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

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.100.16.0021

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2018

HALAMAN PERSETUJUAN

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

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh

Muhammad Fauzan

NIM. U.100.16.0021

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Pembimbing I	Pembimbing II
Tri Widodo Besar Riyadi, M.Sc, Ph.D.	**Dr. Supriyono**

HALAMAN PENGESAHAN

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

Oleh

Muhammad Fauzan
NIM. U.100.16.0021

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Program Studi Magister Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Senin, 22 Oktober 2018
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji :

1. **Tri Widodo Besar Riyadi, M.Sc., Ph.D.** ( )
   (Ketua Dewan Penguji)

2. **Dr Supriyono** ( )
   (Anggota I Dewan Penguji)

3. **Agus Dwi Anggono, M.Eng., P.hD** ( )
   (Anggota II Dewan Penguji)

Direktur Sekolah Pascasarjana

Prof. Dr. Bambang Sumardjoko

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu 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 kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 22 Oktober 2018

Membuat Pernyataan



Muhammad Fauzan
NIM. U.100.16.0021

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 Vikers 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 suhu dari suhu 300^{o}C, 350^{o}C, 400^{o}C, 450^{o}C dan 500^{o}C dimana tekanan yang diberikan sebesar 1,6 mbar dengan waktu selama 10 detik. Dari pengujian setelah mengalami pemanasan, besarnya nilai kekerasan yang optimum diperoleh pada suhu 350 oC 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 maka akan terjadi penumpukan atom karbon pada permukaan specimen. Hasil uji SEM menunjukkan adanya lapisan sangat tipis yang tidak dapat diidentifikasi yang dapat terdeposisikan pada permukaan baja AISI 4140, sedangkan dari hasil uji EDX 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 Vikers 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^{o}C, 350^{o}C, 400^{o}C, 450^{o}C and 500^{o}C where the pressure is given at 1.6 mbar with a time of 10 seconds. From the test after experiencing heating, the optimum hardness value obtained at a temperature of 350 oC 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 EDX 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*

1. Pendahuluan

Kerusakan sebuah elemen umumnya disebabkan oleh umur pemakaian yang berlebih, sehingga mengakibatkan kegagalan mekanis [1].

Unsur logam termasuk penyumbang terbanyak pembuatan komponen – komponen mesin, salah satunya adalah baja tahan karat / *Stainless Steel* (SS) [2]. Baja AISI 4140 mempunyai komposisi kimia seperti 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 %) dan S (≤0.04 %) [3]

Baja AISI 4140 mempunyai tekstur ultrafine dengan kekuatan ultrahigh dimana rasio keuletannya rendah [4] Ketahanan Baja tahan karat / stainless steel terhadap korosi dapat ditambah dengan penambahan unsur seperti Cr, Mo dan N [5]. Surface *treatment* bertujuan untuk meningkatkan kualitas permukaan suatu material. Metode untuk meningkatkan kualitas permukaan dapat ditempuh melalui dua cara yaitu dengan menambahkan unsur atau mengubah komposisi kimia (seperti C, N, TiN, TiC maupun WC), dan dengan mengubah struktur kristalnya kemudian dilanjutkan dengan pendinginan. Perlakuan permukaan dengan menambahkan unsur lain terbagi menjadi dua cara yaitu konvensional dan modern, cara konvensional seperti nitridasi, karburisi dan karbonitridasi sedangkan cara modern adalah teknik laser, implantasi ion dan plasma lucutan pijar [6]. Proses karburisasi berpengaruh dalam meningkatkan ketahana korosi, karena jumlah oksida yang dihasilkan jauh lebih kecil dari pada yang tidak diolah [7].

1.1. Tinjauan Pustaka

Saat ini perkembangan teknologi pelapisan permukaan (*surface treatment*) logam banyak memberikan kontribusi signifikan terhadap laju pertumbuhan industri. Pelapisan logam adalah metode finishing yang banyak dipakai agar terhindar dari korosi. Proses *surface treatment* dilakukan dengan metode termokimia yang merupakan metode pengerasan permukaan dengan mendifusikan atom-atom tertentu ke dalam permukaan material [8]. Perawatan permukaan diklasifikasikan menjadi dua kelompok menurut komposisi kimia : perawatan anorganik dan organik. [9].

Suryanto, dalam mengaplikasikan karburari padat menunjukkan kekerasan raw material 130 kg/mm2. Setelah melalui pengerasan, kekerasan permukaan hasil karburasi suhu 850°C, 900°C, 950°C adalah

535, 817, dan 861 kg/mm2 [10]. Pengujian keausan juga menunjukkan semakin tinggi temperatur proses carburizing menghasilkan ketahanan aus lebih baik pada temperatur 950^{o}C dilanjutkan dengan proses pengerasan pada temperatur 840^{o}C memberikan peningkatan ketahanan aus tertinggi sebesar 83,6% [11]. Penelitian karburasi plasma yang dilakukan *Adachi dkk* juga meningkatkan kekerasan permukaan dan ketahanan aus baja austenit AISI 316L dengan suhu rendah [12]

Yang dkk 2016, menjelaskan karburasi plasma pada temperatur rendah (550 °C) memiliki ketahanan aus yang baik dan ketahanan korosi rendah yang dibentuk selama 4 jam. Lapisan karbida pada permukaan baja M50NiL yang mengandung lapisan komposit karbon diperoleh 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. [13]. Menurut *Yang dkk 2018*, penelitian karburisasi plasma yang mengandung cementite dengan suhu 500 dan 550 ° C menunjukkan lapisan permukaan dengan kekasaran permukaan lebih rendah (Ra 22.9 nm), kekerasan permukaan lebih tinggi (12.377 GPa) serta tingkat keausan lebih rendah (2,43 × 10−6 mm3 · N − 1 · m − 1) dari pada sementit-bebas lapisan carburized. [14].

Penelitian Plasma DC Nitro Karburasi pada baja AISI 4140 pernah di lakukan oleh *Dalke 2018,* dimana hasil pelapisan permukaan memberikan peningkatan konsentrasi karbon dalam lapisan majemuk dengan meningkatkan kepadatan daya plasma baru dari nitrokarburasi plasma karbon sumber solid (SCS-PNC) dibandingkan dengan plasma nitriding DC konvensional (PN) dan plasma nitrokarburasi (PNC) [15]. Lapisan karburisasi yang dilakukan *Sun, Y. 2009,* pengaruh karburisasi plasma dari cast austenitic stainless steel untuk suhu rendah adalah pengendapan bebas dan memiliki kekerasan tinggi dengan konsentrasi karbon yang menguntungkan dan gradien kekerasan dan korosi yang jauh lebih baik resistensi dalam solusi yang diuji [16].

Menurut *Souza, R. M. dkk* 2009, Karburisasi plasma AISI 316L dilakukan pada 480 ° C dan 400 ° C, selama 20 jam, menggunakan CH4 sebagai gas pembawa karbon menunjukkan karbon berkembang austenit (γC), 20 μm secara mendalam, terbentuk di permukaan setelah perlakuan 480 ° C. Karbon berkembang austenit (γC), 8 μm secara mendalam, terbentuk di permukaan setelah perawatan 400 ° C. [17] *Semboshi, S. dkk 2015*, menyimpulkan bahwa karburisasi plasma adalah metode yang menjanjikan untuk memperbaiki sifat permukaan paduan cair Cu-Ti yang dikeraskan. [18]

Metode karburasi plasma dari AISI 316L selama 90 menit pada 800 ° C, 600 V, 2 Tort dan 25% rasio CH4 / (CH 4 -'k H2), diperoleh hasil karburasi seragam dengan permukaan kekerasan di atas 735 HV50g dan pengerasan yang efektif dengan kedalaman di atas 40 ~ m [19]. Menurut *Scheuer, C. J. Dkk 2013*, menunjukkan bahwa karburisasi plasma pada suhu rendah adalah proses terkontrol difusi. Energi aktivasi yang dihitung untuk pertumbuhan lapisan luar dan difusi masing-masing adalah 29 dan 85 kJ mol − 1 [20].

1.2. Material AISI 4140

Achyarsyah, dkk, menjelaskan menurut komposisi kimia baja AISI 4140 tergolong dalam jenis baja *chromium- molybdenum steel*. [3]. Sifat struktural, mekanik dan tribological yang diteliti pada baja AISI 4140 proses nitrocarburizing oleh *Karakan dkk 2004,* meningkatkan kekerasan permukaan, kekasaran dan koefisien gesekan. [21].

1.3. Konsep Dasar Plasma

Tahun 1928, Irving Langmuir dan Tonks, membuat konsep tentang plasma. Plasma adalah gas terionisasi yang mempunyai sifat fisis seperti halnya benda padat, cair dan gas. Jika temperatur gas dinaikkan maka atom-atom gas akan terionisasi, selanjutnya gas akan melepaskan elektron-elektron yang mengelilingi inti. Pencampuran antara ion-ion positif dan elektron-elektron negatif mempunyai sifat-

sifat yang sangat berbeda dengan gas pada umumnya, 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 [22]. Dalam lingkungan plasma, karbon ditransfer ke bahan logam, kemudian menembus ke dalam oleh difusi, yang mengarah ke pembentukan lapisan yang dimodifikasi [23].

1.4. Plasma Lucutan Pijar DC

Menurut *Hari Setiadi, 2018*, plasma lucutan pijar dibentuk menggunakan elektroda di dalam ruangan yang berisi udara bebas dengan tekanan afmosfer. Tahap pertama adalah terjadinya ionisasi yang menghasilkan electron yang berasal dari ionisasi gas oleh 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. Ion-ion akan ditarik ke katoda karena adanya medan listrik dan akhirnya akan menumbuk katoda. Proses ini disertai dengan keluarnya lucutan pijar sehingga disebut plasma lucutan pijar [2].

1.5. Plasma Karburasi

Karburasi adalah proses penambahan unsur karbon pada permukaan logam dengan metode difusi. Proses karburasi dilakukan pada baja karbon rendah yang memiliki kelenturan tinggi dan sifat daktilitas. [24]. Karburasi plasma merupakan proses termokimia yang dibantu dengan pemanasan. Kehadiran plasma dingin meningkatkan transfer massa karbon menuju benda kerja, sedangkan difusi karbon di

dalam baja terjadi seperti pada proses difusi konvensional [25]. Karburisasi plasma suhu rendah baja tahan karat austenit menghasilkan lapisan pada permukaan yang memiliki kekerasan tinggi, keausan yang sangat baik, sifat kelelahan dan ketahanan korosi yang baik [26]. Karburisasi plasma adalah teknik yang cocok untuk mengendalikan ketebalan lapisan karburisasi (f1 Am/h) dibandingkan dengan metode carburizing tingkat tinggi lainnya (f10 Am/jam) [27].

1.6. Pengujian Vickers

Pengujian kekerasan dengan metode Vickers bertujuan menentukan kekerasan suatu material. Angka kekerasan Vickers (HV) 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°/2). Rumus untuk menentukan nilai kekerasan dengan metode vikers yaitu :

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

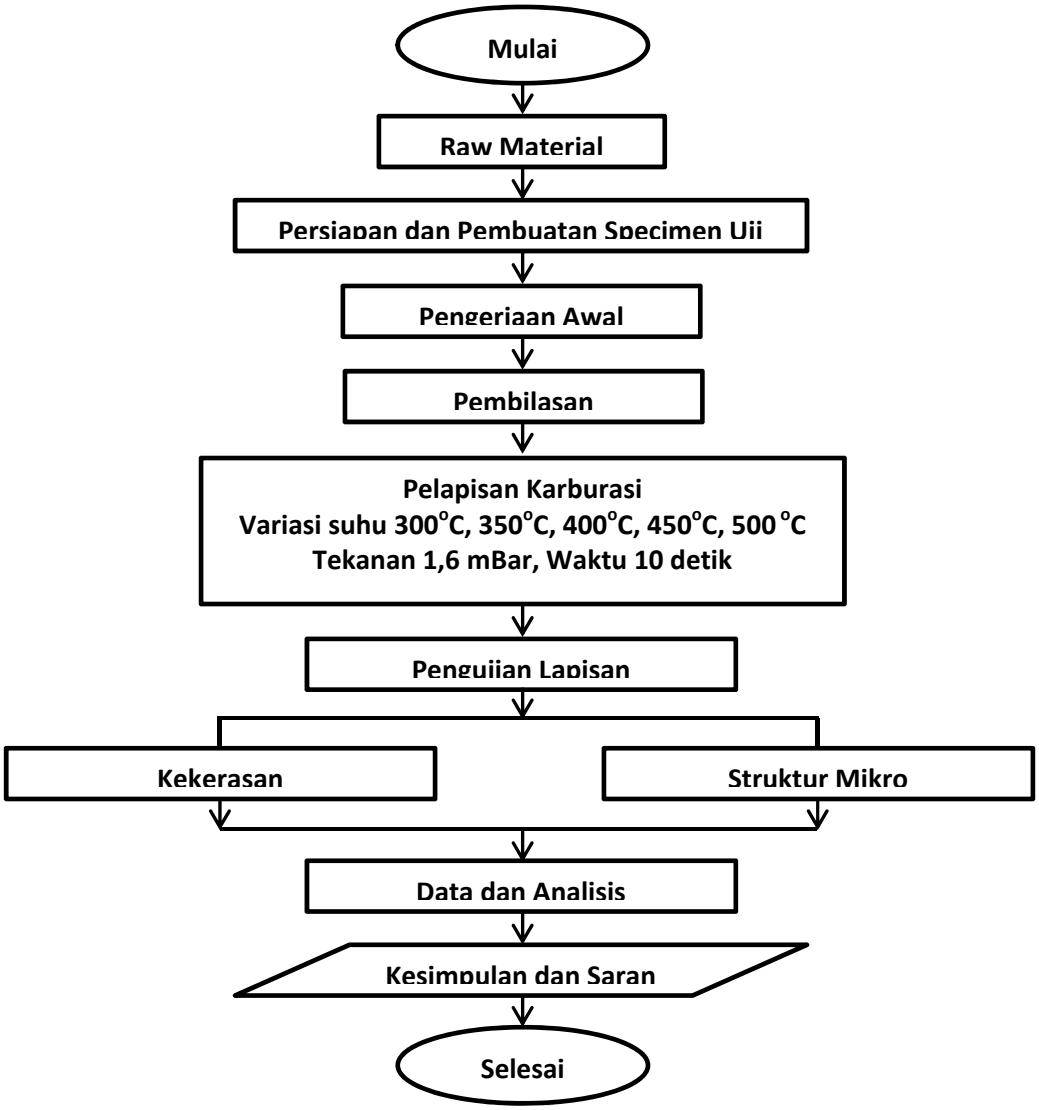
Dimana,

VHN = Angka kekerasan Vickers
P = Beban (kgf)
d = diagonal (mm)

1.7. Struktur Mikro

Struktur mikro adalah gambaran dari kumpulan fasa-fasa yang dapat diamati melalui teknik metalografi. Struktur mikro dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop. Perubahan struktur mikro yang sudah dilapisi unsur kimia mempengaruhi sifat material seperti kekerasan permukaan, ketahanan korosi dan sebagainya [28]. Perubahan sub struktur dan struktur mikro dapat menyebabkan nukleasi kerusakan permanen, penciptaan retakan mikroskopis pada komponen logam [29].

2. Metodologi Penelitian



2.1. Preparasi Sample Baja AISI 4140

Siapkan 2 (dua) sample Baja Stainless steel AISI 4140, potong dengan ukuran diameter 3,4 cm dan panjang 19,1 cm. Sample selanjutnya dibubut dan dipotong kembali dengan ukuran diameter 1,4 cm dan tebal 0,4 cm. Selanjutnya dilakukan pemolesan dengan menggunakan amplas dari ukuran kasar sampai ukuran paling halus. Hasil pemolesan dibuat 30 sample untuk proses plasma *karburasi.* Tahapan pemolesan menggunakan amplas dengan ukuran 120, 600, 1000, 2000 dan 5000 mesh, untuk finishing menggunakan kain bludru. Sebelum sample di treatment dicuci terlebih dahulu menggunakan alat

ultrasonic cleaner. Setelah pencucian, langkah selanjutnya adalah pengujian kekerasan vickers dan struktur mikro XRD:

2.2. Metode Pembentukan Lapisan Tipis

Pembentukan lapisan tipis pada permukaan menggunakan metode plasma karburasi dapat diuraikan sebagai berikut : Spesimen uji dimasukkan ke dalam kotak baja dan diisi media karburasi, Kotak baja ditutup rapat kemudian dimasukan dalam dapur pemanas (*electric furnace*), dipanaskan dengan variasi temperatur mulai dari suhu 300^{o}C sampai suhu 500^{o}C selama 10 detik. Langkah selanjutnya kotak baja dikeluarkan dari dapur pemanas (*furnance*), kemudian spesimen dikeluarkan dari kotak baja dan didinginkan di udara.

2.3. Proses Pengujian *Vickers*

Uji kekerasan *vickers* dilakukan di Laboratorium Fisika Partikel PSTA-BATAN Yogyakarta. Untuk mengetahui perubahan kekerasan hasil 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 10 detik. 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..

2.4. Proses Pengujian Uji SEM/EDX

Sample dianalisis menggunakan Analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM) yang dilengkapi dengan *Energy Dispersive X-Ray* (EDX) 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 [30]

2.5. Analisis Data

Data hasil proses plasma karburasi dengan variasi suhu dimana tekanan dan waktu konstan pada ruang plasma yang optimal mempengaruhi kondisi optimum 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 diketahui perbedaan dari pengujian kekerasan, dan dilakukan pengambilan foto struktur mikro permukaan serta komposisi SEM/EDX.

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1. Pengujian Kekerasan Mikro *Vickers*

Proses pengujian kekerasan ini dilakukan pada bahan sebelum dan sesudah karburasi plasma, dengan menggunakan tekanan tetap dan waktu 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 μm dan waktu pembebanan 10 detik. Pengukuran ini dimulai dari sisi terluar dengan jarak 10 mm kemudian jarak antara titik 2 dengan titik-titik berikutnya masing-masing 0,15 mm.

Hasil kekerasan specimen untuk semua uji kekerasan dapat dilihat pada Tabel 4.1.-4.6. Untuk nilai kekerasan sebelum dilakukan proses karburasi plasma rata-rata adalah 135,36 HVN. Adapun nilai

kekerasan setelah di karburasi dengan variasi suhu 300^{o}C, 350^{o}C, 400^{o}C, 450^{o}C dan 500^{o}C pada tekanan 1,6 mbar serta waktu 10 detik mengalami peningkatan yang bervariasi.

Tabel 4.1. Hasil uji kekerasan permukaan sebelum dikarburasi

NO SAMPLE UJI	D1	D2	KEKERASAN VHN	KEKERASAN RATA-RATA
1	11.94	12.23	126.40	**135.36**
2	11.43	11.50	140.30	
3	11.44	11.44	141.60	
4	11.62	11.62	137.30	
5	11.88	11.88	131.20	

Tabel 4.2. Hasil uji kekerasan permukaan setelah dikarburasi dengan suhu 300 ˚C, tekanan 1,6 mbar dan waktu 10 detik

NO SAMPLE UJI	D1	D2	KEKERASAN VHN	KEKERASAN RATA-RATA
1	8.46	8.46	259.20	**270.30**
2	8.28	8.28	270.40	
3	8.20	8.20	275.70	
4	8.42	8.42	267.80	
5	8.16	8.16	278.40	

Tabel 4.3. Hasil uji kekerasan permukaan setelah dikarburasi dengan suhu 350 ˚C, tekanan 1,6 mbar dan waktu 10 detik

NO SAMPLE UJI	D1	D2	KEKERASAN VHN	KEKERASAN RATA-RATA
1	7.82	7.83	302.80	**312.62**
2	7.81	7.81	304.00	
3	7.72	7.72	311.10	
4	7.50	7.50	330.90	
5	7.69	7.69	314.30	

Tabel 4.4. Hasil uji kekerasan permukaan setelah dikarburasi dengan suhu 400 ˚C, tekanan 1,6 mbar dan waktu 10 detik

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

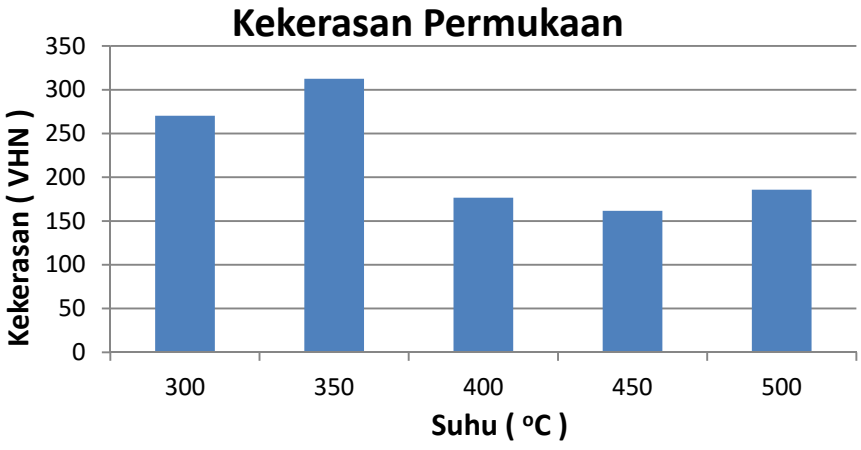
Tabel 4.5. Hasil uji kekerasan permukaan setelah dikarburasi dengan suhu 450 ˚C, tekanan 1,6 mbar dan waktu 10 detik

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

Tabel 4.6. Hasil uji kekerasan permukaan setelah dikarburasi dengan suhu 500 ˚C, tekanan 1,6 mbar dan waktu 10 detik

NO SAMPLE UJI	D1	D2	KEKERASAN VHN	KEKERASAN RATA-RATA
1	10.51	10.51	167.80	**185.72**
2	9.93	9.94	187.80	
3	9.96	9.96	186.90	
4	9.78	9.78	193.80	
5	9.80	9.80	192.60	

Berdasarkan data pengujian kekerasan pada Tabel 4.1 - 4.6, untuk memudahkan pembacaan trend nilai kekerasan maka dibuat grafik hubungan antara nilai kekerasan AISI 4140 terhadap perubahan suhu yang disajikan pada Gambar 4.7 dibawah ini :



Gambar 4.7 Grafik hubungan nilai kekerasan (HVN) terhadap perubahan suhu baja AISI 4140 (^{o}C)

Pada Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa pada temperatur 350^{o}C tekanan 1.6 mbar waktu 10 detik nilai kekerasan meningkat dari 270,30 VHN menjadi 312,62 VHN tetapi pada suhu 400 ^{o}C dan 450^{o}C kekerasannya cenderung menurun, kemudian terjadi peningkatan kekerasan lagi pada temperatur 500^{o}C dari 161,72 VHN menjadi 185.78 VHN. Dari kondisi kekerasan pada masing-masing temperatur dapat dilihat bahwa hasil kekerasan terbesar diperoleh dari suhu 350^{o}C, hal ini disebabkan karena pada temperatur rendah jumlah ion carbon yang masuk kepermukaan lebih sedikit dari pada jumlah ion yang masuk (pori – pori semakin terbuka dengan bertambahnya temperatur).

Peningkatan kekerasan pada penelitian ini tidak terlalu signifikan hal ini disebabkan karena pemilihan suhu yang terlalu rendah. Hal ini sesuai dengan pendapat *Suprapto dkk*., bahwa pada suhu rendah yang dominan hanyalah terbentuknya pasangan kekosongan dan sisipan atom-atom Fe dan ion-ion carbon akibat saling bertumbukan. Dari tabel 4.2 - 4.6 maupun Gambar 4.7 terlihat bahwa pada suhu 400 ^{o}C terlihat menurun, hal ini disebabkan pada suhu 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 suhu 500 ^{o}C. Hal ini disebabkan pada suhu tersebut tidak hanya tercipta pasangan kekosongan dan sisipan tetapi juga terbentuk fasa kedua dari sistem Fe-C.

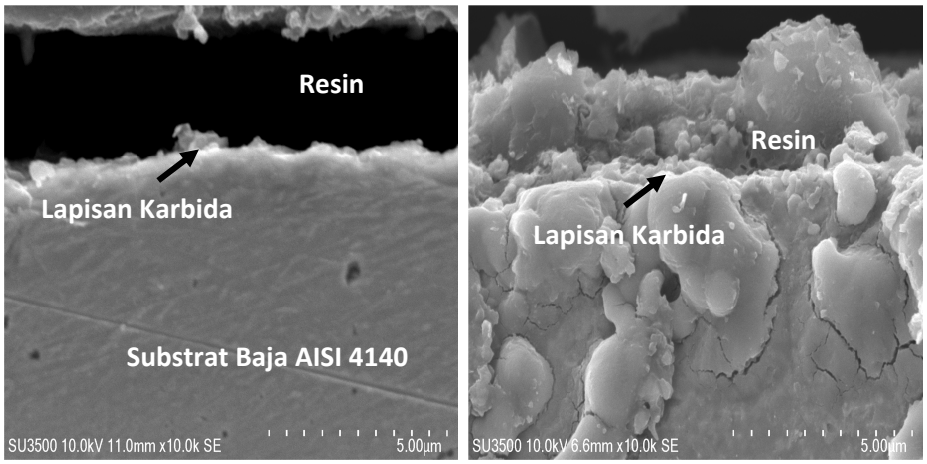
3.2. Uji Struktur Mikro

Untuk mengetahui perubahan nilai kekerasan pada baja AISI 4140 setelah mengalami proses karburasi seperti pada Tabel 4.2-4.6 maka dilakukan pengujian struktur mikro menggunakan uji SEM sehingga diperoleh data mengenai kandungan unsur – unsur kimia yang ada di dalam specimen uji. Komponen utama alat SEM, yang pertama terdiri atas 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 LaB6 atau Cerium Hexaboride CeB6, yang dapat menyediakan berkas elektron yang memiliki energi tunggal (monokromatik), Ketiga adalah imaging detector, yang berfungsi mengubah sinyal elektron menjadi gambar. Sesuai dengan jenis elektronnya, terdapat dua jenis detektor dalam SEM ini, yaitu detektor SE dan detektor BSE.[31]

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 dilakukan sebanyak 2 kali pengamatan, yaitu pada suhu terendah dan suhu tertinggi. Pengamatan pertama untuk mengamati penampang melintang bahan setelah di karburasi pada temperatur 300 ^{o}C dan pengamatan kedua untuk mengamati penampang melintang bahan setelah di karburasi pada temperatur 500 ^{o}C. Hasil pengujian mikrograf SEM dari tampang-lintang specimen baja AISI 4140 setelah di karburasi ion pada suhu 300 ^{o}C dan 500 ^{o}C, tekanan gas carbon dan waktu karburasi masing-masing pada 1,6 mbar dan 10 detik ditampilkan pada Gambar 4.8

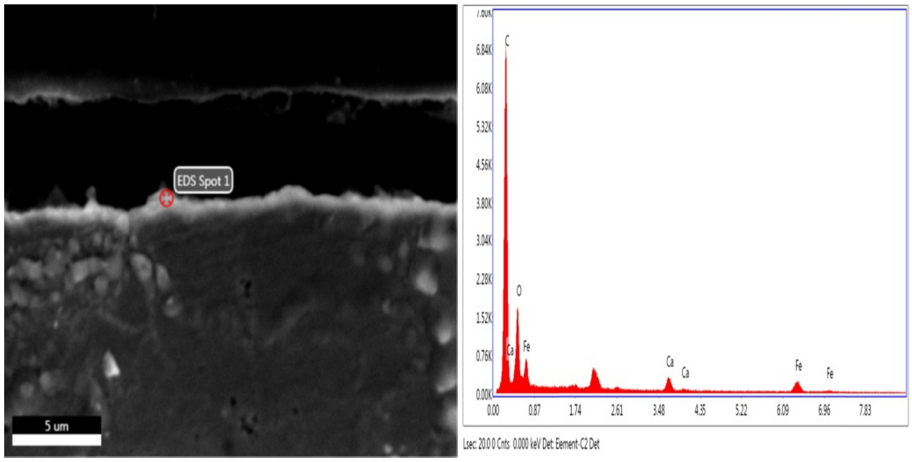
Berdasarkan hasil gambar SEM untuk sample baja AISI 4140 yang telah mengalami proses karburasi dari suhu awal 300^{o}C dan suhu akhir 500^{o}C, maka dapat dilihat bahwa lapisan tipis terbentuk pada substrat baja AISI 4140. Pada lapisan dengan suhu karburasi 300 ^{o}C lapisan tidak terlihat dengan jelas, sedangkan pada produk karburasi dengan suhu 350^{o}C lapisan gas methana (Karbon) dapat terlihat dengan jelas.



(a) (b)

Gambar 4.8 Mikrograf SEM baja AISI 4140 setelah dikarburasi pada tekanan 1,6 mbar, waktu 10 detik, suhu: (a) 300 ^{o}C dan (b) 500 ^{o}C

Untuk mengetahui unsur kimia pada permukaan baja maka dilakukan pengamatan komposisi unsur menggunakan teknik SEM-EDX. Gambar 4.9 ditampilkan mikrograf SEM-EDX specimen baja AISI 4140 hasil karburasi ion variasi suhu 300 dan 500 ^{o}C tekanan dan waktu karburasi masing-masing 1,6 mbar dan 10 detik. Berdasarkan Gambar 4.9 tersebut diketahui besarnya kandungan karbon yang seharusnya dapat terdeposisikan pada permukaan baja AISI 4140 ternyata tidak dapat diidentifikasi. Hal ini disebabkan oleh pengambilan titik uji yang kurang tepat pada partikel keramik karbon. Gambar 4.9 (a) uji EDX diambil pada bagian substrat sehingga menghasilkan unsur besi Fe dengan campuran logam karbon, oksigen dan kalium. Gambar 4.9 (b) lokasi uji EDX diarahkan pada bagian resin. Hasil komposisi unsurnya terlihat, lapisan terdiri dari campuran besi dan karbon. Gambar 4.9 (c) uji EDX diambil pada bagian substrat agak ke dalam dari permukaan. Hasil komposisi kimia menunjukkan bahwa kandungan unsur adalah besi dengan campuran logam karbon dan oksigen. Sedangkan Gambar 4.9 (d), hasil komposisi kimia menunjukkan bahwa unsur yang terkandung adalah unsur besi sebagai unsur utama dengan unsur karbon dan oksigen sebagai unsur tambahan.

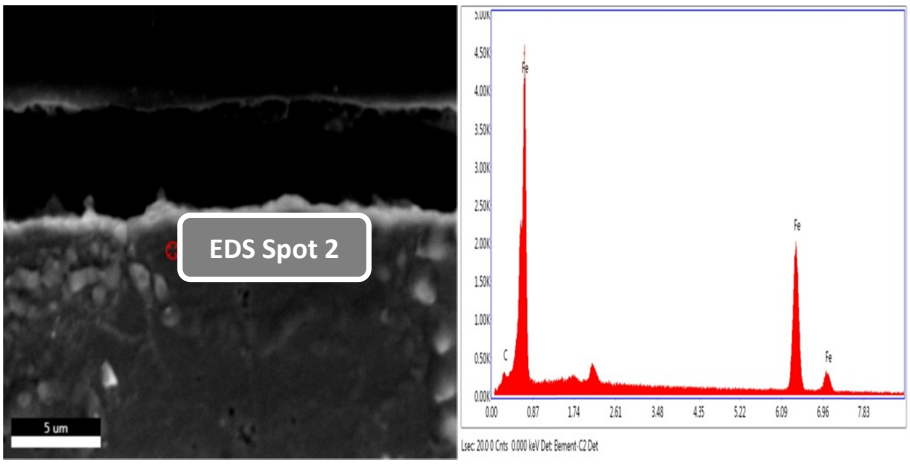


EDS Spot 1 Titik 1

eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	R	A	F
C K	56.40	72.57	2688.14	5.66	0.3715	1.0	0.9	0.6	1.0
O K	21.58	20.84	634.60	9.73	0.0627	1.0	0.9	0.2	1.0
CaK	4.47	1.72	134.81	9.70	0.0406	0.8	1.0	1.0	1.0
FeK	17.55	4.86	146.96	8.57	0.1378	0.7	1.0	1.0	1.0

(a)

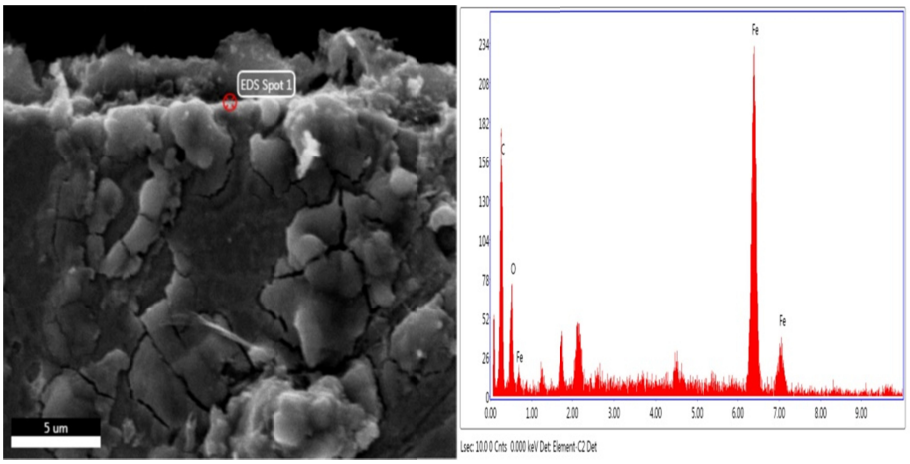


EDS Spot 1 Titik 2

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	1.34	0.84	0.28	1.00
FeK	94.76	79.55	1399.44	3.84	0.9496	0.97	1.00	1.00	1.02

(b)

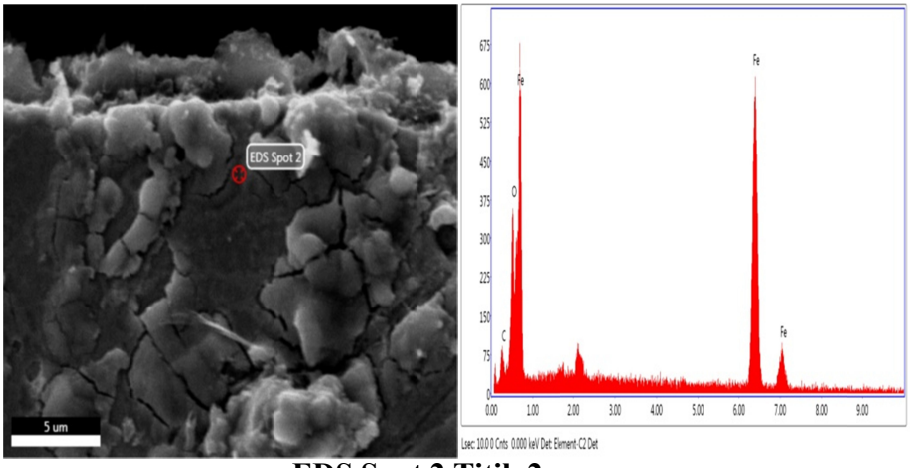


EDS Spot 2 Titik 1

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	1.24	0.87	0.29	1.00
O K	4.09	7.67	51.84	14.52	0.0192	1.19	0.90	0.39	1.00
FeK	75.06	40.30	303.76	5.29	0.7021	0.90	1.02	1.00	1.02

(c)



EDS Spot 2 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	1.29	0.86	0.26	1.00
O K	7.60	18.39	296.66	8.41	0.0473	1.23	0.88	0.50	1.00
FeK	85.44	59.19	836.15	3.84	0.8320	0.94	1.01	1.00	1.02

(d)

Gambar 4.9 Mikrograf SEM-EDX baja AISI 4140 hasil karburasi plasma (a) suhu 300°C, (b) suhu 300°C,(c) suhu 500°C, (d) suhu 500°C

4. Penutup

4.1. Kesimpulan

- Dari pengujian kekerasan dengan metode karburasi plasma di atas diperoleh nilai kekerasan (HVN) yang meningkat dibandingkan dengan sebelum karburasi (raw material). Kekerasan maksimal diperoleh pada suhu 350^{o}C dengan nilai 312.62 (HVN), kemudian cenderung turun untuk suhu di atas 350^{o}C.
- Pengujian terhadap struktur mikro menghasilkan bahwa lapisan tipis terlihat di bagian luar permukaan. Namun demikian unsur karbon tidak dapat diidentifikasi dengan jelas karena sangat sedikit.

4.2. Saran

- Sebaiknya dilakukan uji kekerasan dengan melanjutkan suhu di atas 500^{o}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 EDX (*Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*) lapisan karbon dapat terlihat dengan jelas.

Daftar Pustaka

[1] H. Kovacı, A. F. Yetim, O. Baran, and A. Çelik, "Fatigue crack growth analysis of plasma nitrided AISI 4140 low-alloy steel: Part 1-constant amplitude loading," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 672, pp. 257–264, 2016.

[2] H. Setiadi, P. Studi, M. Teknik, S. Pascasarjana, and U. M. Surakarta, "Analisis Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Lapisan Ni Cr - Al yang dibentuk dengan Metode Sputtering pada Baja ST 40," 2018.

[3] M. Achyarsyah and E. Hidayat, *Analisis Sifat Mekanik Pada Material Aisi 4140 Dan Creusabro 8000 Untuk Aplikasi Gigi Bucket Produksi Pt. Polman Swadaya*, vol. 01, no. 1. 2014.

[4] L. Lv, L. Fu, S. Ahmad, and A. Shan, "Effect of heavy warm rolling on microstructures and mechanical properties of AISI 4140 steel," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 704, pp. 469–479, 2017.

[5] F. Bottoli, M. S. Jellesen, T. L. Christiansen, G. Winther, and M. A. J. Somers, "High temperature solution-nitriding and low-temperature nitriding of AISI 316: Effect on pitting potential and crevice corrosion performance," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 431, pp. 24–31, 2018.

[6] Suprapto, Sudjatmoko, and T. Sujitno, "Pengaruh nitridasi plasma terhadap kekerasan aisi 304 dan baja karbon rendah," *J. Iptek Nukl. Ganendra Vol. 13 No. 2 Juli 2010 93-100*, vol. 13, no. 2, pp. 93–100, 2010.

[7] I. Flis-Kabulska, Y. Sun, T. Zakroczymski, and J. Flis, “Plasma carburizing for improvement of Ni-Fe cathodes for alkaline water electrolysis,” *Electrochim. Acta*, vol. 220, pp. 11–19, 2016.
[8] D. Tarwijayanto, W. Purwo Raharjo, and T. Triyono, “Pengaruh Arus dan Waktu Pelapisan Hard Chrome Terhadap Ketebalan Lapisan dan Tingkat Kekerasan Mikro Pada Plat Baja Karbon Rendah AISI 1026 dengan Menggunakan CrO3 250gr/lt dan H2SO4 2,5 gr/lt pada Proses Elektroplating,” *Mekanika*, vol. 11, no. Dc, pp. 109–115, 2013.
[9] X. Pan, C. Shi, J. Zhang, L. Jia, and L. Chong, “Effect of inorganic surface treatment on surface hardness and carbonation of cement-based materials,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 90, pp. 218–224, 2018.
[10] H. Suryanto, “Pengaruh Suhu Karburasi Terhadap Ketebalan, Kekerasan dan Struktur Mikro Lapisan Karburasi Baja ST 37,” no. Augustus 2007, 2016.
[11] M. S. Hamzah and M. Iqbal, “Peningkatan Ketahanan Aus Baja Karbon Rendah Dengan Metode Carburizing,” vol. 6, no. 3, pp. 169–175, 2008.
[12] S. Adachi and N. Ueda, “Surface hardness improvement of plasma-sprayed AISI 316L stainless steel coating by low-temperature plasma carburizing,” *Adv. Powder Technol.*, vol. 24, no. 5, pp. 818–823, 2013.
[13] Y. Yang, M. F. Yan, Y. X. Zhang, C. S. Zhang, and X. A. Wang, “Self-lubricating and anti-corrosion amorphous carbon/Fe3C composite coating on M50NiL steel by low temperature plasma carburizing,” *Surf. Coatings Technol.*, vol. 304, pp. 142–149, 2016.
[14] • Yang Yanga,b, M.F. Yana,• , S.D. Zhanga, J.H. Guoa, S.S. Jianga, D.Y. Lib, “Diffusion behavior of carbon and its hardening effect on plasma carburized M50NiL steel: Influences of treatment temperature and duration,” *Surf. Coat. Technol.*, vol. 333, pp. 96–103, 2018.
[15] A. Dalke, I. Burlacov, H. Spies, and H. Biermann, “Use of a solid carbon precursor for DC plasma nitrocarburizing of AISI 4140 steel,” *Vaccum*, vol. 149, pp. 146–149, 2018.
[16] Y. Sun, “Response of cast austenitic stainless steel to low temperature plasma carburizing,” *Mater. Des.*, vol. 30, no. 4, pp. 1377–1380, 2009.
[17] R. M. Souza, M. Ignat, C. E. Pinedo, and A. P. Tschiptschin, “Structure and properties of low temperature plasma carburized austenitic stainless steels,” *Surf. Coatings Technol.*, vol. 204, no. 6–7, pp. 1102–1105, 2009.
[18] S. Semboshi, A. Iwase, and T. Takasugi, “Surface hardening of age-hardenable Cu-Ti alloy by plasma carburization,” *Surf. Coatings Technol.*, vol. 283, pp. 262–267, 2015.
[19] B. S. Suh and W. J. Lee, “Surface hardening of AISI 316L stainless steel using plasma carburizing,” *Thin Solid Films*, vol. 295, pp. 185–192, 1997.
[20] C. J. Scheuer, R. P. Cardoso, M. Mafra, and S. F. Brunatto, “AISI 420 martensitic stainless steel low-temperature plasma assisted carburizing kinetics,” *Surf. Coatings Technol.*, vol. 214, pp. 30–37, 2013.
[21] M. Karakan, A. Alsaran, and A. Çelik, “Effect of process time on structural and tribological properties of ferritic plasma nitrocarburized AISI 4140 steel,” *Mater. Des.*, vol. 25, no. 4, pp. 349–353, 2004.
[22] B. Setiyana, “Pengaruh teknologi sistem plasma lucutan pijar terhadap tingkat pengerasan permukaan logam,” *Momentum*, vol. 4. pp. 43–47, 2008.

[23] Y. Li, L. Wang, D. Zhang, and L. Shen, “The effect of surface nanocrystallization on plasma nitriding behaviour of AISI 4140 steel,” *Appl. Surf. Sci.*, vol. 257, no. 3, pp. 979–984, 2010.
[24] Y. Irwan, “Meningkatkan kekerasan permukaan sparepart lokal kendaraan bermotor dengan cara Karburasi Cair Karburasi.”
[25] S. Li and R. R. Manory, “Effect of gas inlet positions on plasma carburizing of AISI 1020 steel,” *Surf. Coatings Technol.*, vol. 71, no. 2, pp. 108–111, 1995.
[26] W. Li, X. Li, and H. Dong, “Effect of tensile stress on the formation of S-phase during low-temperature plasma carburizing of 316L foil,” *Acta Mater.*, vol. 59, no. 14, pp. 5765–5774, 2011.
[27] A. Raveh, A. Rubinshtein, M. Weiss, M. H. Mintz, J. E. Klemberg-Sapieha, and L. Martinu, “Ta-C micro-composite material formed by heat treatment of plasma carburized layer,” *Thin Solid Films*, vol. 466, no. 1–2, pp. 151–157, 2004.
[28] E. Wang, H. Yang, and L. Wang, “The thicker compound layer formed by different NH3-N2mixtures for plasma nitriding AISI 5140 steel,” *J. Alloys Compd.*, vol. 725, pp. 1320–1323, 2017.
[29] A. B. Sengül and A. Çelik, “Effect of plasma nitriding on fatigue crack growth on AISI 4140 steel under variable amplitude loading,” *Surf. Coatings Technol.*, vol. 205, no. 21–22, pp. 5172–5177, 2011.
[30] Q. SHI, S. Roux, F. Latourte, F. Hild, D. Loisnard, and N. Brynaert, “On the use of SEM correlative tools for in situ mechanical tests,” *Ultramicroscopy*, vol. 184, pp. 71–87, 2018.
[31] A. Sujatno, R. Salam, and A. Dimyati Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju, “Studi Scanning Electron Microscopy (Sem) Untuk Karakterisasi Proses Oxidasi Paduan Zirkonium,” *J. Forum Nukl.*, vol. 9, no. 2, pp. 44–50, 2015.