

**ANALISIS SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO  
BAJA AISI 4140 HASIL KARBURASI PLASMA  
DENGAN VARIASI TEMPERATUR**



**TESIS**

**Disusun sebagai satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata II  
pada Program Studi Magister Teknik Mesin Sekolah Pascasarjana  
Universitas Muhammadiyah Surakarta**

**Oleh :**

**Muhammad Fauzan  
NIM : U.100.160.021**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN  
SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

**2018**

## **NOTA PEMBIMBING I**

**Tri Widodo Besar Riyadi, ST, M.Sc, Ph.D**

Dosen Magister Teknik Mesin

Sekolah Pascasarjana

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Nota Dinas

Subjek: Tesis Saudara Muhammad Fauzan

Kepada Yth.

**Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin**

**Sekolah Pascasarjana**

**Universitas Muhammadiyah Surakarta**

*Assalamu'alaikum wr. wb.*

Setelah membaca, meneliti, mengoreksi dan membuat koreksi yang diperlukan untuk tesis saudara:

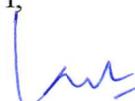
Nama	:	Muhammad Fauzan
NIM	:	U 100 160 021
Program Studi	:	Magister Teknik Mesin
Judul	:	<b>ANALISIS SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 4140 HASIL KARBURASI PLASMA DENGAN VARIASI TEMPERATUR</b>

Dengan ini kami menilai tesis tersebut dapat disetujui untuk diajukan dalam sidang ujian tesis pada Program Studi Magister Teknik Mesin, Sekolah Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Surakarta.

*Wassalamu 'alaikum wr. wb.*

Surakarta, 17 Oktober 2018

Pembimbing I,



**Tri Widodo Besar Riyadi, ST, M.Sc, Ph.D**

## **NOTA PEMBIMBING II**

**Dr. Supriyono**

Dosen Magister Teknik Mesin

Sekolah Pascasarjana

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Nota Dinas

Subjek: Tesis Saudara Muhammad Fauzan

Kepada Yth.

**Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin**

**Sekolah Pascasarjana**

**Universitas Muhammadiyah Surakarta**

*Assalamu `alaikum wr. wb.*

Setelah membaca, meneliti, mengoreksi dan membuat koreksi yang diperlukan untuk tesis saudara:

Nama	:	Muhammad Fauzan
NIM	:	U 100 160 021
Program Studi	:	Magister Teknik Mesin
Judul	:	<b>ANALISIS SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 4140 HASIL KARBURASI PLASMA DENGAN VARIASI TEMPERATUR</b>

Dengan ini kami menilai tesis tersebut dapat disetujui untuk diajukan dalam sidang ujian tesis pada Program Studi Magister Teknik Mesin, Sekolah Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Surakarta.

*Wassalamu `alaikum wr. wb.*

Surakarta, 17 Oktober 2018

Pembimbing II,



**Dr. Supriyono**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**ANALISIS SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO  
BAJA AISI 4140 HASIL KARBURASI PLASMA  
DENGAN VARIASI TEMPERATUR**

**TESIS**

Oleh :

**Muhammad Fauzan**

**NIM : U.100.160.021**

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh :

Pembimbing I

Pembimbing II



**Tri Widodo Besar R., M.Sc., Ph.D**

**Dr. Supriyono**

**TESIS BERJUDUL**

**ANALISIS SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR  
MIKRO BAJA AISI 4140 HASIL KARBURASI PLASMA  
DENGAN VARIASI TEMPERATUR**

Yang dipersiapkan dan disusun oleh  
**MUHAMMAD FAUZAN**  
telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
pada tanggal 22 Oktober 2018  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

**SUSUNAN DEWAN PENGUJI**

Pembimbing I

Tri Widodo Besar Riyadi, M.Sc., Ph.D

Pembimbing II

Dr. Supriyono

Penguji

Agus Dwi Anggono, M.Eng., Ph.D.

Surakarta, 8 Nopember 2018

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Sekolah Pascasarjana

Direktur,



Prof. Dr. Bambang Sumardjoko, M.Pd.

## **SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Muhammad Fauzan  
NIM : U 100 160 021  
Program Studi : Magister Teknik Mesin  
Judul : Analisis Sifat Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Aisi 4140  
Hasil Karburasi Plasma Dengan Variasi Temperatur

Dengan ini menyatakan bahwa dalam naskah tesis ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar Magister di Perguruan Tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila di kemudian hari terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 25 Oktober 2018

METERAI TEMPEL  
TGL 20  
5642FAFF294668507  
6000  
ENAM RIBU RUPIAH  
  
**Muhammad Fauzan**  
NIM : U 100 160 021

# **ANALISIS SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 4140 HASIL KARBURASI PLASMA DENGAN VARIASI TEMPERATUR**

## **Abstrak**

Proses karburasi plasma baja AISI 4140 yang selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan dengan metode pengujian Vickers dan diamati struktur mikronya. Tahap pertama material baja AISI 4140 dipotong menjadi 30 sampel uji, kemudian dilakukan pemolesan dengan Autosol menggunakan amplas dengan ukuran 120, 600, 1000, 2000 dan 5000 mesh. Sampel yang sudah dipoles dikarburasi dengan variasi temperatur 300°C, 350°C, 400°C, 450°C dan 500°C dimana tekanan yang diberikan sebesar 1,6 mbar dengan waktu selama 3 jam. Dari pengujian setelah mengalami pemanasan, besarnya nilai kekerasan yang optimum diperoleh pada temperatur 350 °C adalah 312.62 (HVN) lebih besar dari kekerasan raw material 135.36 (HVN). Hal ini disebabkan laju deposisi terlalu besar tetapi laju difusi dan kelarutan secara interstisi atom karbon pada baja AISI 4140 tidak dapat mengikuti laju deposisi sehingga akan terjadi penumpukan atom karbon pada permukaan spesimen. Hasil uji SEM menunjukkan adanya lapisan sangat tipis yang tidak dapat diidentifikasi yang dapat terdepositasikan pada permukaan baja AISI 4140, sedangkan dari hasil uji EDS terlihat kandungan unsur kimia yang didominasi oleh unsur besi (Fe) dan unsur Karbon (C) dengan campuran unsur lainnya seperti Oksigen (O) dan Kalsium (Ca)

**Kata Kunci :** AISI 4140, Karburasi plasma, Vikers, Struktur Mikro, Kekerasan

## **Abstract**

*The plasma carburizing process of AISI 4140 steel is then tested for hardness with the Vickers test method and the microstructure is observed. The first stage of AISI 4140 steel material was cut into 30 test samples, then polishing with Autosol using sandpaper with sizes 120, 600, 1000, 2000 and 5000 mesh. Polished samples are carburized with temperature variations from temperatures of 300°C, 350°C, 400°C, 450°C and 500°C where the pressure is given at 1.6 mbar with a time of 3 hours. From the test after experiencing heating, the optimum hardness value obtained at a temperature of 350°C is 312.62 (HVN) greater than the hardness of raw material 135.36 (HVN). This is because the deposition rate is too large but the rate of diffusion and solubility of interstitial carbon atoms on AISI 4140 steel cannot follow the deposition rate so there will be a buildup of carbon at the surface of the specimen. The SEM test results show that there is a very thin layer that cannot be identified which can be deposited on the surface of AISI 4140 steel, whereas from the EDS test results it can be seen that the chemical element is dominated by iron (Fe) and carbon (C) elements with a mixture of other elements such as oxygen (O) and Calcium (Ca)*

**Keywords:** AISI 4140, Carburizing plasma, Vikers, Microstructure, Hardness

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, atas segala karunia dan ridho-NYA, sehingga laporan tesis dengan judul “*Analisis Sifat Kekerasan dan Struktur Mikro Baja AISI 4140 Hasil Karburasi Plasma Dengan Variasi Temperatur*” ini dapat diselesaikan. Tesis ini disusun sebagai satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata II pada Program Studi Magister Teknik Mesin Sekolah Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya, kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Bambang Sumardjoko, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Surakarta, atas kesempatan dan fasilitas yang diberikan kepada penulis untuk mengikuti dan menyelesaikan pendidikan strata II di Sekolah Pasca Sarjana Universitas Muhammadiyah Surakarta.
2. Bapak Tri Widodo Besar, M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin dan Pembimbing Satu serta Ketua Dewan Penguji yang telah meluangkan banyak waktunya kepada kami untuk memberikan masukan dan saran pada saat proses pembimbingan sampai selesaiya laporan tesis ini.
3. Bapak Dr. Supriyono, selaku pembimbing dua dan Anggota Dewan Penguji, saran dan bimbingannya sangat membantu kami dalam menyusun laporan tesis ini.
4. Bapak Agus Dwi Anggoro, M.Eng, Ph.D, selaku Anggota Dewan Penguji atas masukan dan sarannya dalam menyempurnakan laporan tesis ini.
5. Pusat Sains dan Teknologi Akselerator Badan Tenaga Nuklir Nasional Yogyakarta, yang telah mengijinkan tempatnya untuk penelitian tesis ini.
6. Balai Penelitian Teknologi Bahan Alam Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia ( LIPI ) Yogyakarta yang telah mensupport penelitian tesis ini.
7. Ayahanda Tercinta H. Wasep, Ibunda Hj. Sulastri, Adik-adik saya Irma Dewi Fatimah, S.Pd dan Evi Yuli Yanti, S.Kep. atas do'a dan semua yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Magister Teknik Mesin di Universitas Muhammadiyah Surakarta.

8. Istri saya Zahtorun Nisa, beserta anakku, terimakasih atas segala motivasi, perhatian dan do'a nya serta kesabarannya sehingga semangat tumbuh untuk segera menyelesaikan Magister Teknik Mesin di Universitas Muhammadiyah Surakarta.
9. Temen-teman seperjuangan Magister Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta angkatan ke-5, untuk motivasinya.
10. Civitas Akademi SMK Muhammadiyah Bumiayu, yang telah memberikan dukungan segalanya.
11. Kepada semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Dengan keterbatasan pengalaman, ilmu maupun pustaka yang ditinjau, penulis menyadari bahwa tesis ini masih banyak kekurangan dan pengembangan lanjut agar benar benar bermanfaat. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran agar tesis ini lebih sempurna serta sebagai masukan bagi penulis untuk penelitian dan penulisan karya ilmiah di masa yang akan datang.

Akhir kata, penulis berharap tesis ini memberikan manfaat bagi kita semua terutama untuk pengembangan ilmu pengetahuan yang ramah lingkungan.

Surakarta, 22 Oktober 2018

Penulis

**Muhammad Fauzan**  
**NIM : U.100.160.021**

## DAFTAR ISI

<b>NOTA PEMBIMBING I .....</b>	ii
<b>NOTA PEMBIMBING II .....</b>	iii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	iv
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	v
<b>SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....</b>	vi
<b>ABSTRAK .....</b>	vii
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	viii
<b>DAFTAR ISI .....</b>	x
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	xii
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	xiii
<b>DAFTAR GRAFIK .....</b>	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	3
1.4. Tujuan Penelitian .....	4
1.5. Manfaat Penelitian .....	4
1.6. Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	6
2.1. Kajian Pustaka .....	6
2.2. Landasan Teori .....	10
2.2.1. Material AISI 4140 .....	10
2.2.2. Diagram Fasa Fe-C .....	11

2.2.3. Konsep Dasar Plasma .....	13
2.2.4. Plasma Lucutan Pijar DC .....	14
2.2.5. Plasma Karburasi .....	15
2.2.6. Pengujian Vikers .....	15
2.2.7. Struktur Mikro .....	16
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>18</b>
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian .....	18
3.2. Alat dan Bahan .....	18
3.2.1. Alat Penelitian .....	18
3.2.2. Bahan Penelitian .....	18
3.3. Prosedur Penelitian .....	19
3.3.1. Preparasi Sampel Baja AISI-4140 .....	20
3.3.2. Metode Pembentukan Lapisan Tipis .....	22
3.3.3. Mekanisme Pengerasan Permukaan .....	23
3.3.4. Proses Pengujian Vickers .....	24
3.3.5. Proses Pengujian SEM-EDS .....	25
3.3.6. Analisa Data .....	26
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>27</b>
4.1. Pengujian Kekerasan Vickers .....	27
4.2. Uji Struktur Mikro SEM-EDS .....	31
<b>BAB V KESIMPULAN .....</b>	<b>40</b>
5.1. Kesimpulan .....	40
5.2. Saran .....	40
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>41</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>44</b>

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 1.1 Komposisi kimia material baja AISI 4140 .....	1
Tabel 4.1 Uji kekerasan permukaan sebelum dikarburasi ( Raw Material ) .....	28
Tabel 4.2 Uji kekerasan permukaan dengan temperatur 300°C, tekanan 1,6 mbar dan waktu 3 jam .....	28
Tabel 4.3 Uji kekerasan permukaan dengan temperatur 350°C, tekanan 1,6 mbar dan waktu 3 jam .....	28
Tabel 4.4 Uji kekerasan permukaan dengan temperatur 400°C, tekanan 1,6 mbar dan waktu 3 jam .....	29
Tabel 4.5 Uji kekerasan permukaan dengan temperatur 450°C, tekanan 1,6 mbar dan waktu 3 jam .....	29
Tabel 4.6 Uji kekerasan permukaan dengan temperatur 500°C, tekanan 1,6 mbar dan waktu 3 jam .....	29
Tabel 4.7 Hubungan temperatur dengan kekerasan rata – rata baja AISI 4140 hasil karburasi plasma .....	30

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Keausan permukaan batang divergator bar .....	3
Gambar 2.1 Diagram Fasa Fe-Fe <sub>3</sub> C .....	13
Gambar 2.2 Tabung Lucutan Pijar DC .....	14
Gambar 2.3 Pengujian Vickers dan Bentuk indentor Vickers .....	16
Gambar 3.1 Skema Diagram Alur Penelitian .....	19
Gambar 3.2 Material divergator bar stainless steel AISI 4140 .....	20
Gambar 3.3 Proses bubut dan potong material divergator bar Stainless Steel AISI 4140 .....	20
Gambar 3.4 Sample ukuran diameter 1,4 cm dan tebal 0,4 cm .....	20
Gambar 3.5 Proses pemolesan sample baja AISI 4140 dengan ukuran diameter 1,4 cm dan tebal 0,4 cm .....	21
Gambar 3.6 Hasil proses pemolesan sample material baja stainless steel AISI- 4140 .....	21
Gambar 3.7 Pencucian sample dengan mesin ultrasonic cleaner .....	22
Gambar 3.8 Hasil proses pengerasan permukaan plasma karburasi dengan variasi Temperatur 300°C, 350°C, 400°C, 450°C dan 500°C .....	22
Gambar 3.9 Alat Uji Foto Makro .....	25
Gambar 4.1 Blok Diagram SEM .....	32
Gambar 4.2 Mikrograf SEM baja AISI 4140 hasil karburasi plasma pada tekanan 1,6 mbar, waktu 3 jam dan temperatur 300°C .....	33
Gambar 4.3 Mikrograf SEM baja AISI 4140 hasil karburasi plasma pada tekanan 1,6 mbar, waktu 3 jam dan temperatur 500°C .....	33

- Gambar 4.4 Mikrograf SEM-EDS baja AISI 4140 hasil karburasi plasma  
temperatur 300°C titik 1, tekanan 1,6 mbar dan waktu 3 jam ..... 34
- Gambar 4.5 Mikrograf SEM-EDS baja AISI 4140 hasil karburasi plasma  
temperatur 300°C titik 2, tekanan 1,6 mbar dan waktu 3 jam ..... 36
- Gambar 4.6 Mikrograf SEM-EDS baja AISI 4140 hasil karburasi plasma  
temperatur 500°C titik 1, tekanan 1,6 mbar dan waktu 3 jam ..... 37
- Gambar 4.7 Mikrograf SEM-EDS baja AISI 4140 hasil karburasi plasma  
temperatur 500°C titik 2, tekanan 1,6 mbar dan waktu 3 jam ..... 38

## **DAFTAR GRAFIK**

Grafik 4.1	Hubungan kekerasan terhadap perubahan temperatur baja AISI 4140 hasil karburasi plasma .....	30
Grafik 4.2	Komposisi Unsur Kimia Hasil Mikrograf SEM-EDS baja AISI 4140 metode karburasi plasma temperatur 300°C titik 1 .....	35
Grafik 4.3	Komposisi Unsur Kimia Hasil Mikrograf SEM-EDS baja AISI 4140 metode karburasi plasma temperatur 300°C titik 2 .....	36
Grafik 4.4	Komposisi Unsur Kimia Hasil Mikrograf SEM-EDS baja AISI 4140 metode karburasi plasma temperatur 500°C titik 1 .....	37
Grafik 4.5	Komposisi Unsur Kimia Hasil Mikrograf SEM-EDS baja AISI 4140 metode karburasi plasma temperatur 500°C titik 2 .....	39

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Kerusakan sebuah elemen atau komponen mesin umumnya disebabkan oleh umur pemakaian yang berlebih sehingga mengakibatkan kegagalan mekanis dari elemen atau komponen tersebut. Kegagalan mekanis memberikan kontribusi yang cukup besar terhadap tidak berfungsinya komponen mesin (Kovacı, Yetim, Baran, & Çelik, 2016). Unsur logam termasuk penyumbang terbanyak untuk pembuatan komponen – komponen mesin, salah satu diantaranya adalah baja tahan karat / *Stainless Steel* (SS) (Setiadi, Studi, Teknik, Pascasarjana, & Surakarta, 2018).

Baja tahan karat / *Stainless Steel* (SS) adalah baja paduan dengan kadar paduan tinggi (*high alloy steel*). AISI (*American Iron and Steel Institute*) menetapkan batasan untuk jenis paduan baja ke dalam *stainless steel* apabila kandungan kromium dalam paduan melebihi 10-13%. Sifat ini diperoleh dari pembentukan lapisan tipis yang disebut lapisan film pasif Cr-oksida dan Ni-oksida yang stabil pada permukaan *stainless steel*. Material ini ketahanan korosinya sangat baik namun nilai kekerasannya rendah dibandingkan baja tahan karat jenis austenite lainnya. Tabel berikut ini merupakan komposisi kimia baja AISI 4140 dalam % berat :

<b>Nama Unsur</b>	<b>Prosentase Unsur</b>
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 (%)	$\leq 0.035$
S (%)	$\leq 0.04$

Tabel 1.1. Komposisi kimia material baja AISI 4140  
(Achyarsyah & Hidayat, 2014)

Baja AISI 4140 mempunyai tekstur ultrafine dengan kekuatan ultrahigh, rasio keuletannya rendah yang diperoleh melalui proses rolling lambat dan pendinginan tanpa melalui tempering. Pengaruh rasio reduksi berjalan lambat berkisar antara 60% hingga 90% pada mikrostruktur dan sifat mekanik baja yang diselidiki. (Lv, Fu, Ahmad, & Shan, 2017)

Ketahanan Baja tahan karat / stainless steel terhadap korosi dapat ditambah dengan penambahan elemen seperti Cr, Mo dan N (Bottoli, Jellesen, Christiansen, Winther, & Somers, 2018). Untuk meningkatkan sifat-sifat mekanik dari permukaan material, dapat dilakukan dengan teknik perlakuan permukaan (*surface treatment*). Agar sifat-sifat yang dibutuhkan terpenuhi dan mudah didapatkan, maka dalam pembuatan komponen-komponen mesin disarankan menggunakan logam yang mempunyai sifat liat dan tangguh (Suprapto, Sudjatmoko, & Sujitno, 2010).

*Surface treatment* merupakan sebuah upaya untuk meningkatkan kualitas permukaan suatu material sesuai dengan yang diinginkan. Metode untuk meningkatkan kualitas permukaan dapat ditempuh melalui dua cara yaitu dengan menambahkan unsur tertentu/mengubah komposisi kimia (seperti C, N, TiN, TiC maupun WC), yang kedua dengan cara mengubah fase atau struktur kristalnya kemudian dilanjutkan dengan pendinginan. Perlakuan permukaan dengan menambahkan unsur lain terbagi menjadi dua cara yaitu konvensional dan modern, cara konvensional seperti nitridasi, karburasi dan karbonitridasi sedangkan cara modern adalah teknik laser, implantasi ion dan plasma lucutan pijar (Suprapto et al., 2010).

## 1.2 Perumusan Masalah

Pemanfaatan material dalam dunia industri tentunya akan membawa kontribusi yang positif selama kegiatan produksi berlangsung. Seiring berjalannya waktu, muncul permasalahan mengenai sifat – sifat material komponen mesin yang terus menerus digunakan, Salah satunya terjadi pada divergator bar ketika digunakan untuk melakukan penyaringan bentuk dan ukuran batubara yaitu terjadinya gesekan terus menerus yang mengakibatkan keausan pada batang permukaan seperti terlihat pada gambar 1.1. di bawah ini :



Gambar 1.1 Keausan permukaan batang divergator bar

Berdasarkan gambar di atas, terlihat bahwa kegagalan mekanis yang terjadi adalah adanya keausan akibat gesekan yang terus menerus oleh batubara. Hal ini berkorelasi dengan sifat mekanis material, bahwa baja AISI 4140 termasuk kategori baja karbon sedang dengan kekerasan sekitar 30 HRC, sehingga karakteristiknya cukup baik untuk pembebahan impact (karena sifat uletnya) tetapi kurang baik secara teknis untuk menerima pembebahan abrasive (gesekan) karena angka kekerasannya rendah.

Untuk mengatasi permasalahan keausan pada divergator bar di atas ada beberapa teknik yang dapat digunakan untuk meningkatkan ketahanan aus material, yaitu dengan *surface treatment* dan *coating*. Pada penelitian kali ini, salah satu teknik perlakuan permukaan yang akan digunakan yaitu dengan cara Karburasi Plasma dengan tekanan 1,6 mbar, tegangan 2 kV DC dan waktu selama 3 jam. Karburisasi plasma juga dapat meningkatkan ketahanan terhadap korosi, hal ini dikarenakan jumlah oksida yang dihasilkan pada bahan hasil karburasi jauh lebih kecil dari pada yang tidak diolah (Flis-Kabulska, Sun, Zakroczymski, & Flis, 2016).

### 1.3 Batasan Masalah

Melihat cakupan materi yang sangat luas terkait teknologi rekayasa pengolahan material, maka masalah yang akan di bahas pada penelitian kali ini difokuskan pada pengujian kekerasan vickers, pengujian komposisi unsur kimia (EDS) spesimen serta pengaruh struktur mikro (SEM-EDS ) terhadap

material baja AISI 4140 dengan variasi temperatur 300°C, 350°C, 400 °C, 450 °C dan 500°C, dimana tekanan yang diberikan 1,6 mbar serta waktu 3 jam.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Untuk meningkatkan kekerasan material dan memperbaiki struktur mikro pada material baja AISI 4140 dapat dilakukan menggunakan proses karburasi plasma dengan mengambil variasi Temperatur 300°C, 350°C, 400°C, 450°C dan 500°C, tekanan yang diberikan 1,6 mbar serta waktu 3 jam dengan sample pengujian masing masing temperatur sejumlah 5 buah.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dalam penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang positif terhadap permasalahan terkait sifat – sifat mekanik baja AISI 4140 berupa peningkatan kekerasan setelah dilakukan perlakuan permukaan dengan metode karburasi plasma dengan variasi temperatur, tekanan 1,6 mbar dan waktu 3 jam serta dapat diketahui struktur mikro dengan unsur kandungan didalamnya pada permukaan melintang batang spesimen serta bagian dalam spesimen.

#### **1.6 Sistematika Penulisan**

Laporan ini disusun dengan mengacu pada kerangka penulisan tesis yang berlaku pada Sekolah Pasca sarjana Universitas Muhammadiyah Surakarta dimana terdiri dari 5 bab, antara lain :

1. Bab I berisi Pendahuluan yang memuat latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.
2. Bab 2 merupakan Tinjauan Pustaka yang berisi uraian tentang alur pikir dan perkembangan terkini keilmuan topik kajian dalam tesis. Pada bagian bab ini dijelaskan beberapa hasil penelitian terdahulu sebagai bahan kajian untuk memberikan gambaran perkembangan pengetahuan yang menjadi dasar penulisan tesis ini. Tinjauan pustaka berisi pula kesimpulan yang terdapat dalam setiap judul dalam daftar pustaka yang memberikan gambaran singkat tentang penelitian yang dilakukan. Pada

bab ini pula dijelaskan alasan dipilihnya topik kajian serta arah yang akan ditempuh dalam menyelesaikan pembahasan/topik kajian tersebut.

3. Bab 3 adalah metode penelitian yang menjelaskan secara detail tentang bahan/materi dan peralatan yang digunakan dalam penelitian serta tahapan dalam melakukan penelitian.
4. Bab 4 berisi Hasil dan Pembahasan, yang menjelaskan secara rinci data dan informasi yang menunjang penelitian, selanjutnya dilakukan pengolahan data, analisa dan pembahasan data serta pembahasan hasil.
5. Bab 5 merupakan Penutup yang berisikan kesimpulan dan saran. Pada kesimpulan merupakan jawaban dari tujuan penelitian yang dilakukan, sedangkan saran memberikan informasi terkait penelitian yang sebaiknya dilakukan pada tahap selanjutnya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Sebagai landasan dalam melangkah ke tahap selanjutnya supaya penelitian ini menghasilkan data yang sesuai dengan yang diharapkan maka tentunya diperlukan tinjauan pustaka yang diambil dari berbagai sumber seperti buku, makalah, jurnal atau literature lain guna mendukung landasan teori dan informasi seluruh metode dan material yang digunakan pada penelitian ini.

#### **2.1. Kajian Pustaka**

Dewasa ini perkembangan teknologi rekayasa pelapisan permukaan (*surface treatment*) telah banyak memberikan kontribusi yang signifikan terhadap laju pertumbuhan industri dalam skala besar sampai skala kecil. Baja merupakan salah satu logam yang banyak digunakan dikalangan industri misalnya pada bidang otomotif, permesinan, kontruksi, dan kerajinan. Akan tetapi dampak mutu logam akan menurun akibat adanya keausan yang disebabkan karena gesekan.

Korosi merupakan penurunan mutu logam yang diakibatkan karena reaksi kimia atau elektrokimia dengan lingkungan. Korosi menjadi beban dalam industri, tidak hanya menurunkan daya guna logam, namun korosi juga mengakibatkan kerugian dari segi penampilan. Pelapisan logam adalah salah satu cara finishing logam yang banyak dipakai agar terhindar dari korosi. Sifat ketahanan aus, kekerasan, tangguh dan ulet suatu material bahan dasar perlu dipertimbangkan dalam mengaplikasikan pelapisan permukaan material. Berikut adalah bagian – bagian elemen mesin yang mengalami gesekan dan saling kontak dengan komponen lain seperti : brake piston, cylinder liner, sock adsorber, piston ring, hydraulic rot, dies and molds. Dengan adanya gesekan yang terjadi pada kedua komponen yang saling kontak akan mengakibatkan keausan. Maka perlu dilakukan tahap penyelesaian (*finishing*) untuk mengurangi kerugian-kerugian yang diakibatkan faktor keausan.

Finishing diperlukan bagi logam-logam yang mudah mengalami korosi, salah satunya adalah baja yang mudah dan cepat terkena korosi

sehingga efektif untuk dilakukan proses finishing. Salah satu cara yang dipakai adalah dengan memberi lapisan pada permukaan logam. Proses treatment permukaan sendiri dilakukan dengan metode termokimia yang merupakan metode pengerasan permukaan dengan mendifusikan atom-atom tertentu ( karbon, nitrogen atau kedua-duanya ) ke dalam permukaan material. Jenis- jenis pengerasan termokimia antara lain : karburasi, cyaniding, carbonitriding, dan nitriding (Tawijayanto, Purwo Raharjo, & Triyono, 2013).

Perawatan permukaan diklasifikasikan menjadi dua kelompok berdasarkan komposisi kimia : perawatan anorganik dan organik. Perawatan organik digunakan untuk pelapisan permukaan (akrilik, butadiena copolymer, karet terklorinasi, resin epoksi, oleo resin, resin poliester, polietilena kopolimer, polyurethane, vinil, tar batubara, dan polymer modified mortar) dan impregnasi hidrofobik. Perawatan permukaan anorganik umumnya berasal dari generasi produk pemblokiran pori, waterglass adalah bahan yang sering digunakan dalam kelompok ini. Waterglass dapat memblokir pori-pori kapiler dan mengurangi permeabilitas air (Pan, Shi, Zhang, Jia, & Chong, 2018).

Penelitian tentang pengerasan permukaan dengan plasma karburasi yaitu perlakuan karburasi padat berupa sumber karbon arang kayu dan zat pengaktif karbon Ba CO<sub>3</sub> 25%. Spesimen berupa baja plat ST37 dengan kandungan C = 0,158%, Mn = 0,666%, Si = 0,159%. Baja ST37 diperlakukan panas karburasi dengan variasi temperatur 850 °C, 900 °C, 950°C selama 2 jam dengan pendinginan, selanjutnya dilakukan proses hardening temperatur 860°C dengan media pendingin air. Uji kekerasan dilakukan dengan metode mikro Vickers dengan beban 1 kg. Hasil penelitian menunjukkan kekerasan raw material sebesar 130 kg/mm<sup>2</sup>. Setelah melalui proses pemberian temperatur maka kekerasan permukaan hasil karburasi temperatur 850°C, 900°C, 950°C berturut-turut adalah 535, 817, dan 861 kg/mm<sup>2</sup> dengan ketebalan efektif lapisan 67,8 µm, 141 µm, dan 486 µm (Suryanto, 2016).

Pengujian keausan dari sumber lain juga menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur proses karburising akan menghasilkan ketahanan aus yang lebih baik, dimana pada proses karburising ini menggunakan temperatur

950°C yang dilanjutkan dengan proses pengerasan pada temperatur 840°C memberikan peningkatan ketahanan aus tertinggi sebesar 83,6% dibandingkan dengan ketahanan aus raw material (Hamzah & Iqbal, 2008). Penelitian dengan proses karburisasi plasma yang mengandung cementite dengan temperatur 500 dan 550 ° C menunjukkan lapisan permukaan dengan kekasaran permukaan yang lebih rendah ( $R_a$  22.9 nm), kekerasan permukaan yang lebih tinggi (12.377 GPa) dan dengan tingkat keausan lebih rendah ( $2,43 \times 10^{-6} \text{ mm}^3 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ) dari pada sementit-bebas lapisan carburized. (Yang Yanga,b, M.F. Yana,• , S.D. Zhang, J.H. Guoa, S.S. Jiang, D.Y. Lib, 2018)

Penelitian terkait karburasi plasma dengan hasil kekerasan permukaan pada baja austenit meningkat dengan temperatur rendah di bawah 773 K. Pelapisan stainless steel austenitic AISI 316L dengan proses plasma karburasi pada temperatur rendah juga meningkatkan ketahanan aus, karena lapisan AISI 316L yang disemprotkan mengandung lapisan oksida yang disintesis di udara selama proses penyemprotan plasma, lapisan oksida dapat membatasi difusi karbon. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada temperatur rendah karburasi plasma memungkinkan pelapis disemprot untuk meningkatkan ketahanan aus ke tingkat karburisasi pelat baja AISI 316L. Adapun ketahanan korosi dalam larutan NaCl 3,5% massa, yang di-karburisasi lapisan semprot AISI 316L sedikit lebih rendah dibandingkan dengan lapisan AISI 316L yang disemprotkan. (Adachi & Ueda, 2013)

Sumber penelitian lain menjelaskan bahwa karburasi plasma pada temperatur rendah digunakan untuk membuat lapisan karburasi yang mengandung lapisan komposit Fe<sub>3</sub>C pada permukaan baja M50NiL dalam aseton gas. Pengaruh aseton gas pada lapisan karburasi diselidiki oleh mikroskop optik, mikroskop elektron pemindaian dilengkapi dengan analisa X-ray dispersif energi, difraksi sinar-X, spektroskopi raman, uji kekerasan mikro, pin-on-disc uji polarisasi tribometer dan anodik. Lapisan karburasi umumnya terdiri dari martensit karbon diperluas ( $\alpha'$ C) dengan ketahanan aus yang baik dan ketahanan korosi yang rendah yang dibentuk oleh karburasi plasma pada temperatur 550°C selama 4 jam. Lapisan karbida yang mengandung lapisan komposit Fe<sub>3</sub>C diperoleh dengan menggunakan

campuran gas aseton (0,3 L / menit) dan hidrogen (0,2 L / menit). Lapisan ini menunjukkan koefisien gesekan terendah (sekitar 0,3) dan penurunan tingkat keausan 99,0% dibandingkan dengan spesimen yang tidak diberi perlakuan karena efek pelumasannya. (Yang, Yan, Zhang, Zhang, & Wang, 2016)

Penelitian lain dengan metode Plasma DC Nitro Karburasi pada material baja AISI 4140 dimana hasil perlakuan permukaan dari nitrokarbasi plasma karbon sumber solid ( SCS-PNC ) dibandingkan dengan plasma nitriding DC konvensional (PN) dan plasma nitrokarbasi (PNC) menggunakan metana sebagai gas yang mengandung karbon. Proses SCS-PNC memberikan peningkatan konsentrasi karbon dalam lapisan majemuk dengan meningkatkan kepadatan daya plasma. (Dalke, Burlacov, Spies, & Biermann, 2018)

Lapisan karburasi plasma dari cast austenitic stainless steel untuk temperatur rendah yang dihasilkan adalah pengendapan bebas dan memiliki kekerasan tinggi dengan konsentrasi karbon yang menguntungkan dan gradien kekerasan serta korosi yang jauh lebih baik resistensinya dalam solusi yang diuji, dibandingkan dengan yang asli bahan as-cast.(Sun, 2009). Karburasi plasma AISI 316L dilakukan pada temperatur 480° C dan 400° C, selama 20 jam, menggunakan CH<sub>4</sub> sebagai gas pembawa karbon. Hasilnya menunjukkan bahwa karbon berkembang austenit ( $\gamma$ C) dengan kedalaman 20  $\mu$ m, terbentuk di permukaan setelah perlakuan temperatur 480°C. Karbon berkembang austenit ( $\gamma$ C) dengan kedalaman 8  $\mu$ m, terbentuk di permukaan setelah perawatan dengan temperatur 400°C. Hasil DRX menunjukkan parameter kisi austenitik FCC meningkat dari 0,358 nm menjadi 0,363 nm untuk perlakuan temperatur 400°C dan untuk 0,369 nm dengan perlakuan temperatur 480°C, memberikan perkiraan sekitar 10 pada.% kandungan karbon untuk yang terakhir. Kisi distorsi, yang dihasilkan dari ekspansi dan tegangan sisa tekan yang terkait meningkatkan kekerasan permukaan hingga 1040 HV 0.025 (Souza, Ignat, Pinedo, & Tschiptschin, 2009)

Metode karburasi plasma pada logam cair paduan Cu-4 mol% Ti yang dikeraskan pada temperatur 1073 K dan 1123 K selama 6 jam menghasilkan permukaan spesimen dilapisi oleh kristal TiC, yang mengandung sejumlah sedikit oksigen, dan sub lapisan Cu<sub>3</sub>Ti<sub>3</sub>O. Ketebalan lapisan TiC dan

$\text{Cu}_3\text{Ti}_3\text{O}$  masing-masing sekitar 100 nm dan 900 nm, untuk spesimen karburasi plasma pada 1073 K akan meningkat dengan peningkatan temperatur karburisasi plasma. Pembentukan lapisan TiC dan  $\text{Cu}_3\text{Ti}_3\text{O}$  menghasilkan peningkatan yang signifikan pada kekerasan permukaan, tidak ada jejak keausan pada spesimen setelah uji keausan dilakukan berkali – kali menggunakan baja bantalan karbon tinggi-kromium. Sehingga karburasi plasma adalah metode yang menjanjikan untuk memperbaiki sifat permukaan paduan cair Cu-Ti yang dikeraskan. (Semboshi, Iwase, & Takasugi, 2015)

Untuk karburasi plasma dari bahan AISI 316L, permukaan oksida perlu dihilangkan secara maksimal. Jika tidak, endapan terbentuk di permukaan dan karburasi menjadi tidak seragam. Masalah ini dapat diatasi dengan menyesuaikan perbandingan  $\text{CH}_4$  / ( $\text{CH}_4 + \text{H}_2$ ) dan meningkatkan proses tekanan. Dengan melakukan karburasi plasma selama 90 menit pada 800°C, 600 V, 2 Tort dan 25% rasio  $\text{CH}_4$  / ( $\text{CH}_4 + \text{H}_2$ ), diperoleh hasil karburasi seragam dengan permukaan kekerasan di atas 735 HV 50g dan pengerasan yang efektif dengan kedalaman di atas 40 ~ m (Suh & Lee, 1997).

Karburasi plasma pada temperatur rendah adalah proses terkontrol difusi. Energi aktivasi yang dihitung untuk pertumbuhan lapisan luar dan difusi masing-masing adalah 29 dan 85 kJ mol – 1. Lapisan yang bebas terhadap reaksi korosi dapat diproduksi hanya ketika temperatur pemrosesan cukup rendah ( $\leq 723$  K) dan waktu yang cukup singkat ( $\leq 12$  jam) (Scheuer, Cardoso, Mafra, & Brunatto, 2013)

## 2.2. Landasan Teori

### 2.2.1. Material AISI 4140

Material baja AISI 4140 berdasarkan komposisi kimia tergolong dalam jenis baja *chromium-molybdenum steel*. Kekuatan tarik baja AISI 4140 bisa mencapai 1650 MPa ( 240 ksi ) melalui perlakuan panas quench dan proses temper konvensional. Baja ini dapat digunakan pada temperatur 480°C ( 900 °F ), tetapi sifat kekuatannya menurun dengan cepat dengan semakin meningkatnya temperatur. Material baja AISI 4140 yang ada di lapangan dapat dijumpai dalam bentuk bar, batang, tempa, lembaran, plat, strip, dan

coran. Aplikasi material baja AISI 4140 banyak digunakan untuk mesin kekuatan tinggi seperti: connecting rods, poros engkol, as roda, batang piston, collet, kunci pas, dan sprockets (Achyarsyah & Hidayat, 2014).

Sifat struktural, mekanik dan tribological pada baja Baja AISI 4140 nitrocarburized dianalisis menggunakan difraksi sinar-X, microhardness tester, scanning electron microscopy, optical microscopy, dan pin-on-disk tribotester. yang terbentuk melalui proses nitro-karburasi plasma pada campuran gas 49% N<sub>2</sub> + 49% H<sub>2</sub> + 2% CO<sub>2</sub>, untuk waktu proses yang berbeda (1, 2, 4, 8 dan 12 jam), pada temperatur 570°C menunjukkan bahwa lapisan senyawa terdiri dari karbonitrides e dan c<sub>0</sub> besi. Selain itu, lapisan majemuk dalam bentuk pori-pori memiliki struktur kolumnar. Pori-pori ini terbuka ke permukaan. Proses nitro-karburasi dapat meningkatkan permukaan kekerasan, kekasaran dan koefisien gesekan. Tingkat keausan meningkat setelah plasma nitro-karburasi, dan menurun dengan meningkatnya kekerasan permukaan (Karakan, Alsaran, & Çelik, 2004).

Berdasarkan kajian dan landasan teori dari beberapa sumber di atas maka dapat disimpulkan bahwa proses karburasi dengan variasi temperatur tertentu akan meningkatkan kekerasan, ketahanan aus, korosi serta memperbaiki struktur mikro. Penelitian yang akan kami lakukan pada kesempatan ini akan menggunakan teknik plasma karburasi dengan menggunakan material stainless steel AISI 4140, variable penelitian yang digunakan menggunakan variasi Temperatur 300<sup>0</sup>C, 350<sup>0</sup>C, 400<sup>0</sup>C, 450<sup>0</sup>C dan 500<sup>0</sup>C serta tekanan 1,6 mbar dan waktu selama 3 jam.

### 2.2.2. Diagram Fasa Fe-C

Diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C adalah diagram yang menampilkan hubungan antara temperatur dan kandungan karbon (%C) selama pemanasan lambat. Dari diagram fasa dapat diperoleh informasi-informasi penting antara lain :

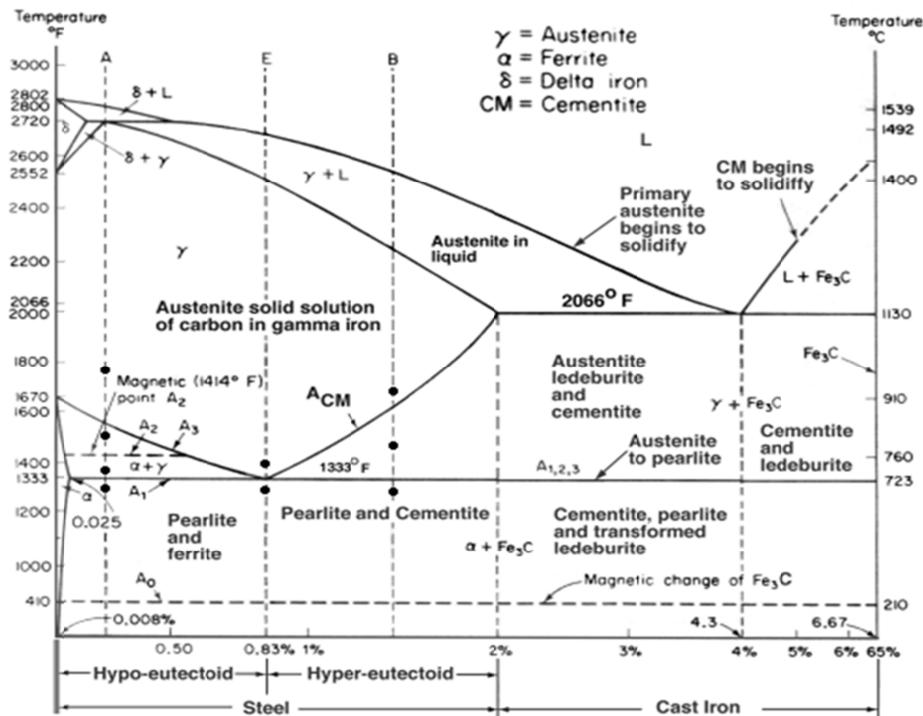
1. Fasa yang terjadi pada komposisi dan temperatur yang berbeda dengan pendinginan lambat.
2. Temperatur pembekuan dan daerah-daerah pembekuan paduan Fe-C bila dilakukan pendinginan lambat.
3. Temperatur cair dari masing-masing paduan.
4. Batas-batas kelarutan atau batas kesetimbangan dari unsur karbon fasa tertentu.
5. Reaksi-reaksi metallurgi yang terjadi.

Dalam kondisi cair karbon dapat larut dalam besi, dalam kondisi padat besi dan karbon dapat membentuk :

- Larutan padat (solid solution)
- Senyawa interstitial/selitan (interstitial compound)
- Eutectic mixture : campuran antara austenite ( $\gamma$ ) dan cementite ( $Fe_3C$ ).
- Eutectoid mixture : campuran antara ferrite ( $\alpha$ ) dan cementite( $Fe_3C$ ).
- Grafit : karbon bebas, tidak membentuk larutan padat ataupun tidak berikatan membentuk senyawa dengan Fe.

Struktur-struktur yang ada pada diagram fasa besi - karbida besi ( $Fe_3C$ ) antara lain :

- Cementite :
- Austenite ( $\gamma$ )
- Ledeburite
- Ferrite ( $\alpha$ )
- Perlite
- Delta Iron( $\delta$ )



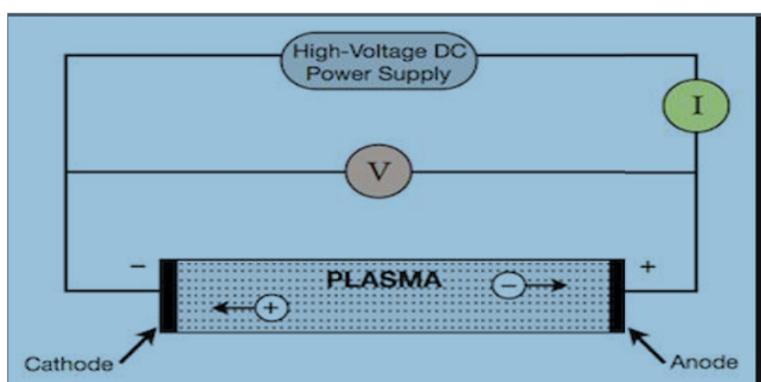
Gambar 2.1. Diagram Fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C

### 2.2.3. Konsep Dasar Plasma

Pada tahun 1928, Irving Langmuir dan Tonks, awalnya membuat konsep tentang plasma saat mempelajari peristiwa lucutan gas. Irving Langmuir dan Tonks mendefinisikan plasma adalah sebagai gas terionisasi yang mempunyai sifat fisis tersendiri seperti halnya benda padat, cair dan gas dalam lucutan listrik. Jika energi (temperatur) suatu gas dinaikkan maka akan memungkinkan atom-atom gas terionisasi, selanjutnya gas akan melepaskan elektron-elektron yang pada keadaan normal mengelilingi inti. Pencampuran antara ion-ion yang bermuatan positif dan elektron-elektron yang bermuatan negatif mempunyai sifat-sifat yang sangat berbeda dengan sifat gas pada umumnya., dan materi pada fase ini kita sebut fase plasma. Jadi secara sederhana plasma dapat didefinisikan sebagai gas terionisasi dan dikenal sebagai materi fase keempat setelah fase padat, cair, dan gas (Setiyana, 2008). Dalam lingkungan plasma, karbon ditransfer ke bahan logam, yang kemudian menembus ke dalam melalui proses difusi, yang mengarah ke pembentukan lapisan yang dimodifikasi (Y. Li, Wang, Zhang, & Shen, 2010).

#### 2.2.4. Plasma Lucutan Pijar DC

Plasma lucutan pijar dibentuk menggunakan elektroda pada sebuah ruangan yang berisi udara bebas dengan tekanan atmosfer. Agar terjadi ionisasi yang berkesinambungan, tahapan pertama yang harus dilalui adalah terjadinya ionisasi yang menghasilkan elektron. Elektron pertama ini berasal dari ionisasi gas oleh radiasi sinar kosmis. Elektron pertama ini dipercepat oleh beda potensial antara dua elektroda. Bila tidak ada beda potensial, maka molekul-molekul gas secara elektrik neutral, walau ada beberapa elektron bebas sebagai akibat interaksi dengan radiasi sinar kosmis. Dalam laboratorium lucutan elektrik dapat dilakukan dalam tabung berisi gas. Apabila dua buah elektroda yang berupa plat sejajar diletakkan di dalam tabung dengan tekanan tertentu dan kedua elektroda dihubungkan dengan sumber tegangan DC, maka akan terjadi lucutan listrik diantara kedua elektroda. Elektron dari katoda akan bergerak menuju anoda dan selama dalam perjalanan elektron-elektron tersebut akan menumbuk atom-atom atau molekul-molekul gas diantara kedua elektroda. Hal ini mengakibatkan transfer seluruh atau sebagian dari energi penumbuk ke partikel gas, sehingga partikel tersebut akan tereksitasi. Pada proses inilah terjadi ionisasi gas secara terus menerus yang menghasilkan reaksi ionisasi berantai dan banyak menghasilkan ion-ion. Ion-ion ini akan ditarik ke katoda karena adanya medan listrik dan pada akhirnya akan menumbuk katoda. Proses ini selalu disertai dengan keluarnya lucutan pijar, sehingga plasma yang dihasilkan disebut plasma lucutan pijar (Setiadi et al., 2018).



Gambar. 2.2. Tabung Lucutan Pijar DC

### **2.2.5. Plasma Karburasi**

Karburasi adalah proses penambahan unsur karbon pada permukaan logam dengan metode difusi untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik material logam. Proses karburasi biasanya dilakukan pada baja karbon rendah yang memiliki kelenturan tinggi dan sifat daktilitas. Pengerasan permukaan dengan menggunakan karburasi adalah cara pengerasan tertua dan ekonomis karena proses pengerasan ini hanya mengubah komposisi kimia dari baja karbon (Irwan, n.d.).

Karburasi plasma merupakan proses termokimia yang dibantu plasma pemberian panas. Kehadiran plasma dingin meningkatkan transfer massa karbon menuju benda kerja, sedangkan difusi karbon di dalam baja terjadi seperti pada proses difusi konvensional. Dampak dari penggabungan plasma dan temperatur austenisasi memberikan hasil karburasi yang lebih unggul dari proses konvensional (S. Li & Manory, 1995). 3 (tiga) cara untuk menambahkan karbon atau karburasi antara lain:

1. Menggunakan media atau Pack karburasi padat.
2. Menggunakan media atau Liquid karburasi cair.
3. Menggunakan media gas atau karburasi gas.

Karburasi plasma temperatur rendah dari baja tahan karat austenit dapat menghasilkan lapisan austenit karbon-jenuh, "S-fase" pada permukaan, yang memiliki kekerasan tinggi, keausan yang sangat baik dan sifat kelelahan serta ketahanan korosi yang baik (W. Li, Li, & Dong, 2011). Karburasi plasma adalah teknik yang cocok untuk mengendalikan ketebalan lapisan karburasi ( $f_1 \text{ Am} / \text{h}$ ) dibandingkan dengan metode karburasi plasma tingkat tinggi lainnya ( $f_{10} \text{ Am} / \text{jam}$ ) seperti CVD (Raveh et al., 2004).

### **2.2.6. Pengujian Vickers**

Pengujian kekerasan dengan metode Vickers bertujuan menentukan kekerasan suatu material sebuah spesimen yaitu daya tahan material terhadap indentor intan yang cukup kecil dan

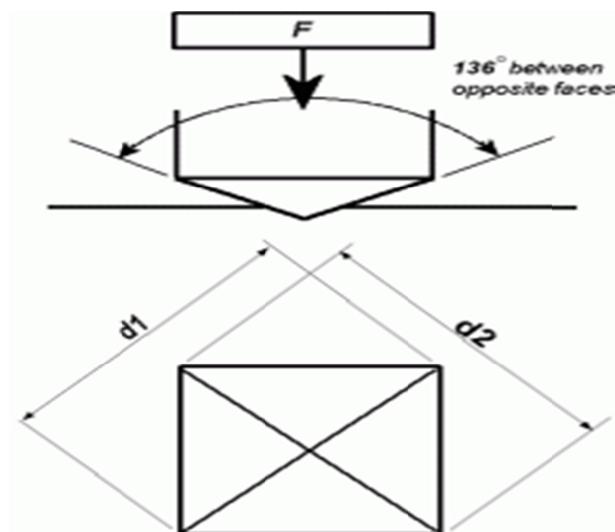
mempunyai bentuk geometri berbentuk piramid seperti ditunjukkan pada gambar 2.3. Beban yang dikenakan juga jauh lebih kecil dibanding dengan pengujian rockwell dan brinell yaitu antara 1 sampai 1000 gram. Angka kekerasan Vickers (HVN) didefinisikan sebagai hasil bagi (koefisien) dari beban uji ( $F$ ) dengan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) dari indentor(diagonalnya) ( $A$ ) yang dikalikan dengan sin  $(136^\circ/2)$ . Rumus untuk menentukan besarnya nilai kekerasan dengan metode vikers yaitu :

$$VHN = \frac{1.854P}{d^2}$$

**Dimana,** HVN = Angka kekerasan Vickers

P = Beban (kgf)

d = diagonal (mm)



Gambar 2.3. Pengujian Vickers dan Bentuk indentor Vickers

(Standards & Conshohocken, PA, 2003)

### 2.2.7. Struktur Mikro

Struktur mikro adalah gambaran dari kumpulan fasa-fasa yang dapat diamati melalui teknik metalografi. Struktur mikro suatu logam dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop. Mikroskop yang dapat digunakan yaitu mikroskop optik dan mikroskop elektron.

Sebelum dilihat dengan mikroskop, permukaan logam harus dibersihkan terlebih dahulu, kemudian reaksikan dengan reagen/cairan kimia untuk mempermudah pengamatan. Proses ini dinamakan *etching*. Untuk mengetahui sifat dari suatu logam, kita dapat melihat struktur mikronya. Setiap logam dengan jenis berbeda memiliki struktur mikro yang berbeda. Melalui diagram fasa, kita dapat melihat struktur mikro dan dapat mengetahui fasa yang akan diperoleh pada komposisi dan temperatur tertentu.

Perubahan struktur mikro yang sudah dilapisi unsur kimia mempengaruhi sifat material seperti kekerasan permukaan, ketahanan korosi dan sebagainya (Wang, Yang, & Wang, 2017). Perubahan sub struktur dan struktur mikro dapat menyebabkan nukleasi kerusakan permanen, terbentuknya retakan mikroskopis pada komponen logam (Sengül & Çelik, 2011).

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Penelitian plasma karburasi dilakukan dengan metode eksperimental. Tahap awal penelitian ini meliputi preparasi substrat material stainless steel AISI 4140 yang terdiri dari proses pemotongan (*cutting*), pembingkaian (*mounting*), pengamplasan (*grinding*), pemolesan (*polishing*), set up alat, pengujian sample dan pengambilan data. Pengambilan data dilakukan dengan melakukan pengujian untuk masing-masing sample pada setiap variabel yang sudah ditentukan kemudian pengambilan data dilakukan melalui metode pengujian kekerasan vickers, uji struktur mikro (SEM-EDS) dan uji komposisi unsur kimia (EDS).

#### **3.1. Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bidang Fisika Partikel, Pusat Sains dan Teknologi Akselerator Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) Yogyakarta dan Badan Penelitian Teknologi Bahan Alam Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia ( LIPI ) Yogyakarta selama kurang lebih enam (6) bulan mulai dari bulan November 2017 – April 2018.

#### **3.2. Alat dan Bahan**

##### **3.2.1. Alat Penelitian**

Alat yang digunakan dalam proses penelitian ini adalah :

- a. Mesin plasma lucutan pijar DC buatan PSTA Yogyakarta.
- b. Alat pencuci ultrasonik.
- c. Alat uji kekerasan menggunakan metode *Vickers* di PSTA Yogyakarta.
- d. Alat uji struktur mikro di Balai Penelitian Teknologi Bahan Alam Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia ( LIPI ) Yogyakarta
- e. Mesin poles.
- f. Mesin bubut dan Gerinda.

##### **3.2.2. Bahan Penelitian**

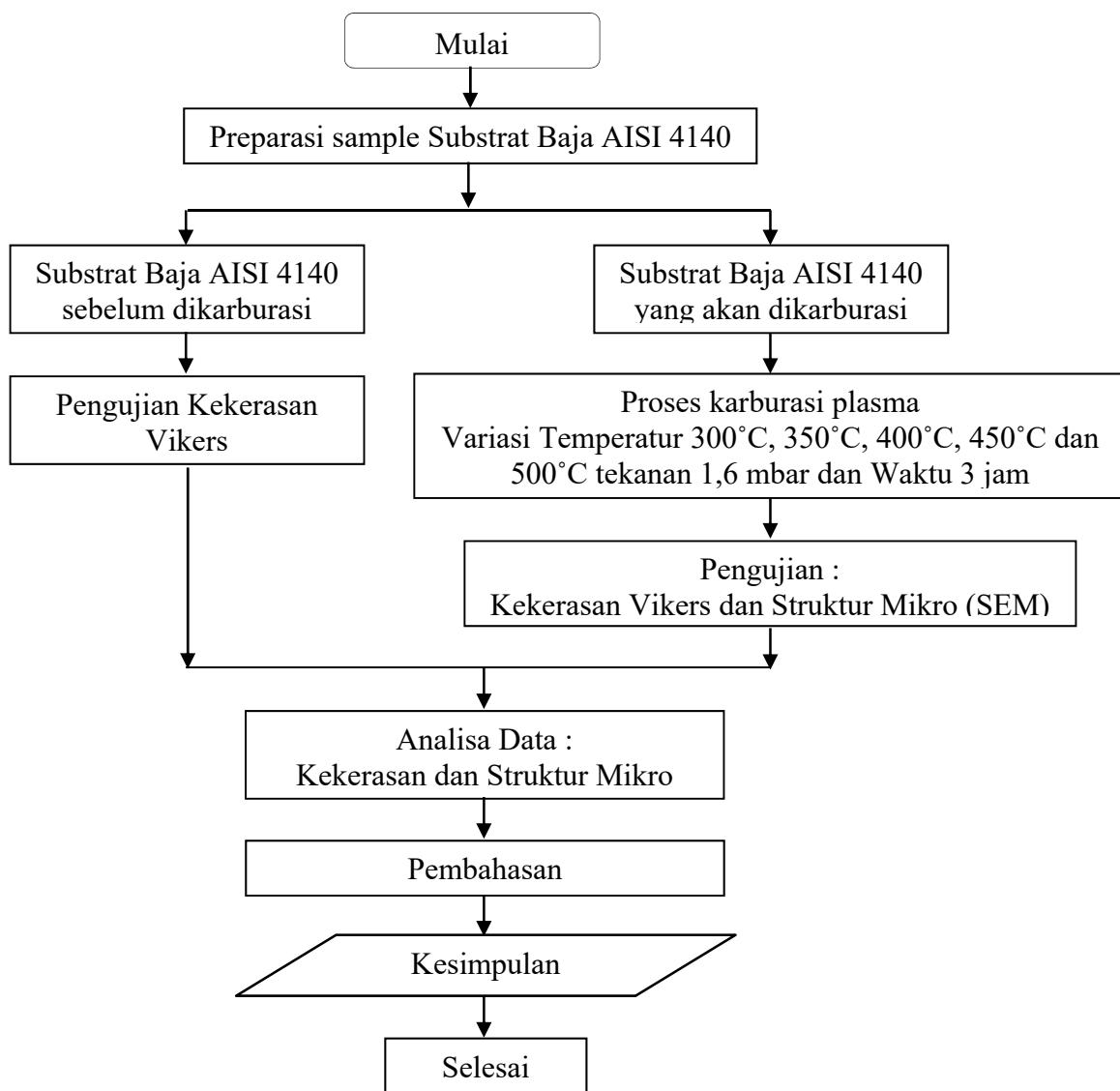
Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Material substrat stainless steel AISI 4140 sebagai sample.

- b. Gas Karbon ( C ).
- c. Kertas abrasive (amplas) mulai dari ukuran 120 sampai 5000 mesh.
- d. Alkohol sebagai bahan pembebas kotoran pada permukaan spesimen.
- e. Resin.
- f. Kain halus.
- g. Plastik klip.
- h. Kertas tissue untuk membungkus substrat.
- i. Autosol sebagai penghalus substrat.

### 3.3. Prosedur Penelitian

Untuk memudahkan proses penelitian berikut tahapan penelitian untuk mendapatkan data pengamatan.



Gambar 3.1 Skema Diagram Alur Penelitian

### 3.3.1. Preparasi Sample Baja AISI 4140

Langkah-langkah yang harus dilakukan dalam preparasi sample baja adalah :

1. Siapkan 2 ( dua ) sample Baja Stainless steel 4140
2. Kedua sample baja stainless steel 4140 dipotong dengan ukuran diameter 3,4 cm dan panjang 19,1 cm.
3. Baja yang telah dipotong selanjutnya dibubut dan dipotong kembali dengan ukuran diameter 1,4 cm dan tebal 0,4 cm untuk dijadikan sample pengujian.



Gambar 3.2. Material drivergator bar stainless steel AISI 4140 sample 1 dan sample 2 dengan diameter 3,4 cm dan panjang 19,1 cm



Gambar 3.3. Proses bubut dan potong material drivergator bar Stainless Steel AISI 4140



Gambar 3.4. Sample ukuran diameter 1,4 cm dan tebal 0,4 cm

Hasil proses pemolesan sample material stainless steel baja AISI 4140 dengan menggunakan amplas dari ukuran kasar sampai ukuran paling halus.



Gambar 3.5. Proses pemolesan sample baja AISI 4140 dengan ukuran diameter 1,4 cm dan tebal 0,4 cm

Hasil pemolesan sample di buat sejumlah 30 sample untuk sample proses plasma karburasi. Tahapan pemolesan menggunakan amplas dengan ukuran Amplas 120, Amplas 600, Amplas 1000, Amplas 2000, dan Amplas 5000 mesh sedang untuk finishing proses menggunakan kain bludru.



Gambar 3.6. Hasil proses pemolesan sample material Stainless Steel AISI-4140

Selanjutnya sample sebelum di treatment dengan teknik plasma karburasi dicuci dengan menggunakan alat *ultrasonic cleaner* dengan tahapan sebagai berikut :

- Dicuci dengan deterjen selama 30 menit dengan digetarkan dengan *ultrasonic cleaner*
- Dibilas dengan air bersih sambil digetarkan dengan *ultrasonic cleaner*
- Dibilas dengan cairan alkohol selama 15 menit



Gambar 3.7. Pencucian sample dengan mesin *ultrasonic cleaner*

Setelah proses pencucian sample selesai, langkah selanjutnya adalah dilakukan pengujian kekerasan vickers dan struktur mikro SEM-EDS dengan hasil proses pengerasan permukaan teknik plasma karburasi sebagai berikut :



Gambar 3.8. Hasil pengerasan permukaan plasma karburasi dengan variasi Temperatur 300°C, 350°C, 400°C, 450°C dan 500°C

### 3.3.2. Metode Pembentukan Lapisan Tipis

Pembentukan lapisan tipis pada permukaan sample dengan menggunakan metode plasma karburasi, secara garis besar dapat diuraikan sebagai berikut : Spesimen uji dimasukkan ke dalam kotak baja dan diisi media karburasi, Kotak baja ditutup rapat kemudian dimasukkan ke dalam dapur pemanas (*electric furnace*), dipanaskan

dengan variasi temperatur mulai dari temperatur 300°C sampai temperatur 500°C dan ditahan pada temperatur tersebut selama 3 jam dengan tekanan yang diberikan 1,6 mbar. Langkah selanjutnya kotak baja dikeluarkan dari dapur pemanas (furnace), kemudian spesimen dikeluarkan dari kotak baja dan didinginkan di udara. Untuk mendapatkan data hasil pengujian uji kekerasan, spesimen uji dipotong, dipolishing dan dietsa kemudian dilakukan pengujian kekerasan menggunakan metode kekerasan vickers menggunakan Zwick Hardness Testing Machine tipe 3212 B buatan Zwick Gmbh & Co, Jerman. Mesin pengujian kekerasan ini didasarkan pada standard DIN 51225 (Jerman) dan ISO/R 146 dengan beban pengujian 10 gf. Sedangkan untuk pengamatan struktur mikro, spesimen diamati dengan menggunakan uji SEM-EDS untuk sample yang mempunyai variasi temperatur 300°C dan 500°C.

### 3.3.3. Mekanisme Pengerasan Permukaan

Proses pengerasan permukaan (surface hardening) adalah suatu perlakuan (*treatment*) yang diterapkan pada suatu logam agar diperoleh sifat-sifat tertentu. Dan agar dicapai hasil yang memadai, maka pelaksanaan dari suatu perlakuan harus memperhitungkan aspek metalurgi dan peralatan yang tersedia, supaya dapat dipilih proses-proses perlakuan yang sesuai pada suatu logam untuk maksud tertentu, juga agar dapat ditentukan tingkat kualitas yang akan dihasilkan.

Bahwa proses pengerasan permukaan ini terbagi dua (2) macam yaitu proses pengerasan permukaan dengan cara merubah struktur mikro tanpa merubah komposisi kimia bahan, seperti flame hardening dan proses pengerasan permukaan dengan merubah struktur mikro dan komposisi kimia bahan, seperti karburasi, nitridasi dan nitrokarburasi.

Pengerasan permukaan (Case hardening) merupakan proses pengerasan permukaan baja dan besi cor dengan cara memasukkan unsur-unsur karbon atau nitrogen atau karbon dan nitrogen ke permukaan baja dan besi cor dalam bentuk larutan padat fasa austenit,

sehingga komposisi austenit dipermukaan baja dan besi cor berubah dan dengan melalui proses hardening dan quenching diperoleh sifat dan kualitas yang baik, antara lain:

- Kekerasan yang tinggi
- Ketahanan terhadap pemakaian
- Ketahanan terhadap kelelahan dan lain-lain.

#### **3.3.4. Proses Pengujian *Vickers***

Uji kekerasan *vickers* yang dilakukan di Laboratorium Fisika Partikel PSTA-BATAN Yogyakarta. Untuk mengetahui perubahan kekerasan hasil dari proses karburasi plasma dan untuk menentukan kekerasan yang optimum dari parameter-parameter proses karburasi plasma. Hasil ini sebagai perbandingan antara kekerasan baja AISI 4140 sebelum dan sesudah dikarburasi plasma. Pengukuran menggunakan kekerasan mikro dengan indektor (penindik). Beban yang digunakan 10 gf dengan waktu indentasi 3 jam. Setelah itu pengujian kekerasan dilakukan pada 10 titik yang berbeda pada permukaan substrat baja AISI 4140 sebelum dan sesudah dikarburasi menurut variasi parameter-parameter proses karburasi.

Uji kekerasan konvensional telah banyak digunakan dalam penentuan sifat mekanik material, seperti kekerasan, modulus elastis, sifat tarik, ketangguhan bahan curah, dan pelekatan lapisan keramik. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui angka kekerasan, dapat dilakukan dengan cara memberikan tekanan pada spesimen dengan indentasi kaku dan untuk mengukur dimensi residu yang tersisa di permukaan spesimen. Indentor dapat memiliki berbagai bentuk seperti bola, kerucut atau piramida. Setelah uji kekerasan pada material selesai lalu dilanjutkan untuk pengujian foto makro menggunakan alat *Inverted Metallurgy Microscope*.



Gambar 3.9 Alat Uji Foto Makro

Pada proses pengukuran menggunakan pembesaran 50x (1 strip = 19 mm). setelah ukuran bekas gesekan dari *revolving disc* sudah diketahui kemudian dimasukkan kedalam perhitungan.

### 3.3.5. Proses Pengujian Uji SEM-EDS

Tahapan selanjutnya untuk pengambilan data adalah sample dianalisis menggunakan Analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM) yang dilengkapi dengan *Energy Dispersive X-Ray* (EDS ) untuk melihat struktur mikro dan produk-produk pembentukan lapisan tipis pada permukaan sample dan unsur-unsur kimia yang terdapat dalam sample.

Scanning Electron Microscopy memungkinkan gambar untuk diakuisisi dengan resolusi spasial sub-mikrometer di permukaan logam, menggunakan mode pencitraan Sekunder Elektron (SE), kebanyakan sensitif terhadap topografi. Kembali-Tersebar Elektron (BSE) pencitraan sensitif terhadap topografi atau kontras kimia tergantung pada konfigurasi detektor. Generasi baru Scanning Electron Microscopes (SEM) dengan medan senjata emisi menunjukkan jauh lebih sedikit distorsi pencitraan daripada pendahulu mereka berdasarkan teknologi probe Tungsten dan karena itu sangat baik diadaptasi untuk melakukan pengukuran korelasi citra digital (SHI et al., 2018)

### **3.3.6. Analisa Data**

Proses pengambilan data yang dilakukan dengan metode plasma karburasi dimana menggunakan variasi temperatur mulai  $300^{\circ}\text{C}$ ,  $350^{\circ}\text{C}$ ,  $400^{\circ}\text{C}$ ,  $450^{\circ}\text{C}$  dan  $500^{\circ}\text{C}$  dengan tekanan yang diberikan 1,6 mbar dan waktu konstan selama 3 jam pada ruang plasma yang optimal mempengaruhi kondisi optimum yang berpengaruh pada tingkat kekerasan dan banyaknya atom-atom carbon yang terdeposisi ke logam sehingga dapat memperbaiki sifat permukaan logam. Setelah diketahui hasil pengujian dari masing-masing substrat, kemudian hasil tersebut dimasukan ke dalam tabel sehingga dapat diketahui perbedaan nilai pengujian kekerasan untuk masing masing sample dengan variabel yang digunakan dan dilakukan pengambilan foto mikro permukaan spesimen maupun pengambilan data SEM-EDS serta EDS untuk mengetahui komposisi unsur kimia yang terkandung dalam spesimen baja AISI 4140.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil pengujian untuk masing-masing sample meliputi uji kekerasan vickers, uji struktur mikro SEM-EDS serta uji EDS untuk mengetahui komposisi unsur kimia pada spesimen setelah melalui proses pembentukan lapisan tipis dengan metode karburasi plasma dengan menggunakan variasi temperatur, tekanan tetap sebesar 1,6 mbar serta waktu selama 3 jam.

#### **4.1 Pengujian Kekerasan *Vickers***

Proses pengujian kekerasan ini dilakukan pada bahan sebelum dan sesudah karburasi plasma untuk mengetahui perubahan kekerasan hasil karburasi, dimana perubahan kekerasan dilakukan dengan mengukur kekerasan untuk berbagai variasi temperatur, menggunakan tekanan ( kevakuman ) tetap dan waktu deposisi ( karburasi ) tetap.

Kekerasan permukaan material di uji dengan menggunakan metoda *microhardness* dengan cara mikro *Vickers*. Pada uji mikro *Vickers* menggunakan 5 titik sample, beban indentasi sebesar 10 gf, jarak 150  $\mu\text{m}$  dan waktu pembebanan 3 jam. Pengukuran ini dimulai dari sisi terluar dengan jarak 10 mm kemudian jarak antara titik 2 dengan titik-titik berikutnya masing-masing 0,15 mm.

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan alat uji kekerasan Micro Hardness Tester MMT-X7 Matsuzawa dilaboratorium Pustek Akselator dan Proses Bahan PT. APB BATAN Yogyakarta.

Hasil kekerasan untuk semua spesimen sebelum dilakukan pelapisan menggunakan metode karburasi plasma dapat dilihat pada Tabel 4.1. Untuk nilai kekerasan sebelum dilakukan proses karburasi plasma rata-rata adalah 135,36 HVN. Adapun nilai kekerasan setelah di karburasi dengan variasi temperatur 300°C, 350°C, 400°C, 450°C dan 500°C pada tekanan 1,6 mbar serta waktu 3 jam mengalami peningkatan yang bervariasi seperti pada Tabel 4.2 – 4.6 di bawah ini :

Tabel 4.1. Uji kekerasan permukaan sebelum dikarburasi  
( Raw Material )

<b>NO SAMPLE UJI</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>KEKERASAN HVN</b>	<b>KEKERASAN RATA-RATA</b>
1	11.94	12.23	126.40	
2	11.43	11.50	140.30	
3	11.44	11.44	141.60	135.36
4	11.62	11.62	137.3	
5	11.88	11.88	131.20	

Tabel 4.2. Uji kekerasan permukaan dengan temperatur 300°C,  
tekanan 1,6 mbar dan waktu 3 jam

<b>NO SAMPLE UJI</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>KEKERASAN HVN</b>	<b>KEKERASAN RATA-RATA</b>
1	8.46	8.46	259.20	
2	8.28	8.28	270.40	
3	8.20	8.20	275.70	270.30
4	8.42	8.42	267.80	
5	8.16	8.16	278.40	

Tabel 4.3. Uji kekerasan permukaan dengan temperatur 350°C,  
tekanan 1,6 mbar dan waktu 3 jam

<b>NO SAMPLE UJI</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>KEKERASAN HVN</b>	<b>KEKERASAN RATA-RATA</b>
1	7.82	7.83	302.80	
2	7.81	7.81	304.00	
3	7.72	7.72	311.10	312.62
4	7.50	7.50	330.90	
5	7.69	7.69	314.30	

Tabel 4.4. Uji kekerasan permukaan dengan temperatur 400°C,  
tekanan 1,6 mbar dan waktu 3 jam

NO SAMPLE UJI	D1	D2	KEKERASAN HVN	KEKERASAN RATA-RATA
1	9.95	9.95	187.30	
2	10.52	10.52	167.70	
3	10.13	10.13	180.70	176.64
4	10.32	10.32	174.10	
5	10.32	10.32	173.40	

Tabel 4.5. Uji kekerasan permukaan dengan temperatur 450°C,  
tekanan 1,6 mbar dan waktu 3 jam

NO SAMPLE UJI	D1	D2	KEKERASAN HVN	KEKERASAN RATA-RATA
1	10.89	10.89	154.80	
2	10.54	10.54	166.90	
3	10.70	10.70	161.80	161.72
4	10.62	10.62	164.40	
5	10.74	10.74	160.70	

Tabel 4.6. Uji kekerasan permukaan dengan temperatur 500°C,  
tekanan 1,6 mbar dan waktu 3 jam

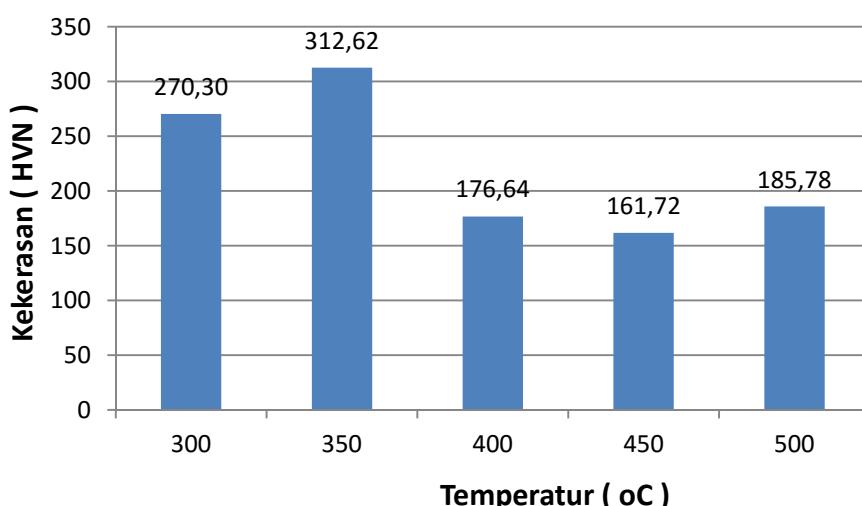
NO SAMPLE UJI	D1	D2	KEKERASAN HVN	KEKERASAN RATA-RATA
1	10.51	10.51	167.80	
2	9.93	9.94	187.80	
3	9.96	9.96	186.90	185.78
4	9.78	9.78	193.80	
5	9.80	9.80	192.60	

Berdasarkan data pengujian kekerasan vickers pada Tabel 4.1 - 4.6 di atas untuk memudahkan pembacaan trend nilai kekerasan maka dapat dibuat tabel Hubungan temperatur dengan kekerasan rata – rata untuk setiap

temperatur dan grafik hubungan antara nilai kekerasan pada sample AISI 4140 terhadap perubahan temperatur yang disajikan pada Tabel 4.7 dan Grafik 4.1 dibawah ini :

Tabel 4.7 Hubungan temperatur dengan kekerasan rata – rata  
baja AISI 4140 hasil karburasi plasma

NO	TEMPERATUR ( $^{\circ}\text{C}$ )	KEKERASAN RATA – RATA (HVN)
1	300	270,30
2	350	312,62
3	400	176,64
4	450	161,72
5	500	185,78



Grafik 4.1 Hubungan kekerasan terhadap perubahan temperatur  
baja AISI 4140 hasil karburasi plasma

Pada Grafik 4.1 dapat diketahui bahwa pada temperatur  $300^{\circ}\text{C}$ , tekanan 1.6 mbar dan waktu 3 jam diperoleh peningkatan nilai kekerasan sebesar 99,69% dari kekerasan raw material (dari 135,36 menjadi 270,30 HVN). Selanjutnya temperatur dinaikkan menjadi  $350^{\circ}\text{C}$  diperoleh nilai kekerasan optimal sebesar 312,62 HVN, dengan kata lain prosentase kenaikan kekerasan sebesar 130,95% dari kekerasan raw material (135,36 HVN). tetapi pada temperatur  $400^{\circ}\text{C}$  nilai kekerasannya cenderung menurun menjadi

176,64 HVN dan 161,72 HVN pada temperatur 450°C. Peningkatan kekerasan terjadi lagi pada temperatur 500°C sebesar 185 HVN. Dari kondisi kekerasan pada masing-masing temperatur dapat dilihat bahwa hasil kekerasan terbesar diperoleh dari temperatur 350°C, hal ini disebabkan karena pada temperatur rendah jumlah ion carbon yang masuk ke permukaan lebih sedikit dari pada jumlah ion yang masuk pada temperatur tinggi ( pori – pori semakin terbuka dengan bertambahnya temperatur ).

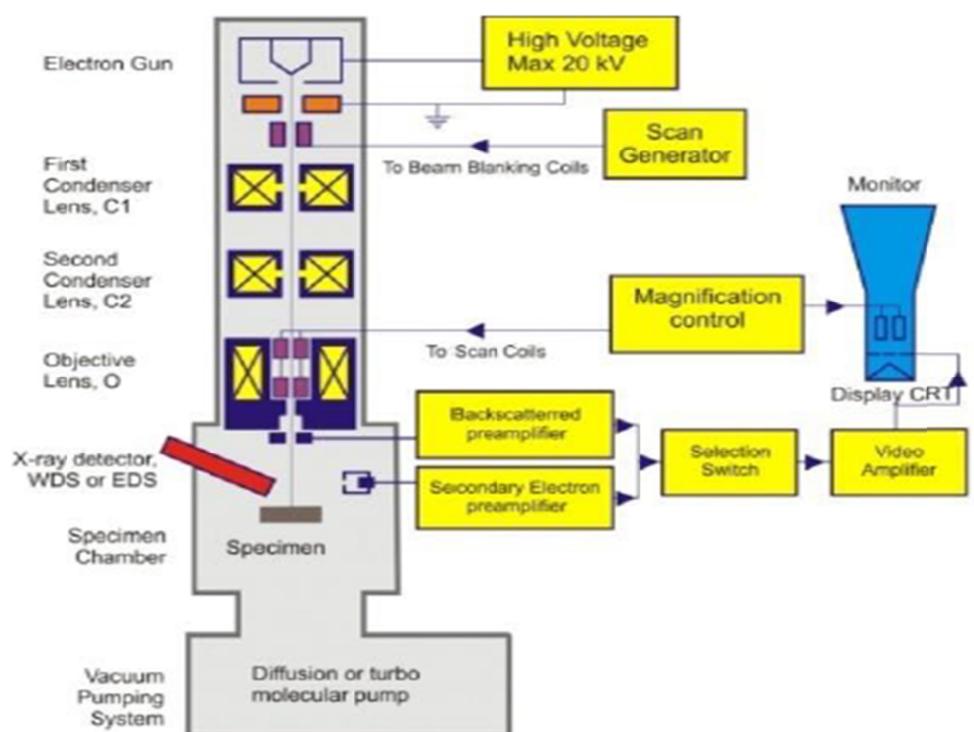
Peningkatan kekerasan pada penelitian ini tidak terlalu signifikan hal ini disebabkan karena pemilihan temperatur yang terlalu rendah, dimana pada temperatur rendah yang dominan hanyalah terbentuknya pasangan kekosongan dan sisipan atom-atom Fe dan ion-ion carbon akibat saling bertumbukan (Suprapto et al., 2010). Dari tabel 4.2 - 4.6 maupun Grafik 4.1 terlihat bahwa pada temperatur 400°C terlihat menurun, hal ini disebabkan pada temperatur rendah yang dominan hanyalah terbentuknya pasangan kekosongan dan sisipan atom-atom Fe dan ion-ion carbon akibat saling bertumbukan. Kemudian kekerasan terlihat mengalami kenaikan pada temperatur 500°C. Hal ini disebabkan pada temperatur tersebut tidak hanya tercipta pasangan kekosongan dan sisipan tetapi juga terbentuk fasa kedua dari sistem Fe-C. Ini tentunya akan memberi kontribusi yang cukup besar terhadap sifat permukaan material uji.

## 4.2 Uji Struktur Mikro SEM-EDS

Untuk mengetahui mekanisme perubahan nilai kekerasan yang terjadi pada baja AISI 4140 setelah mengalami proses karburasi maka dilakukan pengujian struktur mikro menggunakan uji SEM-EDS sehingga nantinya diperoleh data mengenai pembentukan lapisan tipis gas karbon hasil dari karburasi plasma serta kandungan unsur – unsur kimia yang ada di dalam spesimen uji.

Gambar 4.1 di bawah ini adalah skema diagram standar SEM JSM-6510LA dari fabrikan JEOL yang digunakan dalam penelitian dengan fasilitas analisis komposisi kimia berupa detektor sinar X. Komponen utama alat SEM ini pertama adalah tiga pasang lensa - lensa elektromagnetik yang berfungsi memfokuskan berkas elektron menjadi sebuah titik kecil, lalu oleh dua pasang

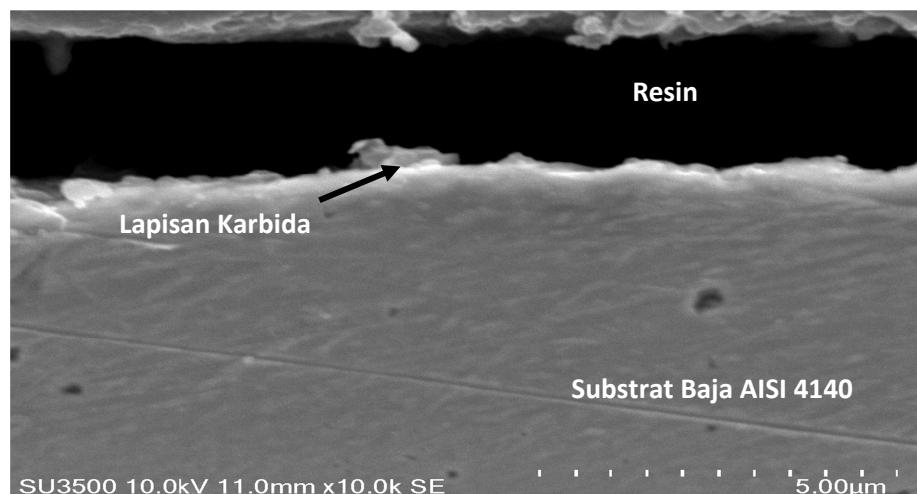
scan coil discan-kan dengan frekuensi variabel pada permukaan sampel. Semakin kecil berkas difokuskan semakin besar resolusi lateral yang dicapai. Kesalahan fisika pada lensa-lensa elektromagnetik berupa astigmatismus dikoreksi oleh perangkat stigmator. SEM tidak memiliki sistem koreksi untuk kesalahan aberasi lainnya. Yang kedua adalah sumber elektron, biasanya berupa filamen dari bahan kawat tungsten atau berupa jarum dari paduan Lantanum Hexaboride LaB<sub>6</sub> atau Cerium Hexaboride CeB<sub>6</sub>, yang dapat menyediakan berkas elektron yang teoretis memiliki energi tunggal (monokromatik). Ketiga adalah imaging detector, yang berfungsi mengubah sinyal elektron menjadi gambar/image. Sesuai dengan jenis elektronnya, terdapat dua jenis detektor dalam SEM ini, yaitu detektor SE dan detektor BSE.(Sujatno, Salam, & Dimyati Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju, 2015)



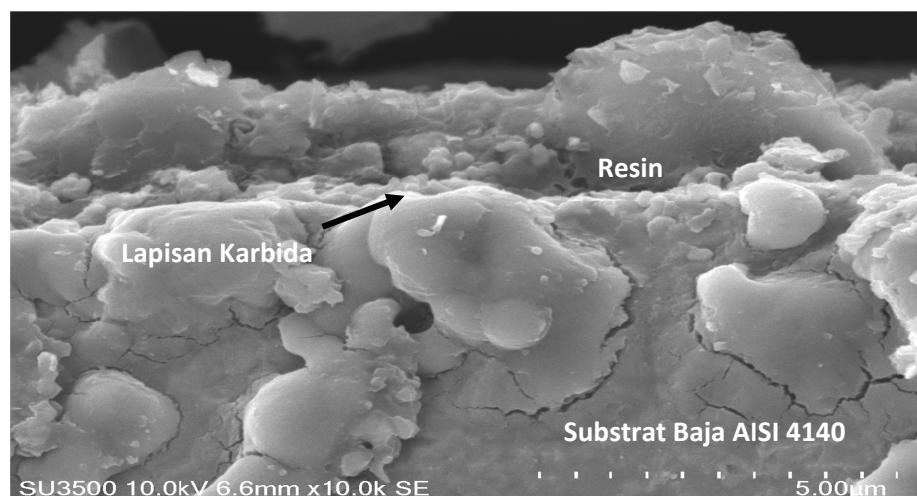
Gambar 4.1 Blok Diagram SEM

Pengujian struktur mikro bertujuan untuk mengetahui kedalaman difusi gas karbida yang dideposisikan dan perubahan struktur akibat terbentuknya lapisan hasil reaksi karburasi dengan logam induk (substrat baja). Struktur mikro setelah dikarburasi diamati pada penampang

melintangnya. Untuk pengamatan struktur mikro penampang melintangnya dilakukan sebanyak 2 kali pengamatan, yaitu pada temperatur terendah dan temperatur tertinggi. Pengamatan pertama untuk mengamati penampang melintang bahan setelah di karburasi pada temperatur 300°C dan pengamatan yang kedua untuk mengamati penampang melintang bahan setelah di karburasi pada temperatur 500°C. Hasil pengujian mikrograf SEM dari tampang-lintang spesimen baja AISI 4140 setelah di karburasi ion pada temperatur 300°C dan 500°C, tekanan gas carbon dan waktu karburasi masing-masing pada 1,6 mbar dan 3 jam ditampilkan pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 berikut ini :



Gambar 4.2 Mikrograf SEM baja AISI 4140 hasil karburasi plasma pada tekanan 1,6 mbar, waktu 3 jam dan temperatur 300°C

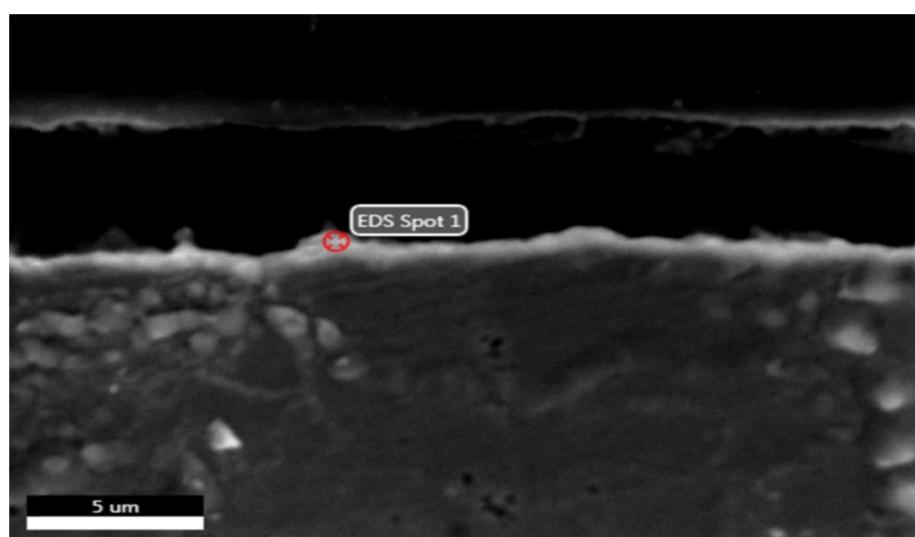


Gambar 4.3 Mikrograf SEM baja AISI 4140 hasil karburasi plasma pada tekanan 1,6 mbar, waktu 3 jam dan temperatur 500°C

Berdasarkan hasil mikrograf SEM untuk sample baja AISI 4140 yang telah mengalami proses karburasi plasma pada temperatur 300°C dan temperatur 500°C dengan perbesaran 10.000x, dapat dilihat bahwa lapisan tipis terbentuk pada substrat baja AISI 4140. Pada lapisan dengan temperatur karburasi 300°C lapisan gas karbon yang berwarna putih cerah dengan ketebalan sekitar 0,1 – 0,15  $\mu\text{m}$  dapat terlihat dengan jelas pada penampang melintang permukaan spesimen, sedangkan pada lapisan karburasi dengan temperatur 500°C lapisan gas karbon (C) hasil karburasi plasma tidak dapat terlihat dengan jelas karena ukuran ketebalannya sangat tipis serta komposisinya yang sangat sedikit.

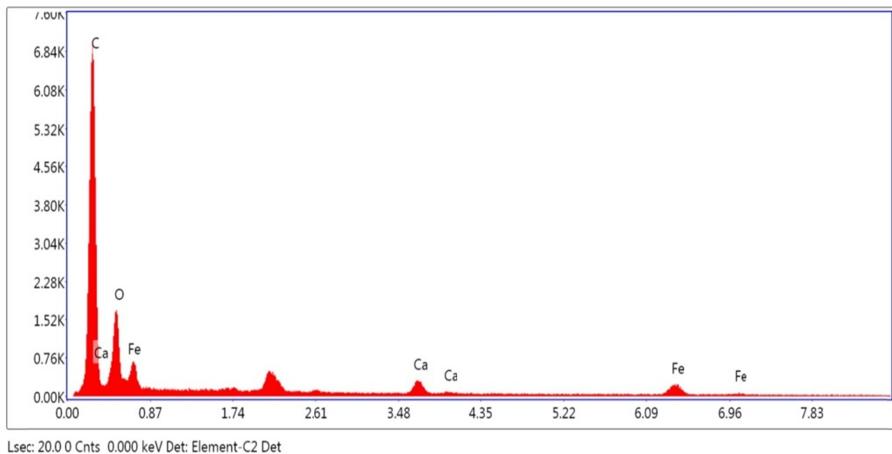
Berdasarkan Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 dapat diketahui bahwa besarnya kandungan karbon yang seharusnya dapat terdepositikan pada permukaan spesimen baja AISI 4140 ternyata tidak dapat diidentifikasi. Hal ini disebabkan oleh pengambilan titik uji yang kurang tepat pada spesimen benda uji baja AISI 4140.

Untuk mengetahui kandungan komposisi unsur kimia pada permukaan baja setelah proses karburasi plasma maka pada penelitian ini juga dilakukan pengamatan komposisi unsur menggunakan teknik SEM-EDS dengan tekanan tetap 1,6 mbar dan waktu 3 jam.



**EDS Spot 1 Titik 1**

Gambar 4.4 Mikrograf SEM-EDS baja AISI 4140  
hasil karburasi plasma temperatur 300°C titik 1



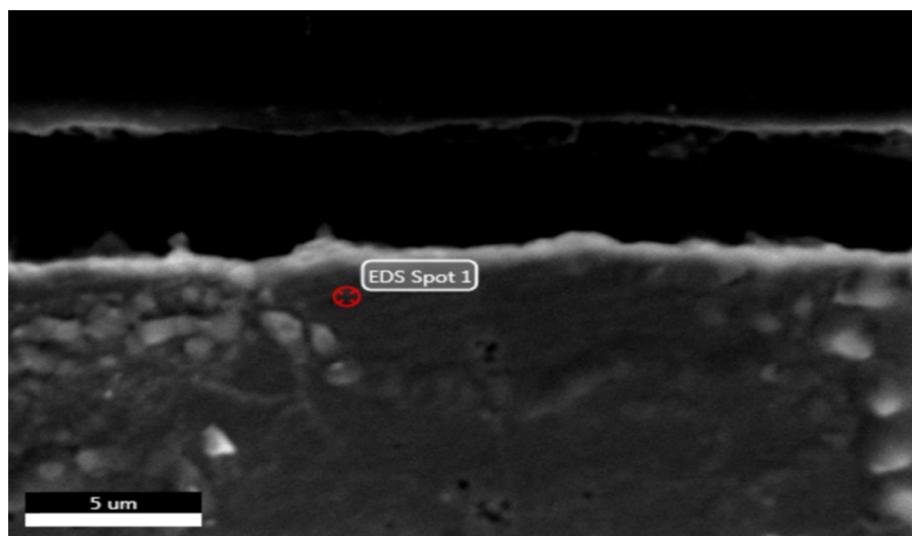
Grafik 4.2 Komposisi Unsur Kimia Hasil Mikrograf SEM-EDS  
baja AISI 4140 metode karburasi plasma temperatur 300°C titik 1,

#### eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	R	A	F
C K	56.40	72.57	2688.1	5.66	0.3715	1.0700	0.9644	0.6156	1.0000
O K	21.58	20.84	634.60	9.73	0.0627	1.0165	0.9847	0.2860	1.0000
CaK	4.47	1.72	134.81	9.70	0.0406	0.8512	1.0523	1.0076	1.0594
FeK	17.55	4.86	146.96	8.57	0.1378	0.7446	1.0525	1.0071	1.0470

Tabel 4.8 Komposisi unsur kimia hasil mikrograf SEM-EDS  
baja AISI 4140 metode karburasi plasma temperatur 300°C titik 1

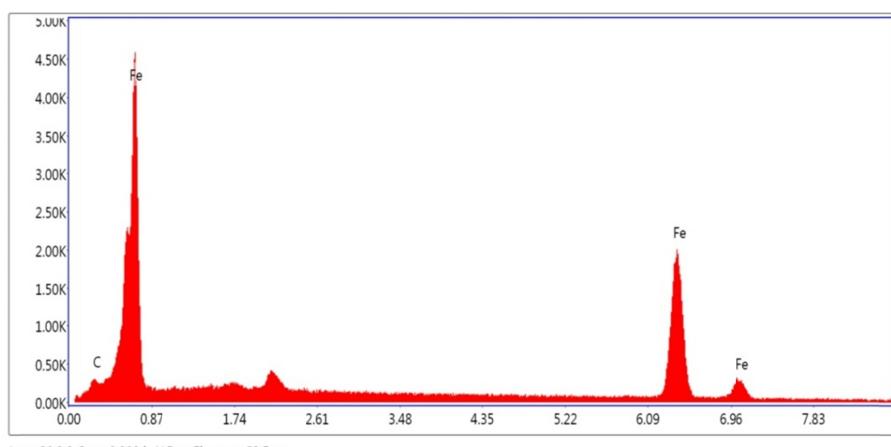
Pada Gambar 4.4 di atas pengujian EDS diposisikan pada bagian permukaan substrat tampak melintang yang menghasilkan unsur besi (Fe) dengan campuran unsur lainnya seperti karbon (C), oksigen (O) dan kalsium (Ca) seperti terlihat pada Grafik 4.2. Adapun Prosentase komposisi unsur kimia seperti yang terlihat pada tabel 4.8 didominasi oleh unsur Karbon sebesar 56,40%, dengan unsur lainnya antara lain Oksigen 21,58%, Besi 17,55% dan Kalsium 4,47%



**EDS Spot 1 Titik 2**

Gambar 4.5 Mikrograf SEM-EDS baja AISI 4140

hasil karburasi plasma temperatur 300°C titik 2



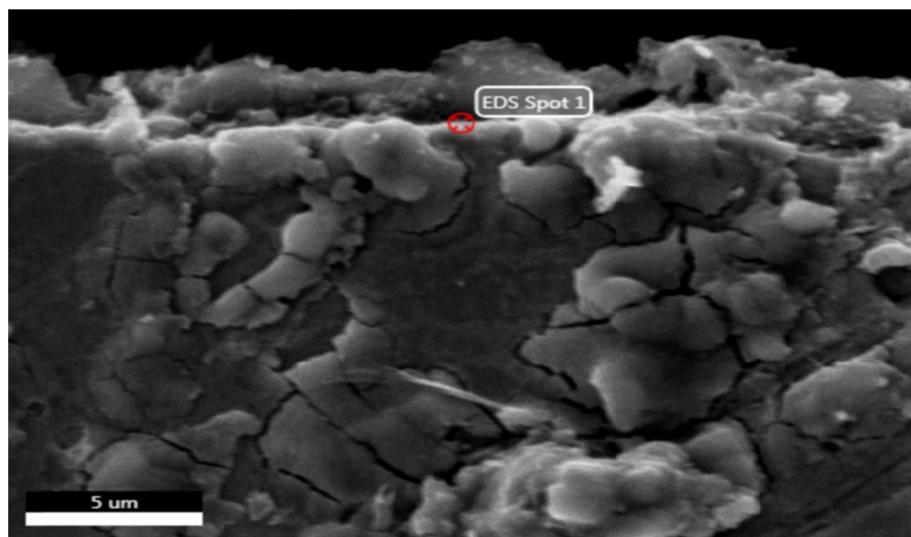
Grafik 4.3 Komposisi Unsur Kimia Hasil Mikrograf SEM-EDS  
baja AISI 4140 metode karburasi plasma temperatur 300°C titik 2,

#### eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	R	A	F
C K	5.24	20.45	203.94	10.68	0.0204	1.3482	0.8477	0.2887	1.0000
FeK	94.76	79.55	1399.44	3.84	0.9496	0.9773	1.0048	1.0008	1.0245

Tabel 4.9 Komposisi unsur kimia hasil mikrograf SEM-EDS  
baja AISI 4140 metode karburasi plasma temperatur 300°C titik 2

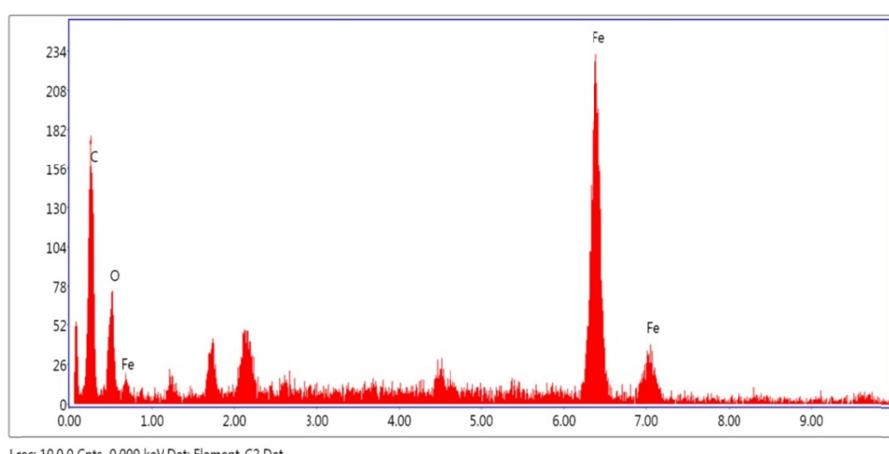
Pada Gambar 4.5 uji EDS diambil pada bagian substrat agak ke dalam dari jarak permukaan. Hasil komposisi kimia menunjukkan unsur terkandung adalah unsur besi (Fe) dengan campuran logam oksigen (O) seperti terlihat pada Grafik 4.3. Adapun Prosentase komposisi unsur kimia seperti yang terlihat pada tabel 4.9 didominasi oleh unsur Besi sebesar 94,76%, dengan tambahan unsur Karbon sebesar 5,24%.



**EDS Spot 2 Titik 1**

Gambar 4.6 Mikrograf SEM-EDS baja AISI 4140

hasil karburasi plasma temperatur 500°C titik 1



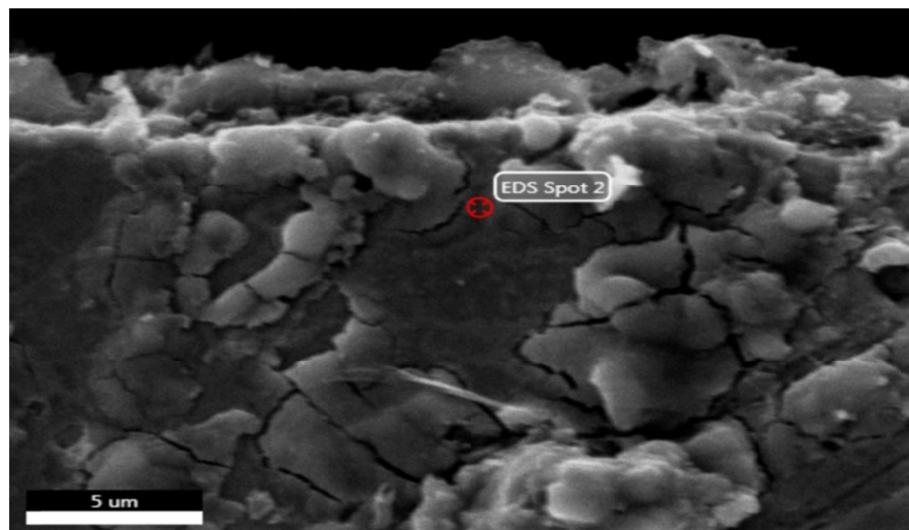
Grafik 4.4 Komposisi Unsur Kimia Hasil Mikrograf SEM-EDS  
baja AISI 4140 metode karburasi plasma temperatur 500°C titik 1

### **eZAF Smart Quant Results**

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	R	A	F
C K	20.85	52.03	134.42	11.42	0.0763	1.2449	0.8794	0.2940	1.0000
O K	4.09	7.67	51.84	14.52	0.0192	1.1908	0.9040	0.3942	1.0000
FeK	75.06	40.30	303.76	5.29	0.7021	0.9077	1.0249	1.0043	1.0260

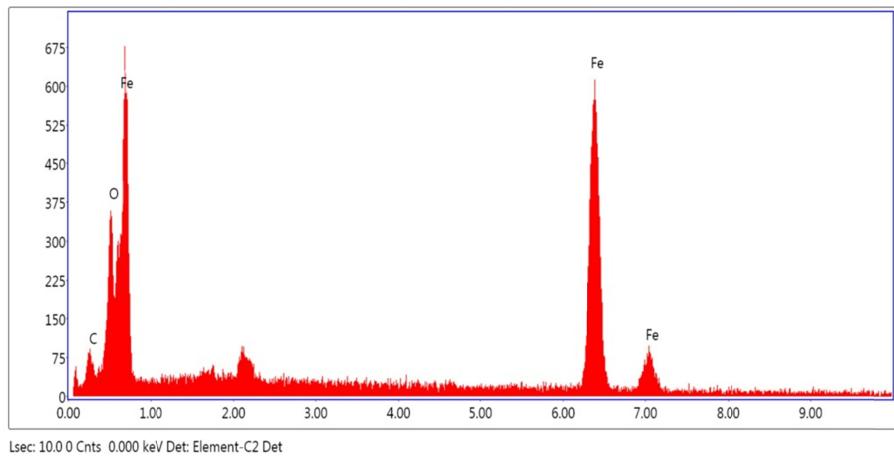
Tabel 4.10 Komposisi unsur kimia hasil mikrograf SEM-EDS  
baja AISI 4140 metode karburasi plasma temperatur 500°C titik 1

Pada Gambar 4.6 lokasi uji EDS diarahkan pada bagian resin, dari hasil komposisi unsurnya dapat dilihat bahwa lapisan terdiri dari campuran besi (Fe) dengan unsur kimia seperti karbon ( C ) dan Oksigen (O) seperti terlihat pada Grafik 4.4. Adapun Prosentase komposisi unsur kimia seperti yang terlihat pada tabel 4.10 didominasi oleh unsur Besi sebesar 75,06%, dengan unsur lainnya seperti Karbon 20,85%, dan Oksigen 4,09%



**EDS Spot 2 Titik 2**

Gambar 4.7 Mikrograf SEM-EDS baja AISI 4140  
hasil karburasi plasma temperatur 500°C titik 2



Grafik 4.5 Komposisi Unsur Kimia Hasil Mikrograf SEM-EDS

baja AISI 4140 metode karburasi plasma temperatur 500°C titik 2

#### eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	R	A	F
C K	6.96	22.42	96.94	13.05	0.0237	1.2938	0.8609	0.2630	1.0000
O K	7.60	18.39	296.66	8.41	0.0473	1.2381	0.8859	0.5027	1.0000
FeK	85.44	59.19	836.15	3.84	0.8320	0.9476	1.0145	1.0024	1.0252

Tabel 4.11 Komposisi unsur kimia hasil mikrograf SEM-EDS  
baja AISI 4140 metode karburasi plasma temperatur 500°C titik 2

Sedangkan pada Gambar 4.7 dimana lokasi uji ditempatkan pada bagian melintang substrat agak ke dalam menghasilkan komposisi kimia seperti unsur besi (Fe) sebagai unsur utama dengan unsur karbon (C) dan oksigen (O) sebagai unsur tambahannya seperti terlihat pada Grafik 4.5. Adapun Persentase komposisi unsur kimia seperti yang terlihat pada tabel 4.11 didominasi oleh unsur Besi sebesar 85,44%, dengan unsur lainnya seperti Karbon 6,96%, dan Oksigen 7,60%

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

- Pengujian kekerasan vickers pada spesimen hasil metode karburasi plasma di atas diperoleh peningkatan nilai kekerasan ( HVN ) dibandingkan dengan sebelum karburasi (raw material). Kekerasan maksimal diperoleh pada temperatur 350°C dengan nilai 312,62 HVN dengan prosentase kenaikan 130,95% dari kekerasan raw material (135,36 HVN).
- Pengujian struktur mikro menggunakan SEM menghasilkan lapisan tipis yang terlihat di bagian luar permukaan. Namun demikian unsur karbon tidak dapat diidentifikasi dengan jelas karena sangat sedikit.
- Komposisi unsur kimia hasil Mikrograf SEM-EDS baja AISI 4140 metode karburasi plasma dengan variasi temperatur, tekanan 1,6 mbar dan waktu 3 jam pada bagian permukaan spesimen diperoleh unsur kimia utama Karbon (C) dengan tambahan unsur kimia lainnya, sedang untuk bagian dalam substrat baja AISI 4140 diperoleh unsur utama Besi (Fe) dengan tambahan unsur kimia lainnya.

#### **5.2 Saran**

- Sebaiknya dilakukan uji kekerasan dengan melanjutkan temperatur di atas 500°C agar dihasilkan trend grafik nilai kekerasan yang pasti
- Perlu ditambahkan unsur karbon agar ketika dilakukan uji struktur mikro SEM ( *Scanning Elektron Microscope* ) dan uji spektrum EDS ( *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* ) lapisan karbon dapat terlihat dengan jelas.

## DAFTAR PUSTAKA

- Achyarsyah, M., & Hidayat, E. Analisis Sifat Mekanik Pada Material Aisi 4140 Dan Creusabro 8000 Untuk Aplikasi Gigi Bucket Produksi Pt. Polman Swadaya, 01 § (2014).
- Adachi, S., & Ueda, N. (2013). Surface hardness improvement of plasma-sprayed AISI 316L stainless steel coating by low-temperature plasma carburizing. *Advanced Powder Technology*, 24(5), 818–823. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2012.12.011>
- Bottoli, F., Jellesen, M. S., Christiansen, T. L., Winther, G., & Somers, M. A. J. (2018). High temperature solution-nitriding and low-temperature nitriding of AISI 316: Effect on pitting potential and crevice corrosion performance. *Applied Surface Science*, 431, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.06.094>
- Dalke, A., Burlacov, I., Spies, H., & Biermann, H. (2018). Use of a solid carbon precursor for DC plasma nitrocarburizing of AISI 4140 steel. *Vaccum*, 149, 146–149. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2017.12.033>
- Flis-Kabulská, I., Sun, Y., Zakroczymski, T., & Flis, J. (2016). Plasma carburizing for improvement of Ni-Fe cathodes for alkaline water electrolysis. *Electrochimica Acta*, 220, 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2016.10.084>
- Hamzah, M. S., & Iqbal, M. (2008). Peningkatan Ketahanan Aus Baja Karbon Rendah Dengan Metode Carburizing, 6(3), 169–175.
- Irwan, Y. (n.d.). Meningkatkan kekerasan permukaan sparepart lokal kendaraan bermotor dengan cara Karburasi Cair Karburasi.
- Karakan, M., Alsaran, A., & Çelik, A. (2004). Effect of process time on structural and tribological properties of ferritic plasma nitrocarburized AISI 4140 steel. *Materials and Design*, 25(4), 349–353. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2003.10.017>
- Kovaci, H., Yetim, A. F., Baran, O., & Çelik, A. (2016). Fatigue crack growth analysis of plasma nitrided AISI 4140 low-alloy steel: Part 1-constant amplitude loading. *Materials Science and Engineering A*, 672, 257–264. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2016.07.002>
- Li, S., & Manory, R. R. (1995). Effect of gas inlet positions on plasma carburizing of AISI 1020 steel. *Surface and Coatings Technology*, 71(2), 108–111. [https://doi.org/10.1016/0257-8972\(94\)01008-7](https://doi.org/10.1016/0257-8972(94)01008-7)
- Li, W., Li, X., & Dong, H. (2011). Effect of tensile stress on the formation of S-phase during low-temperature plasma carburizing of 316L foil. *Acta Materialia*, 59(14), 5765–5774. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2011.05.053>
- Li, Y., Wang, L., Zhang, D., & Shen, L. (2010). The effect of surface nanocrystallization on plasma nitriding behaviour of AISI 4140 steel. *Applied Surface Science*, 257(3), 979–984. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2010.08.004>
- Lv, L., Fu, L., Ahmad, S., & Shan, A. (2017). Effect of heavy warm rolling on microstructures and mechanical properties of AISI 4140 steel. *Materials Science and Engineering A*, 704, 469–479. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2017.07.089>

- Pan, X., Shi, C., Zhang, J., Jia, L., & Chong, L. (2018). Effect of inorganic surface treatment on surface hardness and carbonation of cement-based materials. *Cement and Concrete Composites*, 90, 218–224. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.03.026>
- Raveh, A., Rubinshtein, A., Weiss, M., Mintz, M. H., Klemburg-Sapieha, J. E., & Martinu, L. (2004). Ta-C micro-composite material formed by heat treatment of plasma carburized layer. *Thin Solid Films*, 466(1–2), 151–157. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2004.03.017>
- Scheuer, C. J., Cardoso, R. P., Mafra, M., & Brunatto, S. F. (2013). AISI 420 martensitic stainless steel low-temperature plasma assisted carburizing kinetics. *Surface and Coatings Technology*, 214, 30–37. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.10.060>
- Semboshi, S., Iwase, A., & Takasugi, T. (2015). Surface hardening of age-hardenable Cu-Ti alloy by plasma carburization. *Surface and Coatings Technology*, 283, 262–267. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.11.003>
- Sengül, A. B., & Çelik, A. (2011). Effect of plasma nitriding on fatigue crack growth on AISI 4140 steel under variable amplitude loading. *Surface and Coatings Technology*, 205(21–22), 5172–5177. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2011.05.027>
- Setiadi, H., Studi, P., Teknik, M., Pascasarjana, S., & Surakarta, U. M. (2018). Analisis Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Lapisan Ni Cr - Al yang dibentuk dengan Metode Sputtering pada Baja ST 40.
- Setiyana, B. (2008). Pengaruh teknologi sistem plasma lucutan pijar terhadap tingkat pengerasan permukaan logam. *Momentum*.
- SHI, Q., Roux, S., Latourte, F., Hild, F., Loisnard, D., & Brynaert, N. (2018). On the use of SEM correlative tools for in situ mechanical tests. *Ultramicroscopy*, 184, 71–87. <https://doi.org/10.1016/j.ultramic.2017.08.005>
- Souza, R. M., Ignat, M., Pinedo, C. E., & Tschiptschin, A. P. (2009). Structure and properties of low temperature plasma carburized austenitic stainless steels. *Surface and Coatings Technology*, 204(6–7), 1102–1105. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2009.04.033>
- Standards, A. I. A. B. of A., & Conshohocken, PA, U. S. (2003). Characterization of SiC p / Al Composites. *Annual Book of ASTM Standards, 3 [1] (2003) ASTM International, West Conshohocken, PA, United States.*, 61–88.
- Suh, B. S., & Lee, W. J. (1997). Surface hardening of AISI 316L stainless steel using plasma carburizing. *Thin Solid Films*, 295, 185–192. [https://doi.org/10.1016/S0040-6090\(96\)09284-X](https://doi.org/10.1016/S0040-6090(96)09284-X)
- Sujatno, A., Salam, R., & Dimyati Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju, A. (2015). Studi Scanning Electron Microscopy (Sem) Untuk Karakterisasi Proses Oxidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir (JFN)*, 9(2), 44–50.
- Sun, Y. (2009). Response of cast austenitic stainless steel to low temperature plasma carburizing. *Materials and Design*, 30(4), 1377–1380. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.07.005>
- Suprapto, Sudjatmoko, & Sujitno, T. (2010). Pengaruh nitridasi plasma terhadap kekerasan aisi 304 dan baja karbon rendah. *J. Iptek Nuklir Ganendra Vol. 13 No. 2 Juli 2010: 93-100*, 13(2), 93–100.
- Suryanto, H. (2016). Pengaruh Suhu Karburasi Terhadap Ketebalan, Kekerasan dan Struktur Mikro Lapisan Karburasi Baja ST 37, (Augustus 2007).
- Tarwijayanto, D., Purwo Raharjo, W., & Triyono, T. (2013). Pengaruh Arus dan

- Waktu Pelapisan Hard Chrome Terhadap Ketebalan Lapisan dan Tingkat Kekerasan Mikro Pada Plat Baja Karbon Rendah AISI 1026 dengan Menggunakan CrO<sub>3</sub> 250gr/lt dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2,5 gr/lt pada Proses Elektroplating. *Mekanika*, 11(Dc), 109–115. Retrieved from <http://jurnal.ft.uns.ac.id/index.php/mekanika/article/viewFile/136/129>
- Wang, E., Yang, H., & Wang, L. (2017). The thicker compound layer formed by different NH<sub>3</sub>-N<sub>2</sub>mixtures for plasma nitriding AISI 5140 steel. *Journal of Alloys and Compounds*, 725, 1320–1323. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.07.281>
- Yang, Y., Yan, M. F., Zhang, Y. X., Zhang, C. S., & Wang, X. A. (2016). Self-lubricating and anti-corrosion amorphous carbon/Fe<sub>3</sub>C composite coating on M50NiL steel by low temperature plasma carburizing. *Surface and Coatings Technology*, 304, 142–149. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.06.078>
- Yang Yang,a,b, M.F. Yana,• , S.D. Zhang,a, J.H. Guoa, S.S. Jiang,a, D.Y. Lib, • . (2018). Diffusion behavior of carbon and its hardening effect on plasma carburized M50NiL steel: Influences of treatment temperature and duration. *Surface & Coatings Technology*, 333, 96–103.

## **LAMPIRAN**

Assignments  
Students  
Grade Book  
Libraries  
Calendar  
Discussion  
Preferences  
[About this page](#)

This is your assignment inbox. To view a paper, select the paper's title. To view a Similarity Report, select the paper's Similarity Report icon in the similarity column. A ghosted icon indicates that the Similarity Report has not yet been generated.

## Muhammad Fauzan

### Inbox | Now Viewing: new papers ▾

[Submit File Online](#) [Grading Report](#) | [Edit assignment settings](#) | [Email non-submitters](#)

Delete	Download	move to...	Author	Title	Similarity	web	publication	student papers	Grade	response	File	Paper ID	Date
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Muhammad Fauzan	Bab 3	9% 9%	9%	2%	5%			download paper	1015687620	08-Oct-2018
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Muhammad Fauzan	Bab 4	20% 20%	20%	2%	8%			download paper	1015698731	08-Oct-2018
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Muhammad Fauzan	Bab 1	23% 23%	21%	7%	8%			download paper	1015684977	08-Oct-2018
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Muhammad Fauzan	Bab 2	32% 32%	32%	0%	13%			download paper	1015686047	08-Oct-2018

16 OCT 2018  
Muhammad Fauzan