the coils.

4.1.2 *Study of Failures*—Test specimens should be taken as closely as possible to the fracture or to the initiation of the failure. Before taking the metallographic specimens, study of the fracture surface should be complete, or, at the very least, the fracture surface should be documented. Specimens should be taken in many cases from a sound area for a comparison of structures and properties.

4.1.3 *Research Studies*—The nature of the study will dictate specimen location, orientation, etc. Sampling will usually be more extensive than in routine examinations.

4.2 Having established the location of the metallographic samples to be studied, the type of section to be examined must

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee E-4 on Metallography and is the direct responsibility of Subcommittee E04.01 on Sampling, Specimen Preparation, and Photography.
Current edition approved Jan. 15, 1995. Published March 1995. Originally published as E 3 – 21 T. Last previous edition E 3 – 80 (1986).
² Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

Copyright © ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

1

Gambar B.3

Standar Pengujian Struktur Mikro SEM ASTM E 3

LAMPIRAN C

HASIL PENGUJIAN

1. Hasil Pengujian Kekerasan

Berikut perhitungan yang digunakan untuk memperoleh nilai *hardness vickers* dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$HV = \frac{1.854 \times F}{D^2}$$

Keterangan:

- HV : *Hardness Vickers*
- F : Beban (gf) : 50 gf
- D : Diagonal (1/1000 μ m)

Sedangkan rumus untuk mencari nilai D yaitu sebagai berikut:

$$D = \frac{d1 + d2}{2}$$

Keterangan:

- d1 : Diagonal 1
- d2 : Diagonal 2

Tabel C.1
Hasil Pengujian Kekerasan

Variabel	Kode Spesimen	d1 (μ m)	d2 (μ m)	D (μ m)	P (Kg)	VHN	Rata-Rata HVN Partitik	Rerata HVN Spesimen	Standar Deviasi
Raw	Y	18	18	18	0.05	286.11	291.64	291.64	9.57
		18	18	18	0.05	286.11			
		17.5	17.5	17.5	0.05	302.69			
C : N 60% : 40% w/w%	A1	12.5	12	12.5	0.05	617.74	628.21	723.37	174.63
		10.5	10.5	10.5	0.05	840.82			
		15	14.5	15	0.05	426.08			
	A2	11.5	11	11.5	0.05	732.44	818.53		
		10.5	10	10.5	0.05	882.33			
		10.5	10.5	10.5	0.05	840.82			

C : N 50% : 50% w/w%	B1	14	13	14	0.05	508.64	486.06	483.77	40.99
		14.5	14.5	14.5	0.05	440.90			
		13.5	13.5	13.5	0.05	508.64			
	B2	15	14.5	15	0.05	426.08	481.47		
		13	13.5	13	0.05	528.02			
		13.5	14	13.5	0.05	490.31			
C : N 40% : 60% w/w%	C1	16	15.5	16	0.05	371.33	348.07	350.83	25.76
		17	16.5	17	0.05	332.39			
		17	16	17	0.05	340.50			
	C2	16	15.5	16	0.05	373.70	353.58		
		17.5	17	17.5	0.05	313.35			
		16	15.5	16	0.05	373.70			

2. Perhitungan Pengujian Keausan

Berikut perhitungan yang digunakan untuk memperoleh nilai laju keausan dengan rumus berikut:

$$W_s = \frac{B \times b^3}{8 \times r \times P_0 \times l_0}$$

Keterangan:

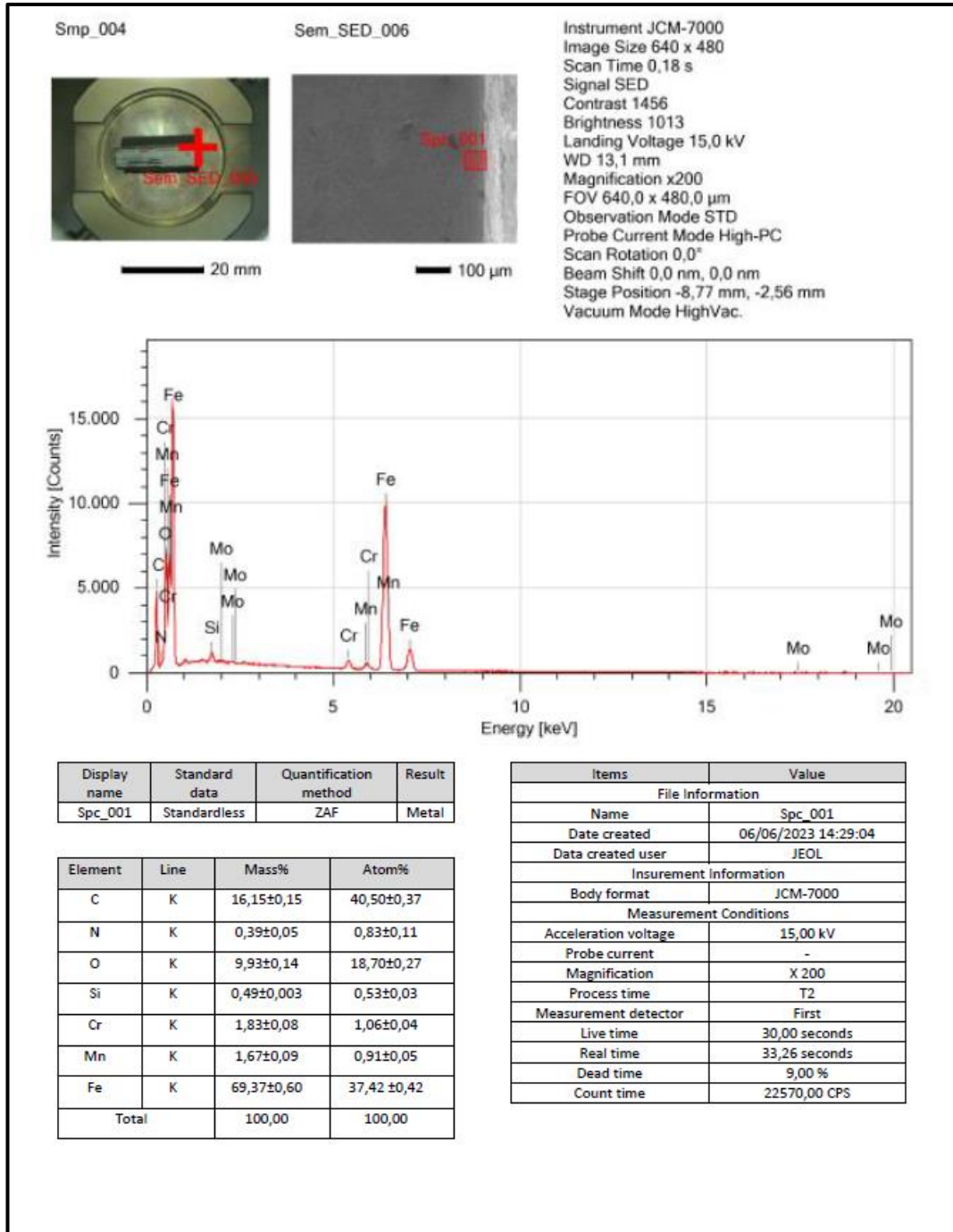
- W_s : Keausan spesifik
- B : Tebal *revolving disc* (mm)
- b : Lebar celah material yang terabrasi (mm)
- r : Jari-jari *disc* (mm)
- P_0 : Beban (kg)
- l_0 : Jarak abrasi (m)

Tabel C.2

Hasil Pengujian Keausan

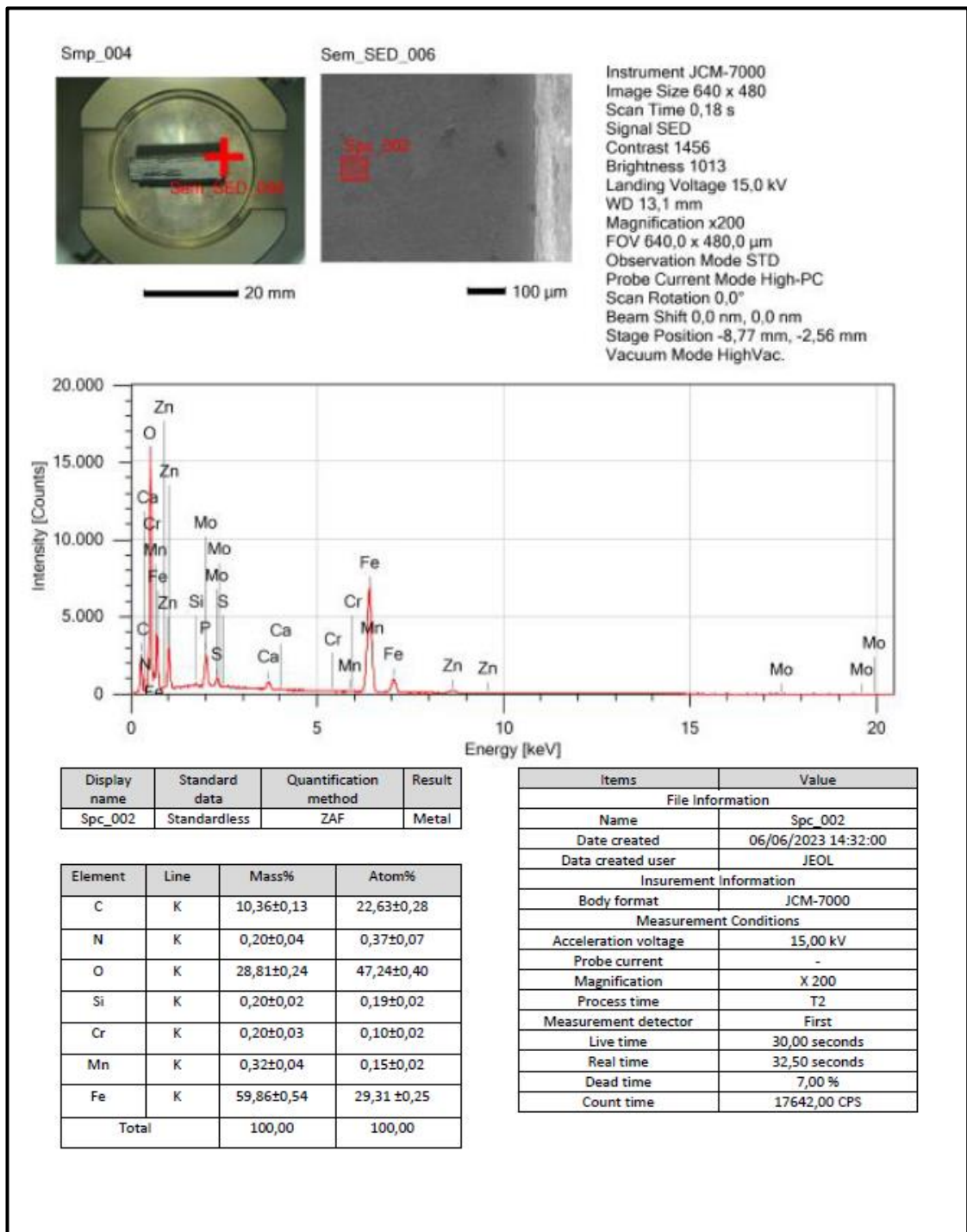
Variabel	Kode Spesimen	Nilai b (mm)	B (mm)	r (mm)	P0 (Kg)	l0 (m)	Keausan Spesifik (Ws) (mm ² /Kg)	Rerata Ws (mm ² /Kg)	Standar Deviasi
Raw	Z	1.1048	3	13.05	2.12	66	2.77 X 10 ⁻⁷	2.77 X 10 ⁻⁷	0
C : N 60% : 40% w/w%	A3	0.9344	3	13.05	2.12	66	1.68 X 10 ⁻⁷	1.55 X 10 ⁻⁷	1.73 X 10 ⁻⁸
	A4	0.8692	3	13.05	2.12	66	1.35 X 10 ⁻⁷		
	A5	0.9224	3	13.05	2.12	66	1.61 X 10 ⁻⁷		
C : N 50% : 50% w/w%	B3	1.0132	3	13.05	2.12	66	2.14 X 10 ⁻⁷	2.16 X 10 ⁻⁷	5.39 X 10 ⁻⁹
	B4	1.0108	3	13.05	2.12	66	2.12 X 10 ⁻⁷		
	B5	1.0264	3	13.05	2.12	66	2.22 X 10 ⁻⁷		
C : N 40% : 60% w/w%	C3	1.0828	3	13.05	2.12	66	2.61 X 10 ⁻⁷	2.46 X 10 ⁻⁷	1.29 X 10 ⁻⁸
	C4	1.0484	3	13.05	2.12	66	2.37 X 10 ⁻⁷		
	C5	1.0544	3	13.05	2.12	66	2.41 X 10 ⁻⁷		

3. Hasil Pengujian Struktur Mikro SEM



Gambar C.1

Hasil Pengujian SEM EDS Area Lapisan Spesimen Kekerasan Tertinggi



Gambar C.2

Hasil Pengujian SEM EDS Area Tengah Spesimen Kekerasan Tertinggi

LAMPIRAN D

HASIL PENGUKURAN

1. Pengukuran Dimensi Spesimen

Tabel D.1

Ukuran Spesimen Raw Material Uji Kekerasan

Ukuran Spesimen Raw Material Uji Kekerasan										
Variabel	Spesimen	Panjang	Lebar				Tebal			
			Atas	Tengah	Bawah	Rata-rata	Atas	Tengah	Bawah	Rata-rata
Raw	Y	40.2	19.8	19.9	20.1	19.93	10.1	10	10	10.03

Tabel D.2

Ukuran Spesimen Raw Material Uji Keausan

Ukuran Spesimen Raw Material Uji Keausan										
Variabel	Spesimen	Panjang	Lebar				Tebal			
			Atas	Tengah	Bawah	Rata-rata	Atas	Tengah	Bawah	Rata-rata
Raw	Z	39.5	20.3	20.1	20.1	20.17	10.1	10.2	10	10.10

Tabel D.3

Ukuran Spesimen Uji Kekerasan Sebelum *Heat Treatment*

Ukuran Spesimen Uji Kekerasan Sebelum Heat Treatment										
Variabel	Spesimen	Panjang	Lebar				Tebal			
			Atas	Tengah	Bawah	Rata-rata	Atas	Tengah	Bawah	Rata-rata
60%C : 40%N	A1	40.3	20	20.1	20.1	20.07	10	10	10	10.00
	A2	39.4	20.4	20.5	20.4	20.43	10.4	10.3	10.2	10.30
50%C : 50%N	B1	39.8	20.5	20.5	20.5	20.50	10.2	10.3	10.3	10.27
	B2	40.1	19.9	19.9	19.9	19.90	10	10	10.1	10.03
40%C : 60%N	C1	40.1	20.2	20	20.1	20.10	10	10	10	10.00
	C2	39.4	19.8	19.8	19.9	19.83	10	10	10.1	10.03

Tabel D.4

Ukuran Spesimen Uji Kekerasan Sesudah *Heat Treatment*

Ukuran Spesimen Uji Kekerasan Setelah Heat Treatment										
Variabel	Spesimen	Panjang	Lebar				Tebal			
			Atas	Tengah	Bawah	Rata-rata	Atas	Tengah	Bawah	Rata-rata
60%C : 40%N	A1	40.3	19.9	20.1	20.1	20.03	10	10	9.9	9.97
	A2	39.4	20.4	20.4	20.3	20.37	10.2	10.2	10.1	10.17
50%C : 50%N	B1	39.8	20.5	20.5	20.5	20.50	10.2	10.3	10.3	10.27
	B2	40	19.9	19.9	19.9	19.90	9.9	9.9	9.9	9.90
40%C : 60%N	C1	39.7	20.2	19.9	19.9	20.00	10	10	10	10.00
	C2	39.4	19.8	19.8	19.9	19.83	9.9	10	10	9.97

Tabel D.5

Ukuran Spesimen Uji Keausan Sebelum *Heat Treatment*

Ukuran Spesimen Uji Keausan Sebelum Heat Treatment										
Variabel	Spesimen	Panjang	Lebar				Tebal			
			Atas	Tengah	Bawah	Rata-rata	Atas	Tengah	Bawah	Rata-rata
60%C : 40%N	A3	39.7	20.3	20.2	20.1	20.20	10.2	10.4	10.3	10.30
	A4	39.9	20.7	20.7	20.7	20.70	10.3	10.3	10.2	10.27
	A5	40.3	20.7	20.7	20.7	20.70	10.3	10.2	10.2	10.23
50%C : 50%N	B3	39.5	20.8	20.7	20.5	20.67	10.3	10.2	10.3	10.27
	B4	39.4	20.3	20.3	20.3	20.30	10.2	10.3	10.3	10.27
	B5	39.9	20.2	20	20.2	20.13	10.2	10.2	10.3	10.23
40%C : 60%N	C3	39.9	20.1	20.1	20.2	20.13	10	10	10.1	10.03
	C4	40.4	20.6	20.7	20.4	20.57	10.2	10.3	10.2	10.23
	C5	39.9	20.6	20.5	20.3	20.47	10.3	10.3	10.3	10.30

Tabel D.6

Ukuran Spesimen Uji Keausan Setelah *Heat Treatment*

Ukuran Spesimen Uji Keausan Setelah Heat Treatment										
Variabel	Spesimen	Panjang	Lebar				Tebal			
			Atas	Tengah	Bawah	Rata-rata	Atas	Tengah	Bawah	Rata-rata
60%C : 40%N	A3	39.7	20.2	20.2	20.1	20.17	10.2	10.3	10.2	10.23
	A4	39.9	20.7	20.7	20.7	20.70	10.3	10.3	10.2	10.27
	A5	40	20.7	20.7	20.7	20.70	10.3	10.2	10.2	10.23
50%C : 50%N	B3	39.3	20.8	20.7	20.4	20.63	10	10	10.1	10.03
	B4	39.2	20.2	20.3	20.3	20.27	10.2	10.2	10.2	10.20
	B5	39.9	20.2	20	20.1	20.10	10.2	10	10	10.07
40%C : 60%N	C3	39.9	20.1	20.1	20.1	20.10	10	10	10.1	10.03
	C4	40.4	20.5	20.7	20.5	20.57	10.2	10.2	10.2	10.20
	C5	39.8	20.5	20.1	20.3	20.30	10.2	10	10	10.07

2. Pengukuran Temperatur Pendinginan

Tabel D.7

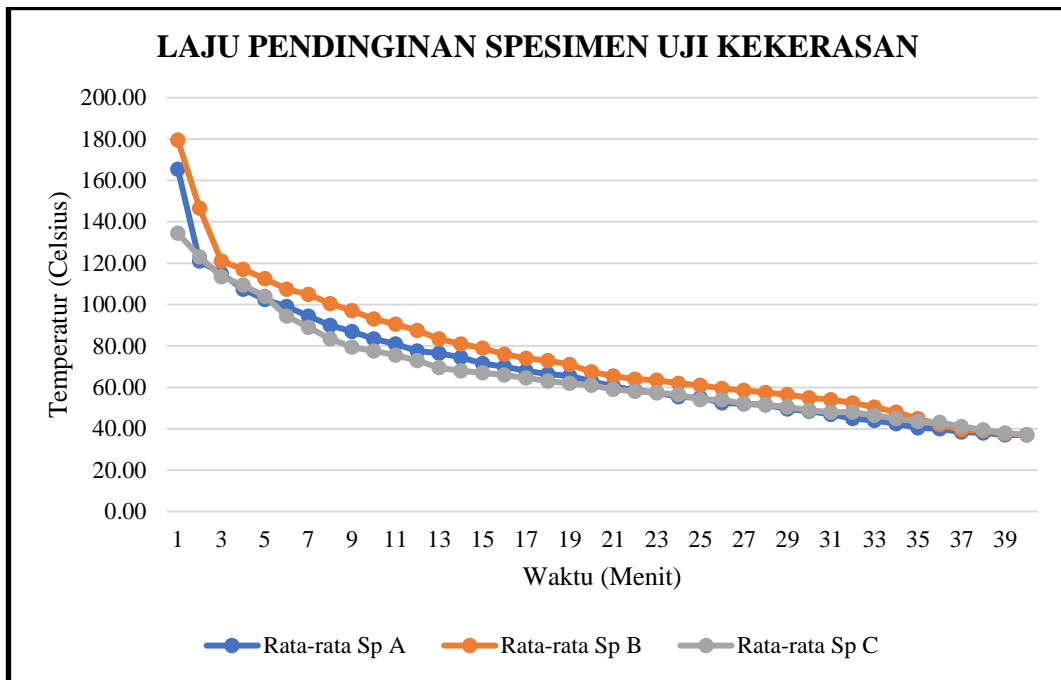
Hasil Pengukuran Laju Pendinginan Spesimen Uji Kekerasan

Waktu (Menit)	Waktu Pendinginan Spesimen Uji Kekerasan								
	Spesimen			Spesimen			Spesimen		
	A1	A2	Rata-rata Sp A	B1	B2	Rata-rata Sp B	C1	C2	Rata-rata Sp C
1	164	167	165.50	184	175	179.50	131	136	134.50
2	122	120	121.00	150	143	146.50	122	124	123.00
3	118	112	115.00	123	119	121.00	113	114	113.50
4	108	107	107.50	118	116	117.00	109	110	109.50
5	102	103	102.50	113	112	112.50	104	104	104.00
6	99	99	99.00	108	107	107.50	94	95	94.50
7	95	94	94.50	106	104	105.00	89	89	89.00
8	90	90	90.00	102	99	100.50	84	83	83.50
9	87	87	87.00	98	96	97.00	79	80	79.50
10	84	83	83.50	94	92	93.00	77	78	77.50
11	81	81	81.00	92	89	90.50	75	76	75.50
12	78	77	77.50	89	86	87.50	73	73	73.00
13	77	76	76.50	85	82	83.50	70	69	69.50
14	74	75	74.50	82	80	81.00	68	68	68.00
15	71	72	71.50	80	78	79.00	67	67	67.00
16	70	70	70.00	77	75	76.00	66	66	66.00
17	68	68	68.00	75	73	74.00	65	64	64.50
18	67	66	66.50	74	72	73.00	63	63	63.00
19	66	65	65.50	72	70	71.00	62	62	62.00
20	63	63	63.00	67	68	67.50	61	61	61.00
21	60	61	60.50	66	65	65.50	59	59	59.00
22	58	59	58.50	64	64	64.00	58	58	58.00
23	57	58	57.50	63	64	63.50	58	57	57.50
24	55	56	55.50	62	62	62.00	57	56	56.50
25	55	55	55.00	61	61	61.00	54	54	54.00
26	52	53	52.50	59	60	59.50	54	54	54.00
27	51	53	52.00	58	59	58.50	52	52	52.00
28	51	52	51.50	58	57	57.50	52	51	51.50
29	49	50	49.50	57	56	56.50	51	50	50.50
30	48	49	48.50	55	55	55.00	49	49	49.00
31	46	48	47.00	54	54	54.00	48	48	48.00
32	45	45	45.00	53	52	52.50	48	48	48.00
33	44	44	44.00	51	50	50.50	47	46	46.50
34	42	43	42.50	49	47	48.00	45	45	45.00
35	40	41	40.50	46	44	45.00	44	43	43.50
36	40	40	40.00	43	41	42.00	43	43	43.00
37	39	38	38.50	40	39	39.50	41	41	41.00
38	38	38	38.00	39	39	39.00	39	40	39.50
39	37	37	37.00	38	37	37.50	38	38	38.00
40	37	37	37.00	37	37	37.00	37	37	37.00

Tabel D.8

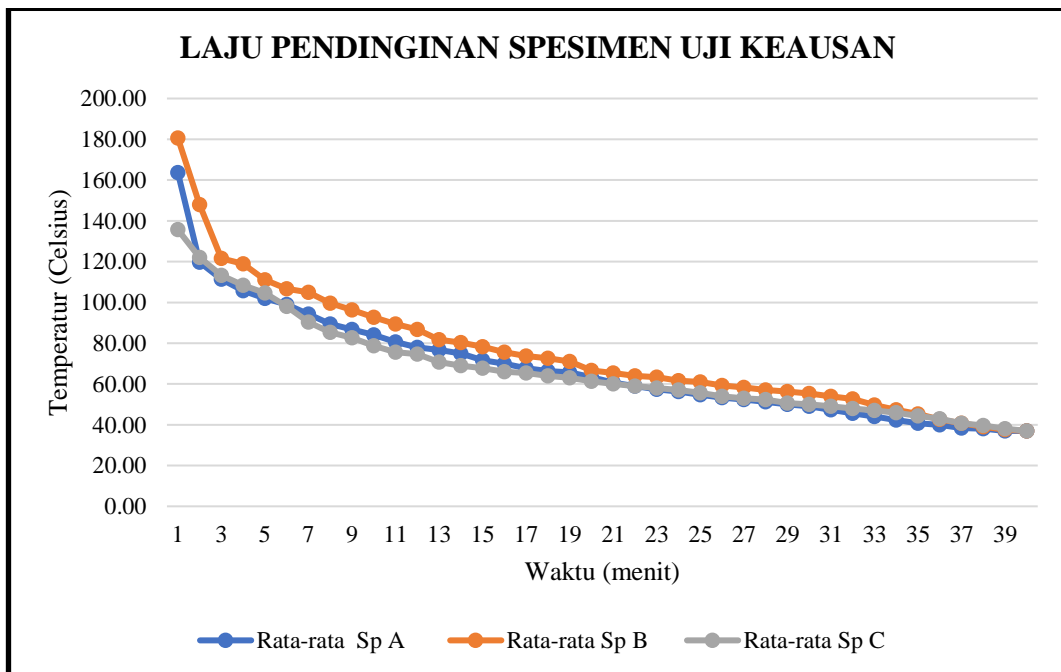
Hasil Pengukuran Laju Pendinginan Spesimen Uji Keausan

Waktu (Menit)	Waktu Pendinginan Spesimen Uji Keausan											
	Spesimen			Spesimen			Spesimen			Spesimen		
	A3	A4	A5	Rata-rata Sp A	B3	B4	B5	Rata-rata Sp B	C3	C4	C5	Rata-rata Sp C
1	163	165	163	163.67	174	174	194	180.67	132	133	142	135.67
2	118	118	123	119.67	144	144	156	148.00	123	121	122	122.00
3	113	110	111	111.33	123	121	121	121.67	114	113	113	113.33
4	108	104	105	105.67	121	118	118	119.00	109	108	108	108.33
5	103	101	102	102.00	110	112	111	111.00	105	104	105	104.67
6	100	97	100	99.00	106	108	106	106.67	98	98	98	98.00
7	94	94	95	94.33	106	104	105	105.00	90	91	90	90.33
8	89	90	89	89.33	100	99	100	99.67	85	86	85	85.33
9	87	87	86	86.67	97	95	97	96.33	82	83	83	82.67
10	84	84	84	84.00	93	91	94	92.67	78	79	79	78.67
11	80	82	80	80.67	90	88	90	89.33	75	76	76	75.67
12	78	78	78	78.00	87	86	87	86.67	75	74	75	74.67
13	76	77	77	76.67	83	80	82	81.67	70	71	71	70.67
14	75	76	74	75.00	81	79	81	80.33	69	69	69	69.00
15	72	72	71	71.67	79	77	79	78.33	67	68	68	67.67
16	71	69	70	70.00	76	74	77	75.67	66	66	66	66.00
17	68	67	68	67.67	74	73	74	73.67	66	65	65	65.33
18	66	66	67	66.33	73	72	73	72.67	64	64	64	64.00
19	66	65	66	65.67	71	70	72	71.00	63	63	63	63.00
20	64	63	63	63.33	67	67	66	66.67	62	61	61	61.33
21	61	61	60	60.67	65	65	66	65.33	60	60	60	60.00
22	59	59	59	59.00	63	64	65	64.00	59	59	59	59.00
23	57	58	57	57.33	63	64	63	63.33	58	58	58	58.00
24	56	57	56	56.33	61	61	63	61.67	57	57	57	57.00
25	54	55	55	54.67	61	60	62	61.00	55	56	56	55.67
26	54	53	53	53.33	59	59	60	59.33	53	55	54	54.00
27	53	52	52	52.33	58	58	59	58.33	52	53	54	53.00
28	52	51	51	51.33	57	57	57	57.00	52	53	52	52.33
29	50	50	50	50.00	56	56	57	56.33	50	51	51	50.67
30	49	49	49	49.00	55	55	56	55.33	50	50	50	50.00
31	47	48	47	47.33	53	54	55	54.00	49	49	49	49.00
32	45	46	46	45.67	52	52	54	52.67	48	48	48	48.00
33	44	44	44	44.00	49	49	51	49.67	47	47	47	47.00
34	42	42	43	42.33	47	47	48	47.33	46	46	46	46.00
35	40	41	41	40.67	45	45	46	45.33	44	45	44	44.33
36	40	40	40	40.00	42	42	44	42.67	43	43	43	43.00
37	38	38	38	38.33	40	40	42	40.67	41	40	41	40.67
38	38	38	38	38.00	39	39	39	39.00	40	39	40	39.67
39	37	37	37	37.00	38	37	38	37.67	38	38	38	38.00
40	37	37	37	37.00	37	37	37	37.00	37	37	37	37.00



Gambar D.1

Grafik Rata- rata Laju Pendinginan Spesimen Uji Kekerasan



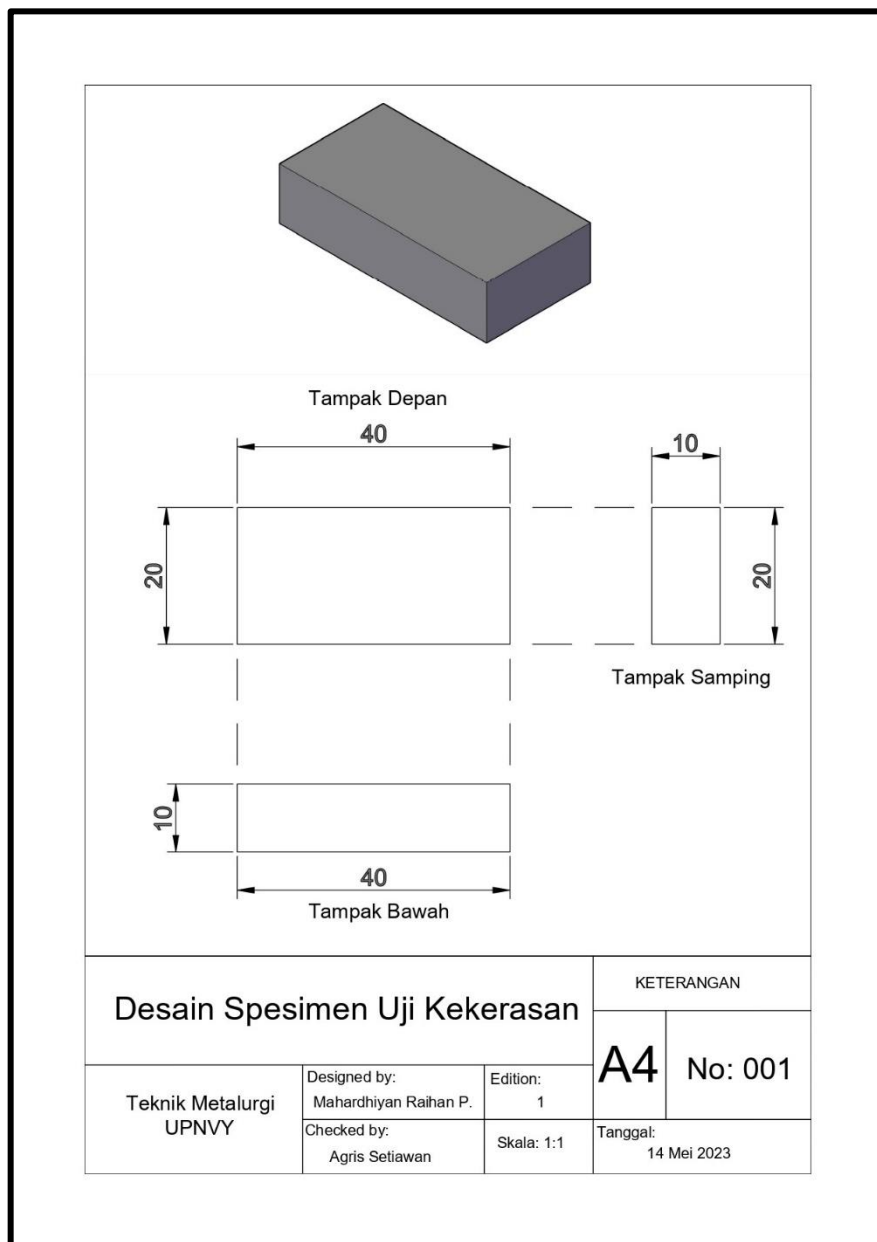
Gambar D.2

Grafik Rata- rata Laju Pendinginan Spesimen Uji Keausan

LAMPIRAN E

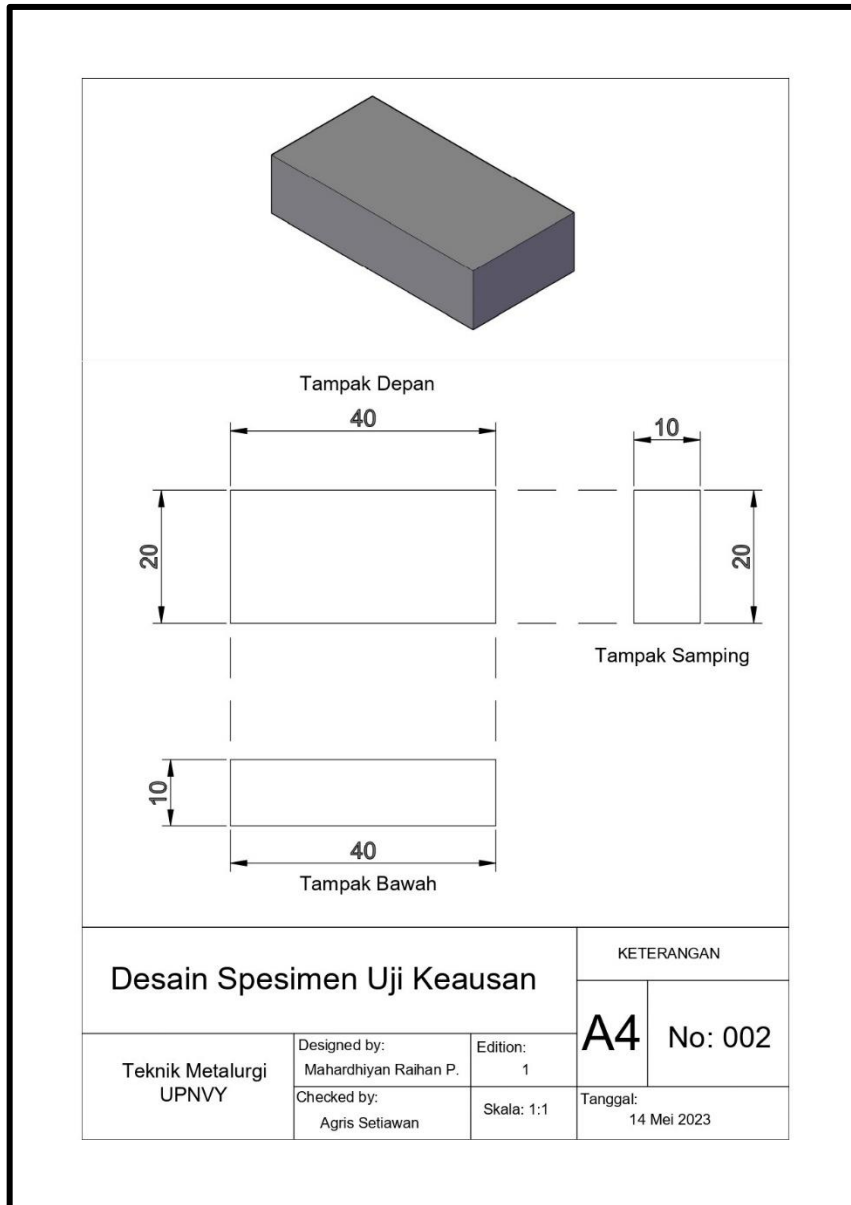
GAMBAR KERJA

1. Gambar Kerja Spesimen Uji Kekerasan






Gambar E.1
Desain Spesimen Uji Kekerasan





2. Gambar Kerja Spesimen Uji Keausan

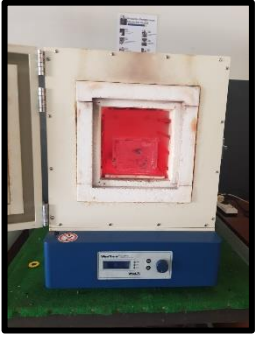





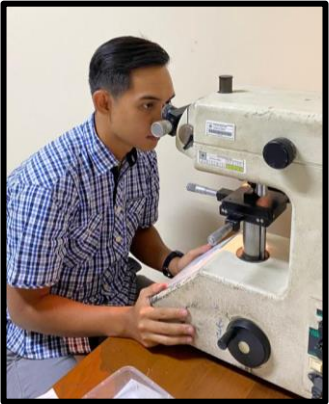


Gambar E.2
Desain Spesimen Uji Keausan

LAMPIRAN F
PROSES PENELITIAN

No	Foto Dokumentasi	Keterangan
1.		<p style="text-align: center;">Penggerusan media karbonitridasi</p>
2.		<p style="text-align: center;">Pengayakan media karbonitridasi</p>
3.		<p style="text-align: center;">Pengamplasan spesimen uji kekerasan dan uji keausan</p>

4.		<p>Pengamplasan spesimen uji kekerasan dan uji keausan</p>
5.		<p>Pengukuran awal spesimen uji kekerasan dan uji keausan</p>
6.		<p>Pencampuran media urea dan arang karbon aktif serta peletakan spesimen kedalam kotak karbonitridasi</p>
7.		<p>Pemasukan kotak karbonitridasi kedalam furnace untuk dilakukan <i>heat treatment</i></p>

8.		<p>Pengeluaran kotak karbonitridasi dari dalam furnace</p>
9.		<p>Pengeluaran spesimen dari kotak karbonitridasi untuk dilakukan proses pendinginan</p>
10.		<p>Pendinginan spesimen dalam media oli SAE 40</p>
11.		<p>Pembersihan spesimen dari media oli sebelum dilakukannya proses pengujian</p>

<p>12.</p>		<p>Proses pengujian kekerasan mikro vickers</p>
<p>13.</p>		<p>Proses pengujian keausan</p>
<p>14.</p>		<p>Proses pengujian struktur mikro SEM dan EDS</p>