



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR – TM 141585

**PENGARUH TEMPERATUR REAKSI PROSES
THERMO REACTIVE DIFFUSION TERHADAP
PEMBENTUKAN LAPISAN NIOBIUM KARBIDA
PADA AISI 440C**

**GEMILANG FAJAR HARIYANTO
NRP 0211164000045**

**Dosen Pembimbing
FAHMI MUBAROK, ST., M.Sc., Ph.D.
NIP.197801152003121002**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**



TUGAS AKHIR – TM 141585

**PENGARUH TEMPERATUR REAKSI PROSES
THERMO REACTIVE DIFFUSION TERHADAP
PEMBENTUKAN LAPISAN NIOBIUM KARBIDA
PADA AISI 440C**

**GEMILANG FAJAR HARIYANTO
NRP 0211164000045**

**Dosen Pembimbing
FAHMI MUBAROK, ST., M.Sc., Ph.D.
NIP.197801152003121002**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**



FINAL PROJECT – TM 141585

**THE EFFECT OF THERMO REACTIVE DIFFUSION
PROCESS REACTION ON THE FORMATION OF
CARBIDA NIOBIUM LAYER ON STAINLESS STEEL
AISI 440C**

**GEMILANG FAJAR HARIYANTO
NRP 0211164000045**

**Advisor lecturer
FAHMI MUBAROK, ST., M.Sc., Ph.D.
NIP.197801152003121002**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2019**

**PENGARUH TEMPERATUR REAKSI PROSES THERMO
REACTIVE DIFFUSION TERHADAP PEMBENTUKAN
LAPISAN NIOBIUM KARBIDA PADA AISI 440C**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Gemilang Fajar Hariyanto

Nrp. 02111640000045

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Fahmi Mubarak, ST, M.Sc, Ph.D (Pembimbing)
NIP. 197801152003122002
2. Suwarno, ST, M.Sc, Ph.D (Penguji 1)
NIP. 198005202005011003
3. Ari Kurniawan Saputra, ST, MT (Penguji 2)
NIP. 198604012015041001
4. Witantyo, Ir, M.Eng, Sc (Penguji 3)
NIP. 196303141988031002

**SURABAYA
JANUARI, 2020**

**PENGARUH TEMPERATUR REAKSI PROSES
THERMO REACTIVE DIFFUSION TERHADAP
PEMBENTUKAN LAPISAN NIOBIUM KARBIDA
PADA MARTENSITIC STAINLESS STEEL AISI 440C**

Nama Mahasiswa : Gemilang Fajar Hariyanto
NRP : 0211164000045
Departemen : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Fahmi Mubarak, ST., M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Thermo-reactive difusion (TRD) adalah proses suhu tinggi untuk memproduksi lapisan logam karbida keras pada substrat yang mengandung karbon. Dalam penelitian ini, pelapis niobium karbida (NbC) diberikan kepada *martensitic steel* AISI 440C.

Penelitian ini akan mengeksplorasi pengaruh variasi temperatur proses TRD terhadap pembentukan lapisan niobium pada permukaan AISI 440C. Proses TRD dilakukan dengan metode *powder pack* berupa wadah baja tertutup yang mengandung campuran bubuk niobium sebagai paduan utama, alumina (Al_2O_3) sebagai *inert filler* dan amonium klorida (NH_4Cl) sebagai aktivator. Kemudian spesimen ditutup dengan campuran tersebut dan dipanaskan dalam dapur listrik pada temperatur 800°C, 900°C, 1000°C dan 1100°C selama 6 jam.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketebalan lapisan niobium karbida meningkat seiring meningkatnya temperatur pemanasan proses *thermo teactive diffusion* dengan penahanan waktu yang sama. Nilai kekerasan spesimen yang diberikan proses *thermo reactive diffusion* mengalami kenaikan dengan naiknya temperatur pemanasan. Akan tetapi laju pembentukan lapisan niobium karbida mulai mengalami penurunan pada temperatur pemanasan 1000°C. Hal ini terjadi dikarenakan makin berkurangnya kandungan karbon yang tersedia dari *base*

material yang dapat berdifusi ke permukaan untuk berikatan dengan niobium.

Kata Kunci. *thermo-reactive diffusion, Martensitic Stainless Steel, Pengerasan permukaan.*

THE EFFECT OF THERMO REACTIVE DIFFUSION PROCESS REACTION ON THE FORMATION OF CARBIDA NIOBIUM LAYER ON STAINLESS STEEL AISI 440C

Student Name : Gemilang Fajar Hariyanto
ID : 0211164000045
Department : Mechanical Engineering FTIRS-ITS
Advisor lecturer: Fahmi Mubarok, ST., M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

Thermo-reactive diffusion (TRD) is a high-temperature process for producing hard metal carbide coatings on carbon-containing substrates. In this study, niobium carbide (NbC) coatings were given to AISI 440C martensitic steel. This research will explore the effect of variations in the temperature of the TRD process on the formation of niobium layers on the surface of AISI 440C. The TRD process is carried out by a powder pack method in the form of a closed steel container containing a mixture of niobium powder as the main alloy, alumina (Al_2O_3) as an inert filler and ammonium chloride (NH_4Cl) as an activator. Then the specimen is closed with the mixture and heated in an electric kitchen at temperatures of 800oC, 900oC, 1000oC and 1100oC for 6 hours.

The results showed that the thickness of the niobium carbide layer increased with increasing heating temperature of the thermo teactive diffusion process with the same holding time. The hardness of specimens given the thermo reactive diffusion process increases with increasing heating temperature. However, the rate of formation of the niobium carbide layer began to decrease at a heating temperature of 1000oC. This happens because of the reduced carbon content available from the base material that can diffuse to the surface to bind with niobium.

Keywords. Thermo-reactive diffusion, Martensitic Stainless Steel, Surface Hardening.

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Tuhan yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir penulis. Keberhasilan Tugas Akhir ini melibatkan banyak pihak yang telah berkontribusi didalamnya. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Subarjo (Alm), Nanik Kusmani, Christiani I R selaku keluarga penulis yang selalu memberikan motivasi, dukungan, dan doa untuk penulis hingga Tugas Akhir ini selesai.
2. Fahmi Mubarak, ST., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan jalan keluar ketika penulis mengalami kesulitan selama pengerjaan Tugas Akhir.
3. Suwarno, ST., M.Sc., Ph.D., Ari Kurniawan Saputra, ST,MT dan Witantyo. Ir, M.Eng, Sc, selaku dosen penguji Seminar Proposal dan Sidang Tugas Akhir yang telah memberikan banyak masukan dan koreksi sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
4. Seluruh karyawan Laboratorium Metalurgi dan Teknik Cor Pak Mantri, Pak Gatot, Pak Budi, Mas Agus, dan Mas Ahyat yang telah banyak membantu selama penelitian dan pengambilan data Tugas Akhir ini.
5. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu penulis selama pengerjaan Tugas Akhir.

Semoga segala kebaikan yang diberikan mendapat balasan dari Tuhan yang Maha Esa. Penulis menyadari bahwa laporan ini jauh dari sempurna oleh karena itu kritik dan saran sangat dibutuhkan. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TITLE	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Batasan Masalah	2
BAB II TINJAUAN PENELITIAN	4
2.1. <i>Martensitic Stainless Steels</i>	4
2.2. Pengerasan Permukaan (<i>Surface Hardening</i>)	5
2.3. <i>Thermo Reactive Diffusion (TRD)</i>	7
2.4. Difusi	9
2.5. Penelitian Terdahulu	11
BAB III METODE PENELITIAN	16
3.1. Diagram Alir Percobaan	16
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	17
3.2.1. Alat yang Digunakan	17
3.2.2. Bahan yang Digunakan	23

3.3.	Pemotongan Spesimen uji	25
3.4.	Perlakuan Panas	26
3.5	Data Awal Pengujian substrat AISI 440C	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		29
4.1.	Analisa Spektrometri.....	29
4.2.	Analisa XRD (Difraksi Sinar X)	30
4.3.	Analisa Menggunakan Mikroskop	31
4.3.1.	Hasil Pengamatan Ketebalan dengan Variasi Suhu 800°C.....	35
4.3.2.	Hasil Pengamatan Ketebalan dengan Variasi Suhu 900°C.....	37
4.3.3.	Hasil Pengamatan Ketebalan dengan Variasi Suhu 1000°C.....	39
4.3.4.	Hasil Pengamatan Ketebalan dengan Variasi Suhu 1100 °C.....	41
4.4.	Analisa hasil pengujian SEM/EDS.....	43
4.4.1.	Pengujian SEM/EDS Temperatur 800°C.....	44
4.4.2.	Pengujian SEM/EDS Temperatur 900°C.....	46
4.4.3.	Pengujian SEM/EDS Temperatur 1000°C.....	48
4.4.4.	Pengujian SEM/EDS Temperatur 1100°C.....	50
4.5.	Analisa Pengujian Kekerasan.....	52
4.6.	Ringkasan Analisis.....	57
BAB V KESIMPULAN		61
5.1.	Kesimpulan	61
5.2.	Saran	61
DAFTAR PUSTAKA.....		63
BIODATA PENULIS		65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kekerasan permukaan lapisan karbida pada proses perlakuan permukaan[6]	7
Gambar 2.2 Siklus Thermo Reactive Diffusion [3]	9
Gambar 2.3 Interstitial Diffusion [9]	10
Gambar 2.4 Vacancy Diffusion [9]	11
Gambar 2.5 Grafik ketebalan pelapis NbC untuk jumlah Fe-Nb dan NH ₄ Cl yang berbeda[4]	13
Gambar 2.6 Pengaruh Temperatur Pemanasan terhadap Ketebalan Substrat [4]	14
Gambar 2.7 Pengaruh Waktu penahan terhadap Ketebalan Substrat [4]	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Percobaan	16
Gambar 3.2 wadah reaksi powder pack	17
Gambar 3.3 Mesin Grinder-Polisher.....	18
Gambar 3.4 electric resistance furnace in heat treatment workshop Departemen Teknik Mesin FTI-ITS	19
Gambar 3.5 Ballmill.....	20
Gambar 3.6 Mikroskop Micro Hardness Vickers	21
Gambar 3.7 <i>Scanning Electron Microscope Hitachi FlexSEM 1000</i> dilengkapi dengan EDS dari sistem EDAX.....	22
Gambar 3.8 Spesimen AISI 440C	23
Gambar 3.9 Bubuk ferro-niobium	24
Gambar 3.10 Bubuk NH ₄ Cl.....	24
Gambar 3.11 Bubuk Alumina (Al ₂ O ₃)	25
Gambar 3.12 (A) Hasil Micro Hardness Vickers. (b) Banyaknya Pengindentasian	27
Gambar 3.13 Hasil analisa <i>XRD Base Metal</i> AISI 440.....	28
Gambar 4.1 Grafik Hasil Analisa XRD Spesimen AISI 440C	30

Gambar 4.2 Penampang Ketebalan Lapisan Karbida Spesimen Uji dengan Temperatur 800°C pada Perbesaran (a). 500x (b). 1000x	35
Gambar 4.3 Penampang Ketebalan Lapisan Karbida Spesimen Uji dengan Temperatur 900°C pada Perbesaran (a). 500x (b). 1000x	37
Gambar 4.4 Penampang Ketebalan Lapisan Karbida Spesimen Uji dengan Temperatur 1000°C pada Perbesaran (a). 1000x (b). 500x	39
Gambar 4.5 Penampang Ketebalan Lapisan Karbida Spesimen Uji dengan Temperatur 1100°C pada Perbesaran (a). 1000x (b). 500x	41
Gambar 4.6 Hasil pengamatan SEM spesimen temperatur 800°C a) perbesaran 2000 kali b) perbesaran 500 kali	44
Gambar 4.7 Hasil Pengujian EDS <i>Spot</i> pada spesimen temperatur 800°C	45
Gambar 4.8 Hasil pengamatan SEM spesimen temperatur 900°C (a) perbesaran 500 kali (b) perbesaran 2000 kali	46
Gambar 4.9 Hasil Pengujian EDS <i>Spot</i> pada spesimen temperatur 900°C	47
Gambar 4.10 Hasil pengamatan SEM spesimen temperatur 1000°C a) perbesaran 2000 kali b) perbesaran 500 kali	48
Gambar 4.11 Hasil Pengujian EDS <i>Spot</i> pada spesimen temperatur 1000°C	49
Gambar 4.12 Hasil pengamatan SEM spesimen temperatur 1100°C a) perbesaran 2000 kali b) perbesaran 500 kali	50
Gambar 4.13 Hasil Pengujian EDS <i>Spot</i> pada spesimen temperatur 1100°C	51
Gambar 4.14 (a) Contoh Hasil Indentasi pada Pengujian Kekerasan Mikro dan (b) Contoh Posisi Indentasi pada Pengujian Kekerasan Mikro	52
Gambar 4.15 Nilai Kekerasan Spesimen dengan Temperatur Reaksi 800°C	53
Gambar 4.16 Nilai Kekerasan Spesimen dengan Temperatur Reaksi 900°C	54

Gambar 4.17 Nilai Kekerasan Spesimen dengan Temperatur Reaksi 1000°C	55
Gambar 4.18 Nilai Kekerasan Spesimen dengan Temperatur Reaksi 1100°C	56
Gambar 4. 19 Hasil Analisa Ketebalan dengan Pegamatan Mikroskop dan Pengujian SEM	57
Gambar 4. 20 Hasil Kekerasan Mikro AISI 440C	58
Gambar 4.21 Hasil EDS Line Spesimen Pada Temperatur Optimum (a). Dengan unsur Fe, Nb, O, C (b). Dengan unsur C	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Mekanik <i>Martensitic Stainless Steel</i> AISI 440C [5].....	4
Tabel 2.3 Metode pengerasan permukaan baja [7]	6
Tabel 2.4 Komposisi Kimiawi Bubuk Ferroniobium Yang Digunakan Dalam Kotak Thermo-Reaktif (wt%) [4].....	12
Tabel 3. 1 Hasil Micro Hardness Vickers spesimen AISI 440	27
Tabel 4. 1 Komposisi Kimia Hasil Uji <i>Spectrometer</i> dan Komposisi Kimia Standar ASTM F899	29
Tabel 4.2 Hasil Analisa Ketebalan Tiap Spesimen.....	31
Tabel 4.3 Hasil Pengamatan Mikroskop Optik.....	33
Tabel 4.4 Hasil Analisa Melalui Pengujian SEM	43
Tabel 4.5 Hasil Nilai Kekerasan Mikro AISI 440C.....	53

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Karbida dan pelapis nitrida logam transisi telah banyak digunakan sebagai bagian dari aplikasi tribologis untuk meningkatkan sifat mekanik komponen karena kekerasan tinggi dan titik lebur, koefisien gesek yang rendah, dan ketahanan aus. Untuk menghasilkan lapisan keras ini dapat digunakan proses *Chemical Vapor Deposition (CVD)*, *Physical Vapor Deposition (PVD)*, *Laser cladding (LC)*, *sintesis in situ (ISS)* atau *Thermo Reactive Diffusion (TRD)* [4].

Pada penelitian ini metode *Thermo Reactive Diffusion (TRD)* akan diterapkan karena prosesnya lebih mudah dan lebih ekonomis dibanding proses lainnya. Proses TRD dapat dilakukan pada kondisi atmosfer udara dan komponen yang diberi perlakuan panas tidak mengalami pemanasan setinggi pada proses PVD atau CVD. Proses TRD ini dapat menghasilkan lapisan keras karbida, nitrida atau karbonitrida dengan elemen pembentuk utama vanadium, niobium, tantalum, chromium, molybdenum atau tungsten [4]. Proses TRD dapat dilakukan dengan dua metode yaitu *molten salt bath* dan *powder pack* pada temperatur 850-1050°C dengan variasi penahanan waktu 1 hingga 8 jam. *Powder pack* TRD dianggap lebih sederhana dibanding dengan metode *salt bath* karena sampel dikondisikan pada wadah reaksi dan elemen pembentuk dalam bentuk padatan powder. Selain itu dari sisi keamanan, metode *powder pack* lebih baik dibandingkan dengan *salt bath* karena operator tidak berinteraksi langsung dengan temperatur tinggi.

Pada penelitian ini variasi temperatur proses *powder pack* TRD akan ditelusuri dengan menganalisa lapisan niobium karbida yang terbentuk pada baja martensitic stainless steel AISI 440C yang memiliki kadar karbon >1.0 wt% C. Terbentuknya niobium

karbida dalam penelitian ini diharapkan mampu menambah keandalan pada *surgical tools* ortopedi.

1.2. Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah metode powder pack TRD dengan berbagai temperatur reaksi TRD. Berdasarkan faktor tersebut, perumusan masalah pada penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Bagaimanakah pengaruh variasi temperatur reaksi terhadap ketebalan dan kehomogenan lapisan niobium karbida yang terbentuk.
2. Bagaimanakah morfologi dan kekerasan lapisan niobium karbida yang terbentuk.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya pelapisan keras karbida pada baja AISI 440C menggunakan metode *Thermo Reactive Diffusion* berbasis wadah reaksi adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi temperatur reaksi terhadap ketebalan dan kehomogenan lapisan niobium karbida yang terbentuk.
2. Menganalisa morfologi dan kekerasan lapisan niobium karbida yang terbentuk.

1.4. Batasan Masalah

Supaya penelitian ini lebih fokus pada tujuannya, maka ada beberapa batasan permasalahan yang diterapkan. Adapun batasan masalah untuk penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Proses TRD yang dilakukan tidak memperhitungkan pengaruh wadah reaksi terhadap spesimen uji dimana wadah reaksi ini terbuat dari baja karbon.

2. Temperatur pemanasan pada *furnace* diasumsikan homogen diseluruh bagian *furnace*.
3. Pengaruh dari *activator* dianggap konstan selama proses TRD.
4. Mikro-artifak pada lapisan niobium karbida yang muncul akibat proses grinding dan polishing diabaikan pengaruhnya.

BAB II TINJAUAN PENELITIAN

2.1. *Martensitic Stainless Steels*

Martensitic stainless steel yang dikenal juga dengan baja nirkarat martensit merupakan bada paduan yang mengandung 11.5% -18% kromium. Beberapa tipe dari baja paduan ini antara lain 403, 410, 416, 420, 440, 501, dan 502. Baja paduan tipe 410 dan 416 banyak digunakan sebagai *turbine blade* memiliki ketahan korosi yang baik [1]. Sedangkan baja tipe 420 dan 440 banyak digunakan sebagai surgical tool ortopedi. Secara umum baja ini memiliki sifat magnetik, mudah diberi perlakuan dingin dan perlakuan panas, dapat di proses mesin, memiliki ketanguhan yang baik, memiliki ketahan korosi yang baik terhadap cuaca dan zat kimia, dan mudah untuk diberi perlakuan panas. berikut tabel yang menunjukkan sifat mekanik *martensitic stainless steel* AISI 440C.

Tabel 2.1 Sifat Mekanik *Martensitic Stainless Steel* AISI 440C [5]

AISI 440C	
Temperature (°C)	
Forging-start	760
Annealing-ranges	840-900
Annealing-cooling	Furnace Cooling
Hardening-ranges	1010-1070
Quenching	Oil or Air
Tempering-for intermediate hardness	over 600
Drawing – for relieving stresses	under 380
Mechanical Properties – Heat treated	
Yield Strength, MPa	420
Ultimate Strength, MPa	785

Elongation in 50 mm%	15
Hardness, Brinell	240
Hardness, Rockwell	24

Proses perlakuan panas untuk baja martensitik pada dasarnya sama dengan baja karbon atau baja paduan rendah, di mana kekuatan dan kekerasan maksimum bergantung pada kandungan karbon. Perbedaan utamanya adalah bahwa tingginya kandungan paduan dari baja ini menyebabkan transformasi menjadi sangat lambat, dan *hardenability* sangat tinggi sehingga kekerasan maksimum dapat dihasilkan dengan pendinginan udara. Baja ini biasanya dikeraskan dengan memanaskannya di atas rentang temperatur transformasi hingga 1010°C, kemudian didinginkan menggunakan media udara. Waktu penahanan terhadap temperatur tidak boleh berlebihan untuk mencegah dekarburisasi. *Tempering* yang dilakukan pada baja ini biasanya dilakukan di atas suhu 600°C. Temperatur *tempering* yang lebih tinggi akan menyebabkan pengendapan karbida dan menurunkan sifat ketahanan korosi.

2.2. Pengerasan Permukaan (*Surface Hardening*)

Pengerasan permukaan adalah sebuah proses yang digunakan untuk meningkatkan ketahanan aus pada bagian permukaan dengan membentuk lapisan keras atau merubah karakteristik permukaan. Hal ini ditujukan untuk menjaga agar pada bagian dalam dari komponen tersebut tetap memiliki ketangguhan yang tinggi dan keuletan yang memadai sementara pada daerah permukaannya memiliki kekerasan tinggi sehingga ketahanan ausnya menjadi meningkat [7]. Surgical ortopedi seperti *bone drill* yang harus memiliki permukaan yang sangat keras untuk menahan keausan akibat gesekan antar permukaan sementara bagian dalam yang tangguh akan mencegah agar tidak terjadi fraktur pada *bone drill* tersebut. Secara umum ada dua jenis pengerasan permukaan untuk baja yaitu *layer additions* dan *substrate treatment*. Tabel 2.3

menunjukkan lebih detail tentang perbedaan dua jenis pengerasan permukaan.

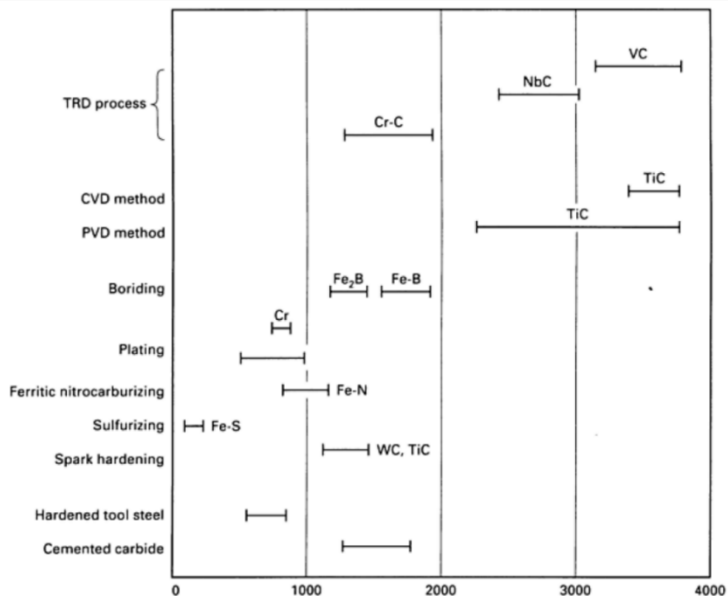
Tabel 2.2 Metode pengerasan permukaan baja [7]

<i>Layer additions</i>	<i>Hardfacing</i>	<i>Fusion hardfacing (welded overlay)</i>
		<i>Thermal spray (nonfusion bonded overlay)</i>
	<i>coatings</i>	<i>electrochemical plating</i>
		<i>chemical vapor deposition (electroless plating)</i>
		<i>Thin films (physical vapor deposition, sputtering, ion mixing)</i>
<i>Substrate treatment</i>	<i>diffusion methods</i>	<i>carburizing</i>
		<i>nitriding</i>
		<i>carbonitriding</i>
		<i>nitrocarburizing</i>
		<i>boriding</i>
		<i>titanium-carbon diffusion</i>
		<i>toyota diffusion process</i>
	<i>selective hardening</i>	<i>flame hardening</i>
		<i>induction hardening</i>
		<i>laser hardening</i>
		<i>electron beam hardening</i>
		<i>ion implantation</i>
		<i>selective carburizing and nitriding</i>
<i>use of arc lamps</i>		

2.3. Thermo Reactive Diffusion (TRD)

Thermo reactive diffusion (TRD) adalah metode pelapisan logam ataupun non logam dengan lapisan karbida, nitrida, atau karbonitrida yang keras dan tahan aus. Terdapat 2 metode dalam proses TRD yaitu substrat direndam ke dalam rendaman boraks cair (*Molten Salt Bath*) atau ditutupi dengan campuran serbuk (*Powder Pack*) yang mengandung unsur pembentuk karbida/nitrida (CFE / NFE) seperti tantalum, kromium, tungsten, molybdenum, vanadium dan niobium dan dimasukkan dalam wadah reaksi [5]. Dalam proses TRD, elemen pembentuk akan berdifusi dan berikatan dengan karbon yang ada didalam baja dan membentuk lapisan keras pada permukaan substrat berupa lapisan karbida.

Lapisan keras vanadium karbida dan niobium karbida memiliki kekerasan permukaan yang tinggi, sedangkan kromium



Gambar 2.1 Kekerasan Permukaan Lapisan Karbida Pada Proses Perlakuan Permukaan [6]

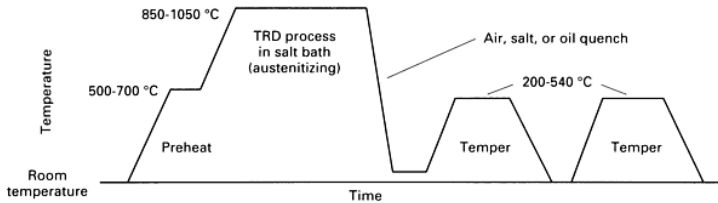
karbida memiliki ketahanan aus yang relatif tinggi dan tahan terhadap oksidasi [6]. Gambar 2.1 menunjukkan kekerasan permukaan lapisan karbida pada proses perlakuan permukaan. Niobium karbida memiliki kelebihan karena biokompatibilitasnya yang paling tinggi dibanding dengan lapisan karbida lainnya.

Proses TRD berbeda dengan metode pengerasan konvensional carburizing atau nitriding dimana elemen spesifik (karbon dan nitrogen) yang tersedia akan berdifusi ke dalam substrat dan merubah karakteristik permukaan sehingga menjadi lebih keras tanpa ada penambahan ketebalan. Pada proses TRD elemen pembentuk justru menarik karbon atau nitrogen dari substrat baja dan membentuk senyawa karbida atau nitrida pada permukaan sehingga terbentuk lapisan keras dan sedikit menambah ketebalan substrat. Lapisan TRD umumnya memiliki ketebalan antara 5 sampai 15 μm (0,2 hingga 0,6 mil), dan memiliki karakteristik yang mirip dengan lapisan yang dihasilkan oleh deposisi uap kimia (CVD) atau deposisi uap fisik (PVD). Sebagai perbandingan, ketebalan lapisan CVD (biasanya kurang dari 25 μm , atau 1 mil) memiliki kisaran yang sama dengan lapisan TRD [7].

Pada proses powder pack TRD, dibutuhkan elemen pembentuk karbida niobium (Fe-Nb), aktivator ammonium klorida (NH_4Cl) dan bahan inert berupa serbuk alumina (Al_2O_3) sebagai filler untuk membantu distribusi panas selama proses TRD. Aktivator amonium klorida berfungsi untuk memecah elemen niobium dan baja dan mencegah reaksi antara ferrous dengan niobium pada permukaan baja. Kondisi ini akan memicu reaksi antara elemen pembentuk niobium dengan karbon yang diperoleh dari baja sehingga terbentuk lapisan intermetalik niobium karbida. Secara umum, apabila kandungan amonium klorida dalam campuran meningkat terus menerus akan terdapat tiga keadaan akan ditemukan [4], antara lain:

1. Peningkatan kandungan amonium klorida akan mendorong pembentukan lapisan intermetalik lebih lanjut.
2. Peningkatan kandungan amonium klorida akan memiliki sedikit efek pada lapisan intermetalik.

3. Peningkatan kandungan amonium klorida akan memiliki efek negatif pada lapisan intermetalik karena lapisan yang terbentuk jadi tidak homogen sehingga kualitas lapisan keras yang terbentuk menurun.



Gambar 2.2 Siklus *Thermo Reactive Diffusion* [3]

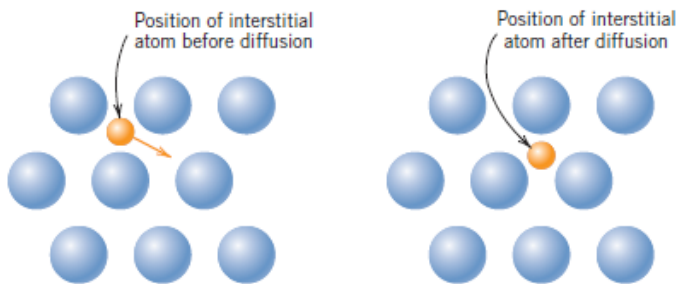
Siklus proses powder pack TRD dapat dilihat pada gambar 2.2. Temperatur proses TRD biasanya dilakukan pada rentang temperatur 850-1050° C. Temperatur pemanasan dan waktu penahanan pada temperatur tersebut akan sangat berpengaruh terhadap pembentukan lapisan niobium karbida. Setelah proses TRD selesai, maka substansi baja didinginkan di udara. Pendinginan dengan media lain seperti larutan garam atau oli dapat dilakukan untuk sekaligus menaikkan kekerasan substrate atau *base-metal* baja sehingga perbedaan kekerasan antara lapisan niobium karbida dan base-metal tidak terlampau jauh. Hal ini akan meningkatkan kekuatan interface antara base metal dan lapisan niobium karbida.

2.4. Difusi

Difusi merupakan transfer massa baik dalam bentuk padat, cair, atau gas yang disebabkan oleh perpindahan atom dimana semakin meningkatnya temperatur pemanasan maka atom yang terdifusi akan meningkat. Atom-atom dalam logam akan menyusun dirinya sedemikian rupa sehingga memperoleh kondisi

yang paling stabil atau dalam keadaan setimbang. Pergerakan atau perpindahan atom ini terjadi saat ada masukan energi dari luar. Energi tersebut dapat dihasilkan dari pemanasan (heating) maupun proses pembentukan (cold forming) Jika energi dan waktu yang tersedia mencukupi maka akan terjadi proses difusi atom-atom. Makin tinggi energi yang dimiliki maka akan semakin tinggi laju difusi. Syarat terjadinya perpindahan atom adalah terdapat sisi yang kosong dan adanya energi yang memutuskan ikatan atom dengan lattice awalnya. Mekanisme terjadinya difusi terbagi dua macam, *interstitial diffusion* dan *vacancy diffusion*[9].

Interstitial diffusion merupakan perpindahan atom dari sebuah posisi *interstitial atom* ke tetangganya yang kosong. Mekanisme ini dapat terjadi pada sebuah senyawa yang tidak murni, contohnya adalah senyawa yang mengandung *hydrogen, carbon, nitrogen, and oxygen*. Dimana atom-atom ini mempunyai ukuran yang tidak sama dengan atom lain dalam ikatannya, sehingga atom tersebut dapat terselip ke posisi *interstitial*. Kebanyakan logam campuran lebih sering mengalami *interstitial*



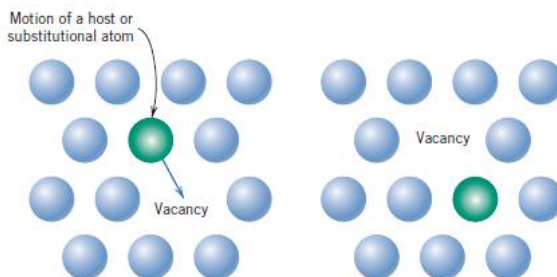
Gambar 2.3 *Interstitial Diffusion* [9]

diffusion dari pada *vacancy diffusion*. Hal itu terjadi karena *interstitial* atom lebih kecil sehingga dapat bergerak secara bebas. Selain itu, di dalam struktur atom lebih banyak posisi *interstitial* dari pada *vacancy*. [9]

Pada *vacancy diffusion* memerlukan kekosongan struktur atom dalam prosesnya sehingga atom terdekatnya dapat berpindah

ke daerah kosong tersebut. Kekosongan dalam struktur atom dapat terjadi pada material logam yang dipanaskan. Difusi pada jenis ini atom dan daerah kosongnya berpindah posisi sehingga dapat dikatakan terjadi pergerakan atau perpindahan atom. Konsentrasi kekosongan yang signifikan dapat terjadi pada logam pada suhu tinggi. Karena difusi atom dan kisi kosong bertukar posisi, difusi atom dalam satu arah sesuai dengan gerakan kekosongan dalam arah yang berlawanan. Gambar 2.4 mewakili skematik perpindahan atom akibat adanya kekosongan.

2.5. Penelitian Terdahulu



Gambar 2. 4 *Vacancy Diffusion [9]*

Baja tahan karat merupakan material yang sangat cocok untuk dijadikan peralatan operasi ortopedi dikarenakan sifatnya yang sesuai untuk diimplankan atau kontak dengan tubuh manusia. Beberapa peneliti menggunakan baja tipe AISI 316L dan Ti-6Al-4V untuk dijadikan biomaterial karena sifat yang kuat, mudah didapatkan dan ekonomis.

Pada tahun 2017 Reza Soltani melakukan penelitian untuk melapisi baja AISI L2 menggunakan metode TRD dengan pelapis niobium karbida [4]. Metode tersebut menurutnya memiliki beberapa kelebihan antara lain lebih mudah digunakan, lebih ekonomis serta ramah lingkungan dibanding proses lainnya karena dapat dilakukan untuk kondisi atmosfer udara dan komponen yang

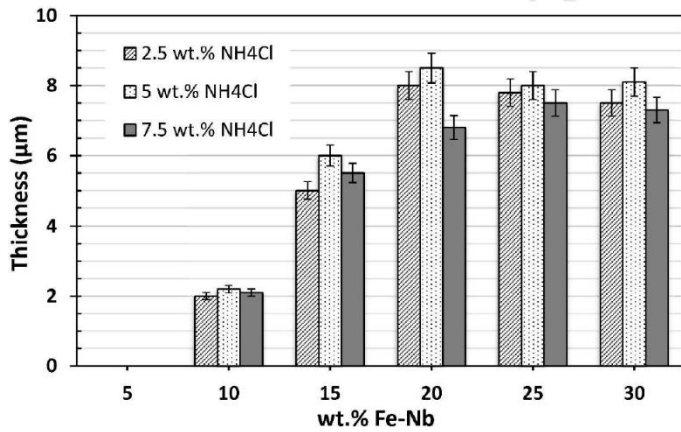
diberikan perlakuan panas tidak mengalami pemanasan setinggi pada proses PVD atau CVD.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Soltani proses TRD dilakukan dengan metode bubuk dalam wadah alumina yang disegel dengan berbasis alumina yang mengandung campuran bubuk yang terdiri dari *ferroniobium* dengan ukuran butiran antara 50-70 μm (Fe-Nb: 5, 10, 15, 20, 25 dan 30%.) Sebagai *master alloy* dengan komposisi kimia yang diberikan pada Tabel 2.4 berikut:

Tabel 2.3 Komposisi Kimiawi Bubuk Ferroniobium Yang Digunakan Dalam Kotak Thermo-Reaktif (wt%) [4]

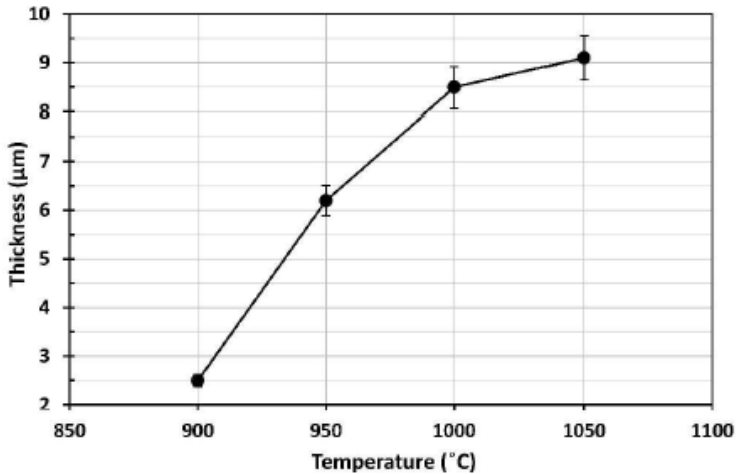
Material	element (wt%)						
	Fe	C	Si	Nb	Al	S	P
Ferro-niobium	Bal.	0.8	1	64.9	0.7	0.1	0.03

Alumina (Al_2O_3) dengan ukuran butir antara 60-100 μm sebagai *inert filler* dan amonium klorida (NH_4Cl : 2.5, 5 dan 7.5% berat) sebagai aktivator. Sampel ditempatkan di dalam kotak dengan campuran bubuk dan kemudian dimasukkan ke dalam tungku tahanan listrik pada suhu 900, 950, 1000 dan 1050 ° C selama 2, 4, 6 dan 8 jam dalam kondisi atmosfer. Setelah proses TRD, sampel dibiarkan dingin di udara terbuka. Pada penelitian yang dilakukan Reza Soltani diperoleh hasil optimum dicapai pada suhu dengan waktu penahanan selama 6 jam [4]. Pada gambar. 2.3 menunjukkan ketebalan pelapis NbC untuk jumlah Fe-Nb dan NH_4Cl yang berbeda.



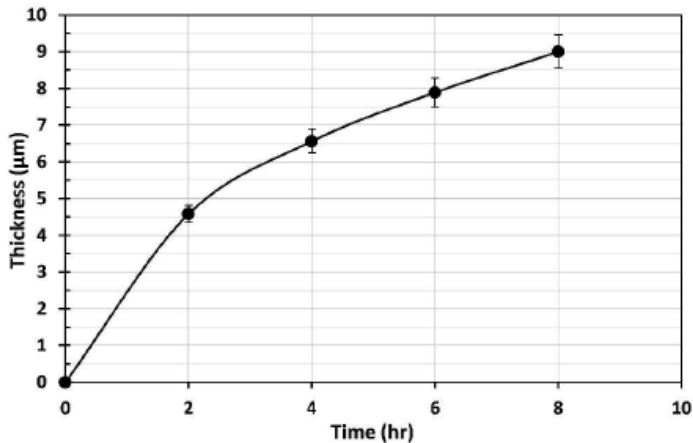
Gambar 2.5 Grafik ketebalan pelapis NbC untuk jumlah Fe-Nb dan NH₄Cl yang berbeda [4]

Pada gambar 2.5 terdapat grafik yang menunjukkan apabila kandungan Fe-Nb kurang dari 5 wt% maka lapisan akan terlalu tipis untuk diamati. Namun, ketebalan meningkat dengan meningkatkan Fe-Nb dari 5 wt% menjadi 20 wt% dan tidak ada perubahan yang signifikan apabila ditingkatkan melebihi 20 wt% Fe-Nb. Di sisi lain, dengan meningkatkan jumlah NH_4Cl dari 2,5 menjadi 5 wt.%, Ketebalan lapisan menunjukkan peningkatan tetapi menurun dengan meningkatkannya kandungan NH_4Cl dari 5 menjadi 7,5%. Gambar 2.4 dan gambar 2.5 menunjukkan penambahan ketebalan lapisan pada substrat baja yang dipengaruhi temperatur dan waktu penahan.



Gambar 2.6 Pengaruh Temperatur Pemanasan terhadap Ketebalan Substrat [4]

Dari gambar 2.6 terlihat bahwa dengan meningkatnya temperatur akan meningkatkan ketebalan substrat. Namun setelah temperatur 1000°C peningkatan yang terjadi tidak signifikan.

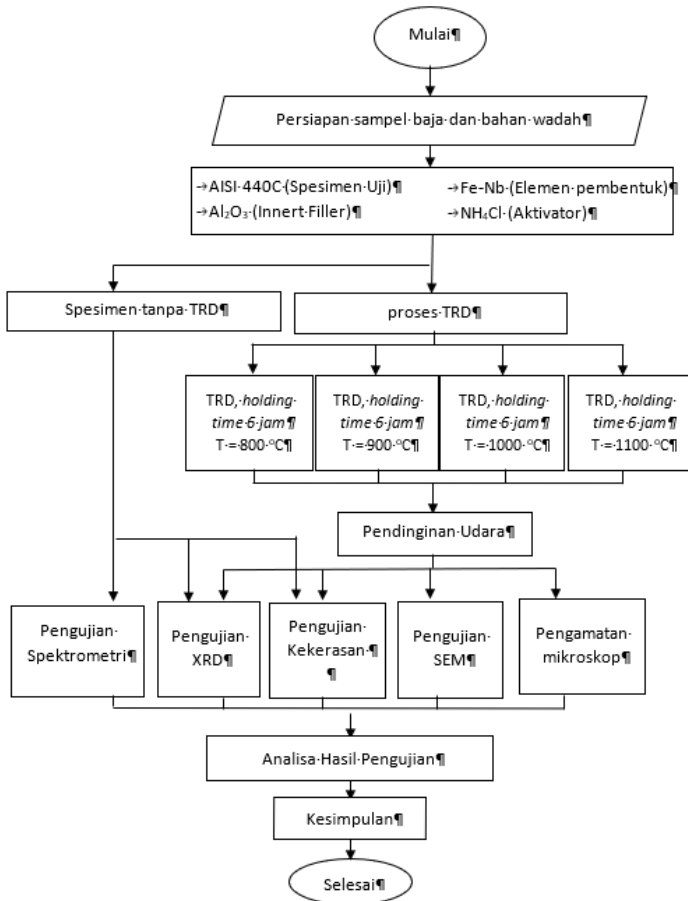


Gambar 2.7 Pengaruh Waktu penahan terhadap Ketebalan Substrat [4]

Dari gambar 2.7 terlihat bahwa dengan peningkatan waktu penahanan akan meningkatkan ketebalan substrat. Berdasarkan gambar tersebut ketebalan optimum diperoleh pada penahanan waktu 6 jam.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Percobaan



Gambar 3.1 Diagram Alir Percobaan

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1. Alat yang Digunakan

Peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mesin *Wire cut*

Dalam penelitian ini, alat pemotong yang digunakan adalah *wire cut*. Mesin *wire cut* digunakan untuk membuat spesimen menjadi bagian yang lebih kecil yaitu tebal 4 mm. selain itu, *wire cut* termasuk alat potong yang mempunyai tingkat presisi yang cukup baik.

2. Wadah Reaksi *Powder Pack*

Wadah reaksi terbuat dari pelat besi dengan ukuran 300x150x150 mm dengan tebal pelat 10 mm. wadah reaksi digunakan untuk memanaskan spesimen yang telah diberi campuran dalam proses TRD. Gambar 3.2 wadah reaksi *powder pack*



Gambar 3.2 wadah reaksi powder pack

3. *Grinder - Polisher*

Grinder digunakan untuk menghaluskan permukaan dari spesimen yang akan digunakan untuk pengamatan penelitian. Proses *grinding* dilakukan secara bertahap menggunakan kertas gosok dengan tingkat grid kekasaran, dimulai dari grid 60 hingga 2000 dengan dialiri air secara *continuous* sampai permukaan spesimen tersebut menjadi halus.

Polisher digunakan untuk menghaluskan serta mengkilapkan spesimen, dimana proses tersebut menggunakan kain bludru yang dioleskan *metal polishing* sambil dialiri air sampai permukaan spesimen menjadi halus dan mengkilat. Gambar 3.3 menunjukkan mesin *grinder-polisher* yang digunakan dalam eksperimen ini.

4. *Furnace*



Gambar 3. 3 Mesin *Grinder-Polisher*

Furnace merupakan alat yang digunakan untuk menaikkan temperatur spesimen uji dengan cara memasukkannya ke dalam *furnace*. Alat ini mempunyai control otomatis untuk mengatur temperatur yang diharapkan, mengatur holding time, serta mengatur waktu yang diperlukan untuk mencapai temperature yang diharapkan. Gambar 3.4 *electric resistance furnace in heat treatment workshop* Departemen Teknik Mesin FTI-ITS.



Gambar 3.4 *electric resistance furnace in heat treatment workshop* Departemen Teknik Mesin FTI-ITS

5. *Ballmill*

Alat yang digunakan untuk menghaluskan material yang memiliki ukuran besar menjadi butira-butiran yang berukuran mikron. Gambar 3.5 *Ballmill*.



Gambar 3.5 *Ballmill*

6. *Difraksi Sinar-X*

Difraksi sinar X atau *X-ray diffraction* (XRD) adalah suatu metode analisa yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Teknik difraksi sinar-X dapat digunakan untuk mengidentifikasi senyawa yang berikatan pada permukaan substrat selama proses TRD berlangsung. Pengujian difraksi sinar-X akan dilakukan di laborotium XRD Departemen Teknik Material FTI ITS.

7. *Micro Hardness Vickers Tester*

Untuk mengetahui nilai kekerasan dari material yang diberi *coating* dalam Pengujian ini maka akan dilakukan pengujian kekerasan menggunakan *Micro Hardness Vickers* (MHV) Pengujian dilakukan pada spesimen uji sebelum dan sesudah perlakuan panas untuk mengetahui tingkat kenaikan nilai kekerasan spesimen uji tersebut. Gambar 3.6 Merupakan alat yang di gunakan dalam pengujian.



Gambar 3.6 Mikroskop *Micro Hardness Vickers*

8. **Pengujian Spektrometri**

Pengujian spektrometri dilakukan untuk mengetahui presentase kandungan unsur kimia dalam baja. Dalam Penelitian ini pengujian spektrometri bertujuan untuk mengetahui komposisi

kimia pada AISI 440C sesuai standar ASTM 899. Pengujian ini dilakukan di PT. Pelopor Teknologi Implantindo, Mojokerto.

9. *Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive Spectrometry (EDS)*

Pengujian SEM dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui topografi dari *coated* material. Alat yang digunakan adalah Pengukuran sampel dilakukan dengan *Hitachi FlexiSEM 1000* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7 sesuai dengan ASTM E1508 “*Panduan Standar untuk Analisis Kuantitatif oleh Energy-Dispersive Spectroscopy*”. Sistem EDS disampaikan oleh sistem EDAX dan analisis lebih lanjut dari unsur / komposisi kimia dilakukan dengan menggunakan *software TEAM*.



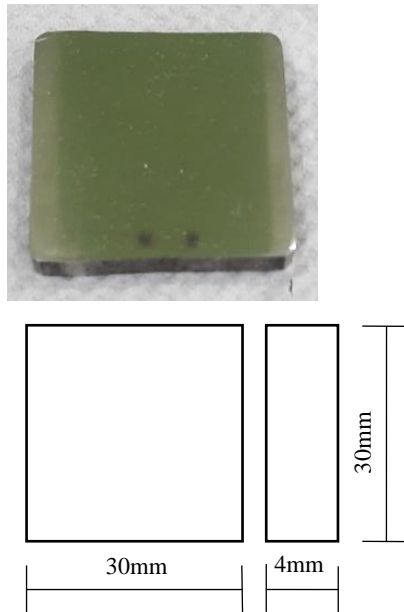
Gambar 3.7 *Scanning Electron Microscope Hitachi FlexSEM 1000* dilengkapi dengan EDS dari sistem EDAX.

3.2.2. Bahan yang Digunakan

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Spesimen uji

Dalam penelitian yang akan dilakukan spesimen yang digunakan adalah Baja martensitik AISI 440C. Baja jenis ini pada umumnya sering digunakan dalam peralatan kedokteran karena memiliki kekuatan, ketahanan aus serta biokompatibel yang baik. Kandungan karbon pada baja AISI 440C kadar yang cukup untuk dilakukan *coating* dengan metode *Thermal Reactive Diffusion* (TRD).



Gambar 3.8 Spesimen AISI 440C

2. Material Paduan

Material paduan (*master alloy*) yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah baja *Ferro-Niobium* (Fe-Nb). Ferro-niobium ini memiliki kadar niobium sebesar 65% sesuai dengan dokumen analisa dari PT Krakatau Steel, Cilegon



Gambar 3.9 Bubuk ferro-niobium

3. Material Aktivator

Aktivator yang digunakan pada penelitian ini adalah puriss *ammonium chloride* (NH₄Cl) dari Pudak Scientific, Bandung. NH₄Cl ini berfungsi untuk memecah ikatan FeNb dan akan berikatan dengan karbon yang ada pada baja. Pengaruh dari aktivator dianggap konstan dari dimulainya perlakuan hingga selesai.



Gambar 3.10 Bubuk NH₄Cl

4. Material *Inert Filler*

Material *inert Filler* yang digunakan adalah *Aluminium Oxide* atau Alumina (Al_2O_3) dari PT Lokarefraktori, Surabaya. *Aluminium Oxide* atau Alumina (Al_2O_3) yang digunakan sebagai pengisi rongga pada wadah reaksi untuk memperoleh keadaan vakum. Alumina dipilih karena memiliki titik lebur yang tinggi sehingga dapat memusatkan panas dengan merata pada spesimen yang diujikan.



Gambar 3.11 Bubuk Alumina (Al_2O_3)

3.3. Pemotongan Spesimen uji

Pemotongan pada baja tahan karat AISI 440C dilakukan untuk memperoleh dimensi spesimen uji yang sesuai untuk mempermudah pengujian. Pemotongan dilakukan menggunakan mesin *Electric Discharge Machining Wire Cut* (*EDM Wire Cut*). Mesin EDM di pilih karena memiliki tingkat presisi yang tinggi dan mengurangi resiko spesimen mengalami perubahan sifat karena panas akibat pemotongan di redam dengan H_2O murni. Dimensi dari spesimen yang digunakan dalam pengujian yaitu 30mm x 30mm x 5 mm.

3.4. Perlakuan Panas

Perlakuan panas dilakukan untuk merubah sifat fisik maupun struktur kimia pada baja, dalam penelitian ini adalah proses pelapisan (*coating*). Perlakuan panas yang akan dilakukan pada percobaan ini menggunakan metode *Thermo Reactive Diffusion* (TRD) berbasis wadah reaksi. Adapun langkah-langkah yang akan dilakukan pada proses ini adalah sebagai berikut :

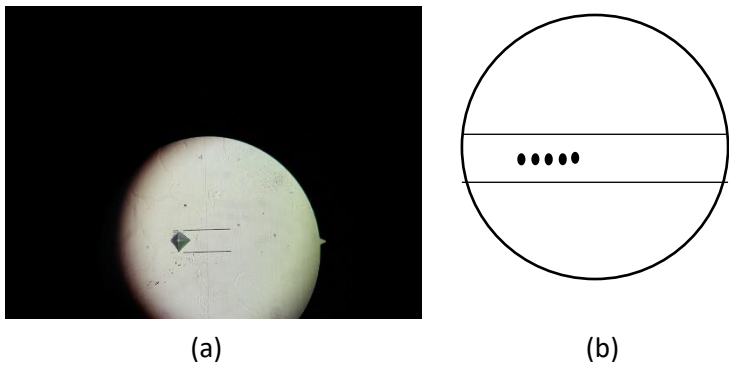
Alat dan bahan dipersiapkan

1. Spesimen uji dihaluskan dengan grinding dan polishing menggunakan SiC paper sampai *grade* 2000.
2. Menyiapkan bahan yang digunakan untuk pelapisan antara lain *Ferro-Niobium*, serbuk *Ammonium Chloride*, dan Alumina dalam kondisi serbuk.
3. Menimbang serbuk campuran dengan rasio 75 wt% Al₂O₃ : 20 wt% Fe-Nb : 5 wt% NH₄Cl.
4. Seluruh serbuk dicampur menggunakan *ballmill* selama kurang lebih 30 menit.
5. Menyiapkan wadah reaksi yang digunakan untuk proses TRD.
6. Seluruh permukaan wadah reaksi dilapisi menggunakan *refractory alumina* kemudian tunggu hingga kering.
7. Campuran serbuk dimasukkan kedalam wadah reaksi
8. Kemudian spesimen uji yang ditempatkan ditengah campuran serbuk.
9. Wadah reaksi ditutup dengan melapisi semen alumina sepanjang tutup agar tidak ada udara yang masuk kedalam wadah untuk membentuk keadaan wadah menjadi vakum.
10. Wadah reaksi dimasukkan kedalam furnace.
11. *Furnace* diatur pada suhu dengan waktu penahanan selama 6 jam. Dengan variasi temperatur 800, 900, 1000, dan 1100°C
12. Setelah selesai, wadah reaksi dikeluarkan dari furnace dan spesimen uji dibiarkan didalam wadah reaksi untuk proses pendinginan dengan udara sekitar.

Pengujian yang dilakukan digunakan untuk membandingkan hasil antara spesimen uji sebelum dan setelah diberikan perlakuan panas.

3.5 Data Awal Pengujian substrat AISI 440C

Data awal pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari material AISI 440C. Pengujian ini menggunakan metode *micro Hardness vickers* dengan pembebanan 0.5 HV dengan waktu pembebanan 10 detik. Masing-masing permukaan spesimen diuji sebanyak 10 kali pada bagian permukaan *cross section* spesimen.

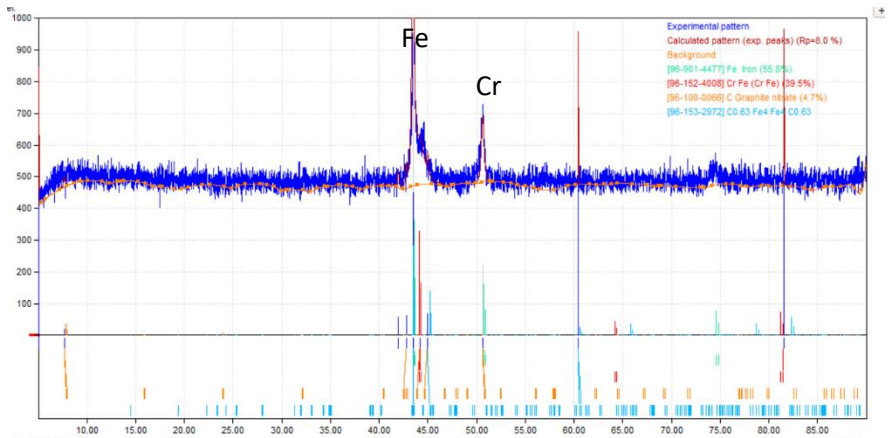


Gambar 3.12 (A) Hasil *Micro Hardness Vickers*. (b) Banyaknya Pengindentasian

Tabel 3.1 Hasil *Micro Hardness Vickers* spesimen AISI 440

Spesimen AISI 440	
no	HV
1	522
2	542
3	548
4	547
5	547
Rata-rata	544

Pengujian difraksi sinar-x dilakukan untuk menentukan parameter struktur kisi serta sebagai referensi pembandingan untuk sampel setelah proses TRD yang memiliki lapisan niobium karbida. Hal ini dilakukan agar dapat lebih jelas terlihat peak senyawa intermetalik yang terbentuk setelah proses TRD. Terlihat bahwa baja ini memiliki peak Fe dari alfa iron.



Gambar 3. 13 Hasil analisa *XRD Base Metal* AISI 440

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Spektrometri

Pengujian komposisi kimia dilakukan di PT. Pelopor Teknologi Implantindo, Mojokerto. Komposisi kimia stainless steel AISI 440C untuk standar peralatan bedah ditulis pada dokumen ASTM F899. Berikut adalah tabel 4.1 merupakan hasil uji *spectrometer* dan standar komposisi kimia AISI 440C berdasarkan ASTM F899.

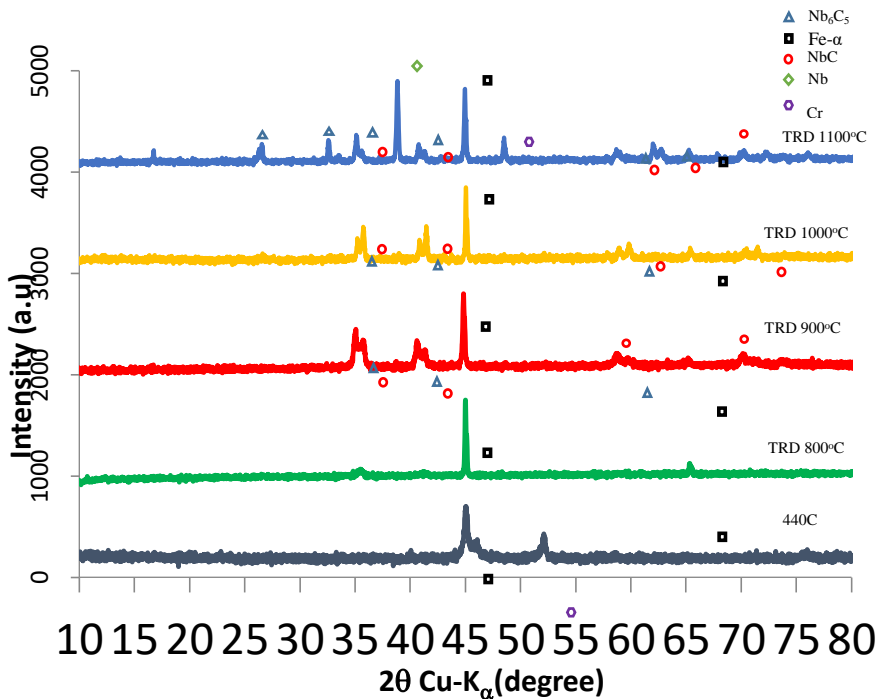
Tabel 4.1 Komposisi Kimia Hasil Uji *Spectrometer* dan Komposisi Kimia Standar ASTM F899

Elemen Paduan	Uji Spectrometer %(wt)	Standar ASTM F899 %(wt)
C	0.933	1.2 (max)
Mn	0.621	1 (max)
Si	0.609	1 (max)
Cr	17.26	16-18 (max)
Mo	0.17	0.75 (max)
Ni	1.94	0.5 (max)

Berdasarkan tabel 4.1 hasil uji komposisi kimia yang diperoleh menunjukkan bahwa komposisi kimia dari *stainless steel* AISI 440C lebih bagus dari standar ASTM F899 dikarenakan kadar *nickel* lebih 1.44 wt% dari standar yaitu maksimum 0.5. Hal tersebut berpengaruh terhadap sifat mekanik material karena kadar *nickel* yang ada pada material mampu meningkatkan ketahanan korosi dan sifat mampu-keras dari AISI 440C.

4.2. Analisa XRD (Difraksi Sinar X)

Pengujian difraksi sinar X dilakukan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan alat “X’PERT PRO”. Pengujian difraksi sinar X dilakukan untuk menentukan komposisi kimia dari spesimen yang tidak dirawat dan dirawat. Pengujian menggunakan XRD dengan 2θ bervariasi dari 10° hingga 80° .



Gambar 4.1 Grafik Hasil Analisa XRD Spesimen AISI 440C

Dari gambar 4.1 diketahui bahwa pada saat pengujian difraksi sinar X membuktikan bahwa pada spesimen yang tidak diberi perlakuan hanya terlihat kandungan Fe dalam material tersebut, hal

tersebut dibuktikan dengan adanya *peak* dari Fe pada gambar 4.1. Pada material yang diberikan proses TRD dengan temperatur reaksi 800°C belum terlihat fasa dari niobium karbida, hal ini terlihat melalui *peak* yang terlihat dalam gambar 4.1 dimana pada spesimen ini hanya terlihat *peak* dari Fe. Kondisi tersebut dapat terjadi dikarenakan temperatur yang diberikan belum mencukupi untuk terjadinya ikatan antara niobium dengan karbon yang terdapat dalam material. Pada spesimen yang diberikan proses TRD dengan temperatur reaksi 900°C terbentuk fasa niobium karbida, hal ini terlihat dari *peak* NbC dan Nb₆C₅ yang terlihat dalam gambar 4.1. Pada spesimen yang diberikan proses TRD dengan temperatur reaksi 1000°C terbentuk fasa niobium karbida, hal ini terlihat dari *peak* NbC dan Nb₆C₅ yang terlihat dalam gambar 4.1. Pada spesimen yang diberikan proses TRD dengan temperatur reaksi 1100°C terbentuk fasa niobium karbida hal ini terlihat dari *peak* NbC dan Nb₆C₅, memiliki *peak* niobium karbida yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen pada temperatur 1000°C dan pada spesimen pada temperatur 1000°C memiliki *peak* Fe yang sama dengan *peak* niobium. Kondisi tersebut dapat terjadi karena temperatur yang diberikan terlalu tinggi sehingga energi yang diperlukan untuk terjadinya ikatan menjadi besar dan menyebabkan sukar terjadinya ikatan antara niobium dan karbon.

4.3. Analisa Menggunakan Mikroskop

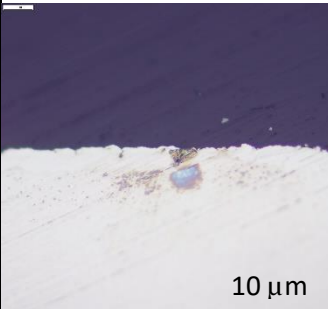
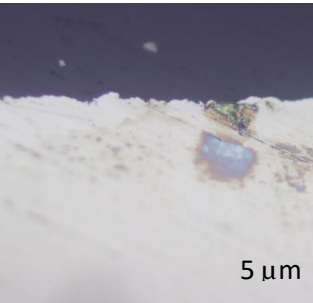
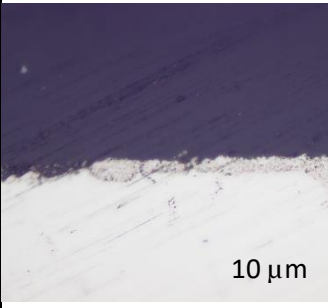
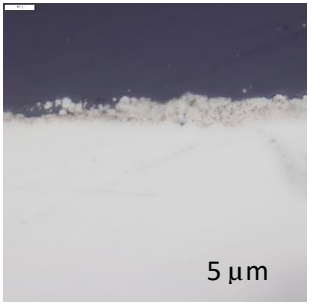
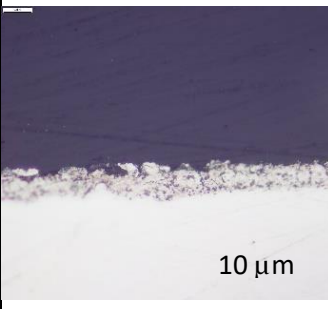
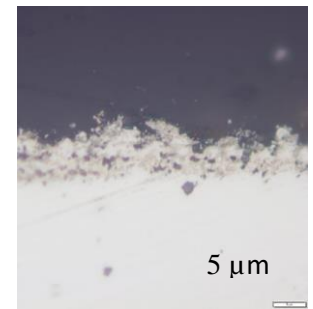
Hasil pengamatan ketebalan (Morfologi) lapisan dari proses TRD dilakukan menggunakan mikroskop optik Olympus dengan perbesaran 200x, dan 500x. Spesimen yang disiapkan untuk pengamatan adalah area pelapisan NbC sebagai hasil dari TRD dengan 4 variasi temperatur reaksi antara lain 800°C, 900°C, 1000°C, dan 1100°C pada penahanan waktu pemanasan selama 6 jam. .

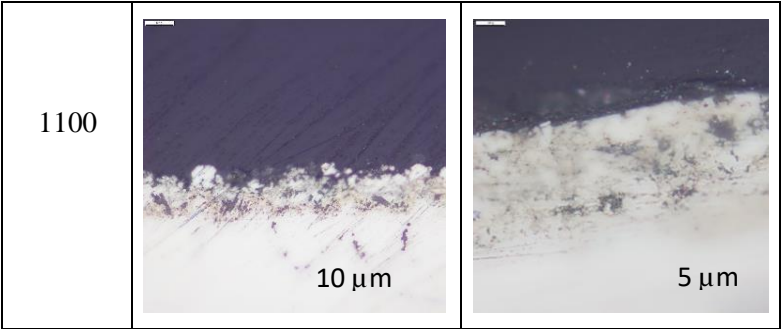
Tabel 4.2 Hasil Analisa Ketebalan Tiap Spesimen

Temperatur	Ketebalan			Rata-rata	Standar Deviasi
	1	2	3		

800	0	0	0	0	0
900	7.53	7.31	4.8	6.55	1.516652
1000	9.08	12.84	10.11	10.68	1.942996
1100	13.21	12.84	15.35	13.8	1.355028

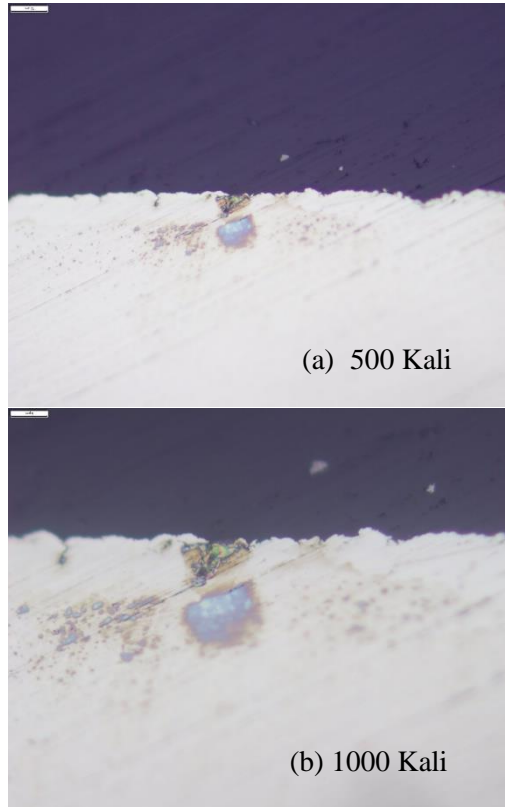
Tabel 4.3 Hasil Pengamatan Mikroskop Optik

Temperatur	Perbesaran 500x	Perbesaran 1000x
800	 <p>10 μm</p>	 <p>5 μm</p>
900	 <p>10 μm</p>	 <p>5 μm</p>
1000	 <p>10 μm</p>	 <p>5 μm</p>



4.3.1. Hasil Pengamatan Ketebalan dengan Variasi Suhu 800°C

Pengamatan ketebalan lapisan dilakukan pada spesimen yang telah diberi proses TRD (*Thermo Reactive Diffusion*) termis pada temperatur reaksi 800°C pada penahanan waktu selama 6 jam. Setelah pemanasan, spesimen didinginkan dengan media udara. Berikut ini adalah gambar hasil pengamatan ketebalan lapisan yang diambil dengan menggunakan mikroskop optik Olympus.

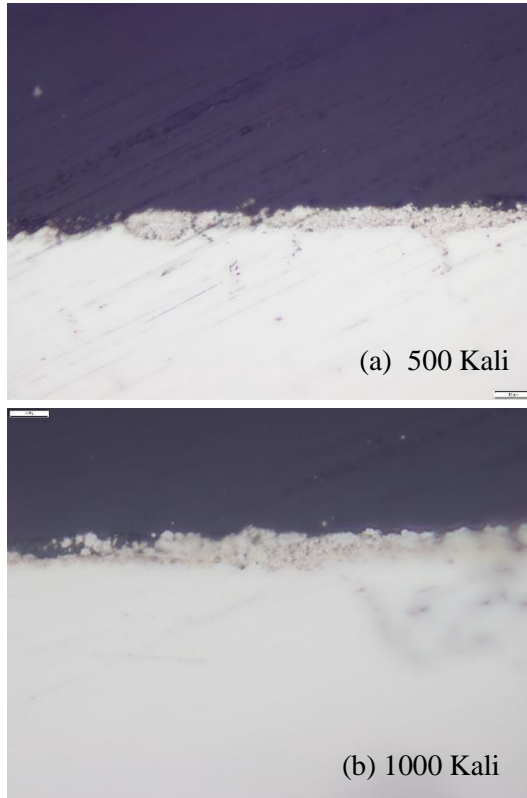


Gambar 4.2 Penampang Ketebalan Lapisan Karbida Spesimen Uji dengan Temperatur 800°C pada Perbesaran (a). 500x (b). 1000x

Berdasarkan hasil dari pengamatan menggunakan mikroskop pada gambar 4.2 lapisan karbida yang terbentuk pada spesimen uji dengan Temperatur 800°C belum terlihat adanya lapisan *coating* yang terbentuk. Hal ini dapat disebabkan karena pada temperatur tersebut energi yang diperlukan untuk terjadinya proses difusi belum mampu menghasilkan ikatan antara niobium dan *base metal*.

4.3.2. Hasil Pengamatan Ketebalan dengan Variasi Suhu 900°C

Pengamatan ketebalan lapisan dilakukan pada spesimen yang telah diberi proses TRD (*Thermo Reactive Diffusion*) termal pada temperatur reaksi 900°C pada penahanan waktu selama 6 jam. Setelah pemanasan, spesimen didinginkan dengan media udara. Berikut ini adalah gambar hasil pengamatan ketebalan lapisan yang diambil dengan menggunakan mikroskop optik Olympus.

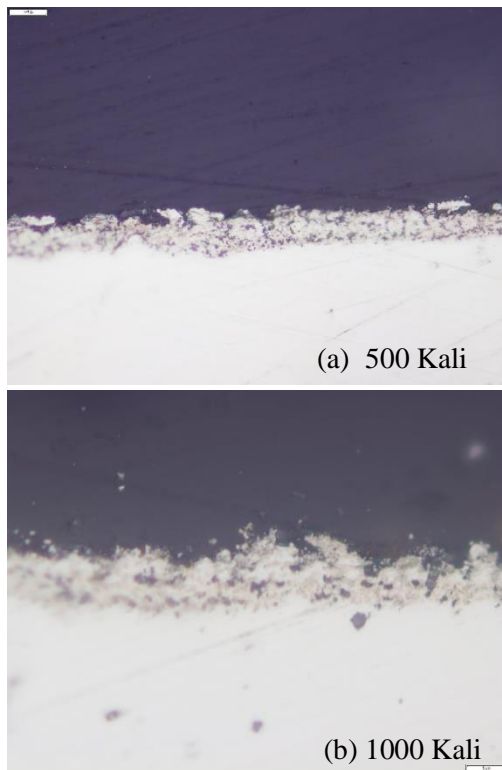


Gambar 4.3 Penampang Ketebalan Lapisan Karbida Spesimen Uji dengan Temperatur 900°C pada Perbesaran (a). 500x (b). 1000x

Berdasarkan hasil dari pengamatan menggunakan mikroskop pada gambar 4.3 lapisan karbida yang terbentuk pada spesimen uji dengan Temperatur 900°C memiliki ketebalan mencapai 7,31 μm .

4.3.3. Hasil Pengamatan Ketebalan dengan Variasi Suhu 1000°C

Pengamatan ketebalan lapisan dilakukan pada spesimen yang telah diberi proses TRD (*Thermo Reactive Diffusion*) termis pada temperatur reaksi 1000°C pada penahanan waktu selama 6 jam. Setelah pemanasan, spesimen didinginkan dengan media udara. Berikut ini adalah gambar hasil pengamatan ketebalan lapisan yang diambil dengan menggunakan mikroskop optik Olympus.

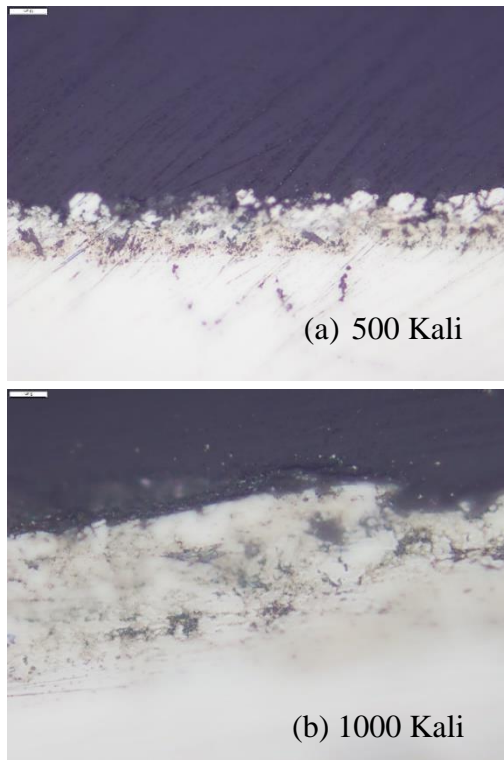


Gambar 4.4 Penampang Ketebalan Lapisan Karbida Spesimen Uji dengan Temperatur 1000°C pada Perbesaran (a). 1000x (b). 500x

Berdasarkan hasil dari pengamatan menggunakan mikroskop pada gambar 4.4 lapisan karbida yang terbentuk pada spesimen uji dengan Temperatur 1000°C memiliki ketebalan mencapai 10,11 μm .

4.3.4. Hasil Pengamatan Ketebalan dengan Variasi Suhu 1100 °C

Pengamatan ketebalan lapisan dilakukan pada spesimen yang telah diberi proses TRD (*Thermo Reactive Diffusion*) termo pada temperatur reaksi 1100°C pada penahanan waktu selama 6 jam. Setelah pemanasan, spesimen didinginkan dengan media udara. Berikut ini adalah gambar hasil pengamatan ketebalan lapisan yang diambil dengan menggunakan mikroskop optik Olympus.



Gambar 4.5 Penampang Ketebalan Lapisan Karbida Spesimen Uji dengan Temperatur 1100°C pada Perbesaran (a). 1000x (b). 500x

Berdasarkan hasil dari pengamatan menggunakan mikroskop pada gambar 4.5 lapisan karbida yang terbentuk pada spesimen uji dengan Temperatur 1100°C memiliki ketebalan mencapai 15,35 μm .

4.4. Analisa hasil pengujian SEM/EDS

Pengujian *Scanning electron* (SEM) dilakukan bertempat di Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember menggunakan alat pemindai elektron “Hitachi”. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketebalan dari lapisan karbida yang terbentuk dan mengetahui perubahan kandungan unsur diantara lapisan karbida dan *base metal*. Berikut merupakan hasil analisa ketebalan yang diperoleh melalui pengujian SEM.

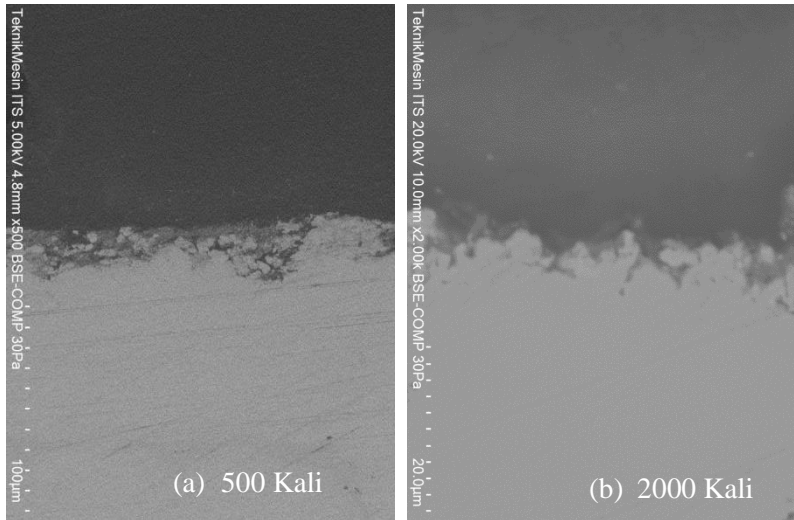
Tabel 4.4 Hasil Analisa Melalui Pengujian SEM

Temperatur	Ketebalan			Rata-rata	Standar Devisiasi
	1.0	2.0	3.0		
800	0.8	0.7	1.0	0.8	0.163918
900	8.0	7.4	7.8	7.8	0.298849
1000	13.2	12.9	11.4	11.4	0.92465
1100	11.3	12.3	14.2	12.6	1.466129

4.4.1. Pengujian SEM/EDS Temperatur 800°C

a. Pengujian SEM

Berikut ini merupakan hasil SEM AISI 440C setelah proses TRD Pada temperatur 800°C:

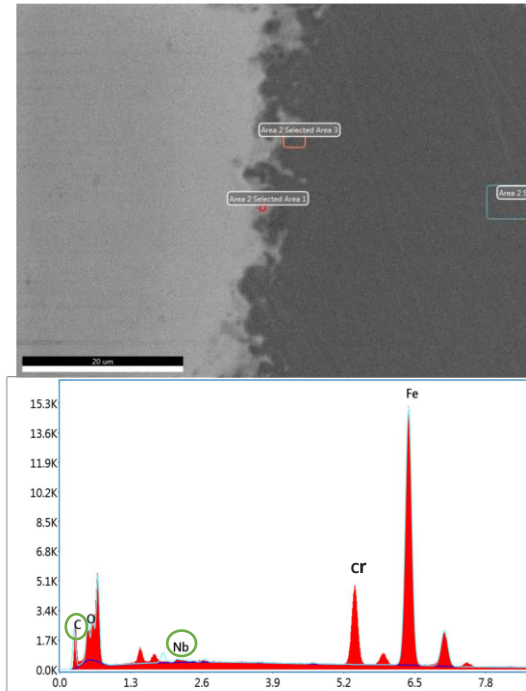


Gambar 4.6 Hasil Pengamatan SEM Spesimen Temperatur 800°C
(a) Perbesaran 500 Kali (b) Perbesaran 2000 Kali

Gambar 4.6 menunjukkan hasil pengujian SEM dari AISI 440C pada temperatur reaksi 800°C selama 6 jam. Pada gambar 4.6 terlihat bahwa pada temperatur 800°C lapisan yang terbentuk tidak homogen dan memiliki porositas yang tinggi sehingga sulit untuk diketahui nilai ketebalan rata-ratanya. Hal ini dapat disebabkan karena pada temperatur tersebut energi yang diperlukan untuk terjadinya proses difusi belum mampu menghasilkan ikatan antara niobium dan *base metal*.

b. Pengujian EDS

Berikut ini merupakan hasil analisa EDS *spot* AISI 440C setelah proses TRD Pada temperatur 800°C.



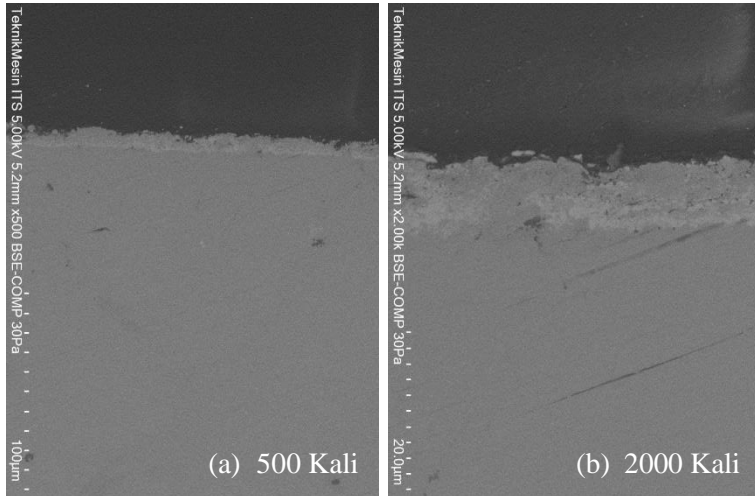
Gambar 4.7 Hasil Pengujian EDS *Spot* pada spesimen temperatur 800°C

Berdasarkan hasil pengujian EDS *spot* pada gambar 4.7 memperlihatkan hasil yang menyerupai hasil pengujian XRD. Pada spesimen TRD pada temperatur reaksi 800°C kandungan niobium sangat kecil terlihat dari *peak* niobium yang lebih kecil dibanding dengan *peak* dari unsur yang lain sehingga dapat mengindikasikan bahwa pada spesimen TRD pada temperatur reaksi 800°C tidak terbentuk lapisan niobium karbida.

4.4.2. Pengujian SEM/EDS Temperatur 900°C

a. Pengujian SEM

Berikut ini merupakan hasil SEM AISI 440C setelah proses TRD Pada temperatur 900°C:

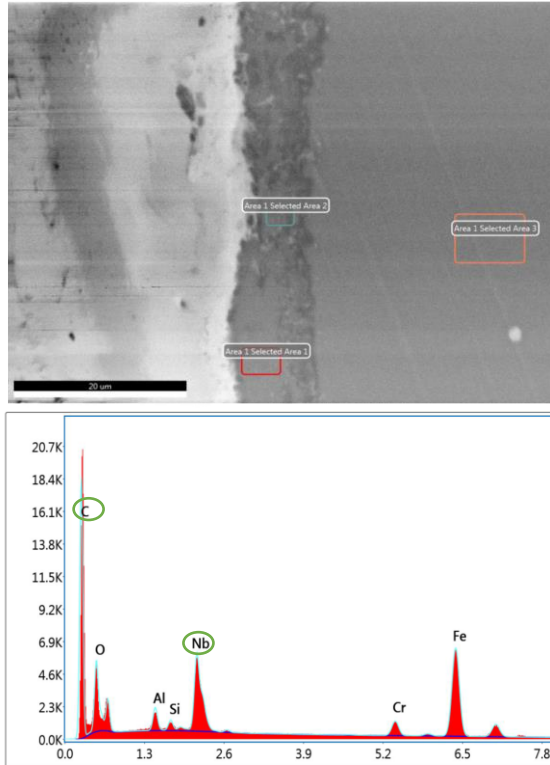


Gambar 4.8 Hasil Pengamatan SEM Spesimen Temperatur 900°C (a) Perbesaran 500 Kali (b) Perbesaran 2000 Kali

Gambar 4.8 menunjukkan hasil pengujian SEM dari AISI 440C pada temperatur reaksi 900°C selama 6 jam. Berdasarkan hasil pengujian SEM seperti yang terlihat pada gambar 4.8 ketebalan karbida yang diperoleh mencapai 8,026 µm. Dari gambar 4.8 terlihat bahwa pada temperatur 900°C lapisan niobium terbentuk lebih homogen pada permukaan substrat. Hal ini dapat dibuktikan dengan tidak adanya porositas pada spesimen yang telah diberikan proses TRD.

b. Pengujian EDS

Berikut ini merupakan hasil analisa EDS *spot* AISI 440C setelah proses TRD Pada temperatur 900°C.



Gambar 4.9 Hasil Pengujian EDS *Spot* pada spesimen temperatur 900°C

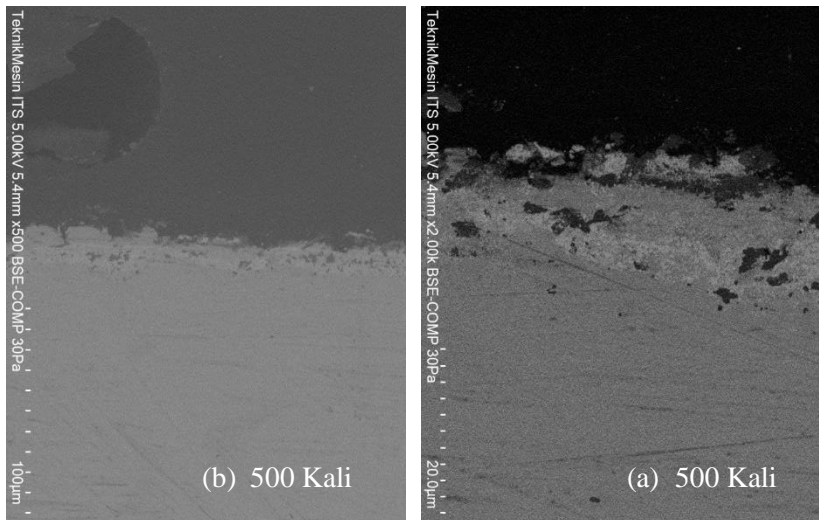
Berdasarkan hasil pengujian EDS *spot* pada gambar 4.9 memperlihatkan hasil yang sama dengan hasil pengujian XRD. Pada spesimen dengan proses TRD pada temperatur reaksi 900°C terlihat kandungan niobium dan karbon yang terlihat pada gambar 4.9. Hal ini dapat dibuktikan melalui gambar 4.9 dimana pada

gambar tersebut terlihat *peak* dari Nb dan C yang cukup tinggi. Dari hasil pengujian tersebut mengindikasikan bahwa ada ikatan antara karbon dengan niobium yang membentuk lapisan niobium karbida pada material AISI 440C.

4.4.3. Pengujian SEM/EDS Temperatur 1000°C

a. Pengujian SEM

Berikut ini merupakan hasil SEM AISI 440C setelah proses TRD Pada temperatur 1000°C:

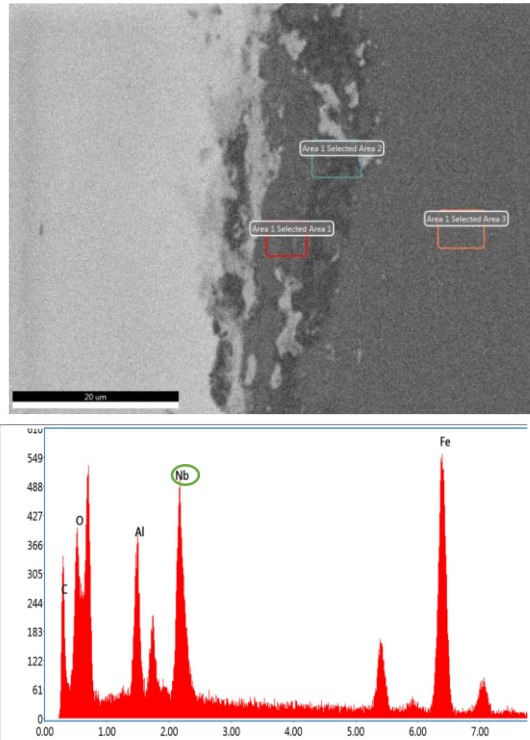


Gambar 4.10 Hasil Pengamatan SEM Spesimen Temperatur 1000°C (a) Perbesaran 500 Kali (b) Perbesaran 2000 Kali

Gambar 4.10 menunjukkan hasil pengujian SEM dari AISI 440C pada temperatur reaksi 1000°C selama 6 jam. Berdasarkan hasil pengujian SEM seperti yang terlihat pada gambar 4.10 ketebalan karbida yang diperoleh mencapai 13,164 μm . Berdasarkan gambar 4.10 terlihat bahwa lapisan niobium karbida yang terbentuk lebih tebal. Dan dapat dilihat dari gambar 4.10 material dengan temperatur reaksi 1000°C terdapat beberapa bagian yang mengalami porositas pada bagian *coating*.

b. Pengujian EDS

Berikut ini merupakan hasil analisa EDS *spot* AISI 440C setelah proses TRD Pada temperatur 1000°C.



Gambar 4.11 Hasil Pengujian EDS *Spot* pada Spesimen Temperatur 1000°C

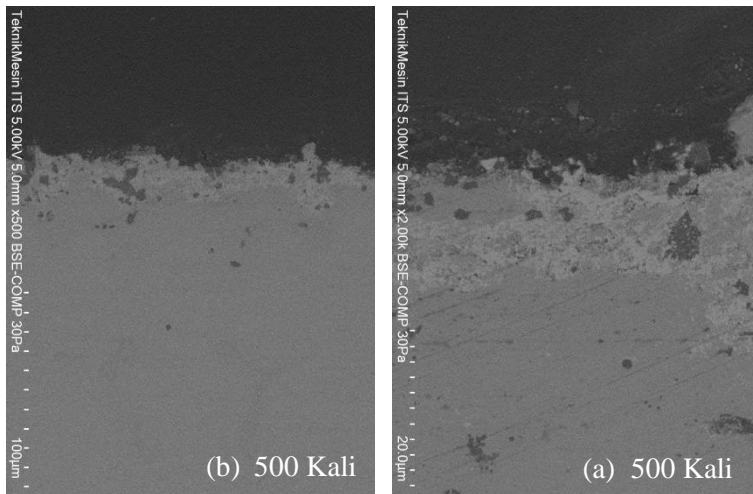
Berdasarkan hasil pengujian EDS *spot* pada gambar 4.11 memperlihatkan hasil yang sama dengan hasil pengujian XRD. Pada spesimen dengan proses TRD pada temperatur reaksi 1000°C terlihat kandungan niobium dan karbon yang terlihat pada gambar 4.11. Hal ini dapat dibuktikan melalui gambar 4.11 dimana pada gambar tersebut terlihat *peak* dari Nb dan C yang cukup tinggi. Dari hasil pengujian tersebut mengindikasikan bahwa ada ikatan

antara karbon dengan niobium yang membentuk lapisan niobium karbida pada material AISI 440C.

4.4.4. Pengujian SEM/EDS Temperatur 1100°C

a. Pengujian SEM

Berikut ini merupakan hasil SEM AISI 440C setelah proses TRD Pada temperatur 1100°C:

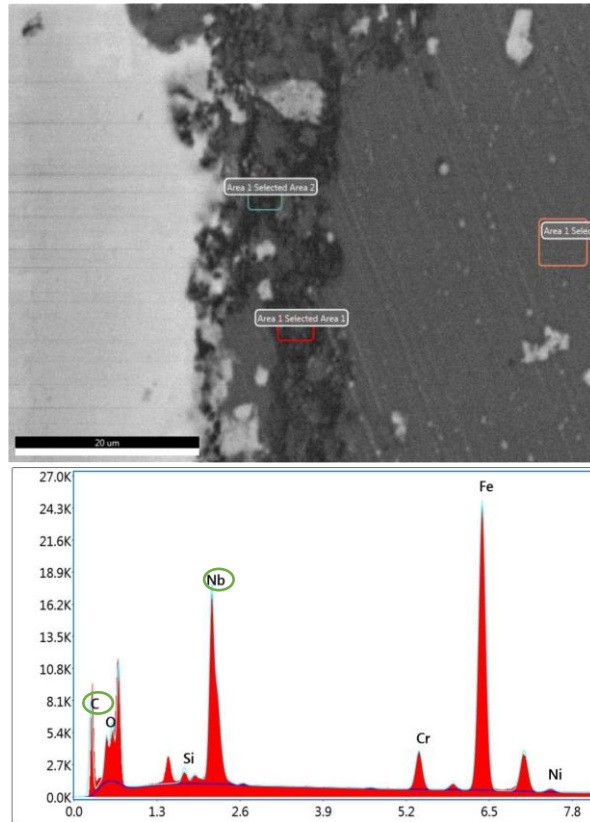


Gambar 4.12 Hasil Pengamatan SEM Spesimen Temperatur 1100°C (a) Perbesaran 500 Kali (b) Perbesaran 2000 Kali

Gambar 4.12 menunjukkan hasil pengujian SEM dari AISI 440C pada temperatur reaksi 1100°C selama 6 jam. Berdasarkan hasil pengujian SEM seperti yang terlihat pada gambar 4.11 ketebalan karbida yang diperoleh mencapai 14,218 µm. Dari gambar tersebut memperlihatkan pada temperatur reaksi 1100°C memiliki polaritas yang tinggi.

b. Pengujian EDS

Berikut ini merupakan hasil analisa EDS AISI 440C setelah proses TRD Pada temperatur 1100°C.



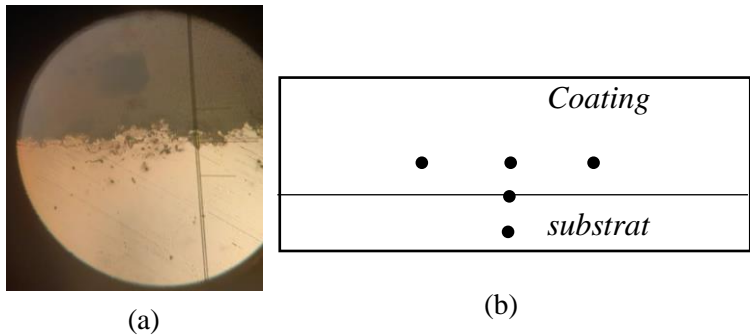
Gambar 4.13 Hasil Pengujian EDS *Spot* pada Spesimen Temperatur 1100°C

Berdasarkan hasil pengujian EDS *spot* pada gambar 4.13 terlihat kandungan niobium dan karbon yang terdapat pada spesimen. Hal ini dapat dibuktikan melalui gambar 4.13 dimana pada gambar tersebut terlihat *peak* dari Nb dan C yang cukup

tinggi. Dari hasil pengujian tersebut mengindikasikan bahwa ada ikatan antara karbon dengan niobium yang membentuk lapisan niobium karbida pada material AISI 440C.

4.5. Analisa Pengujian Kekerasan

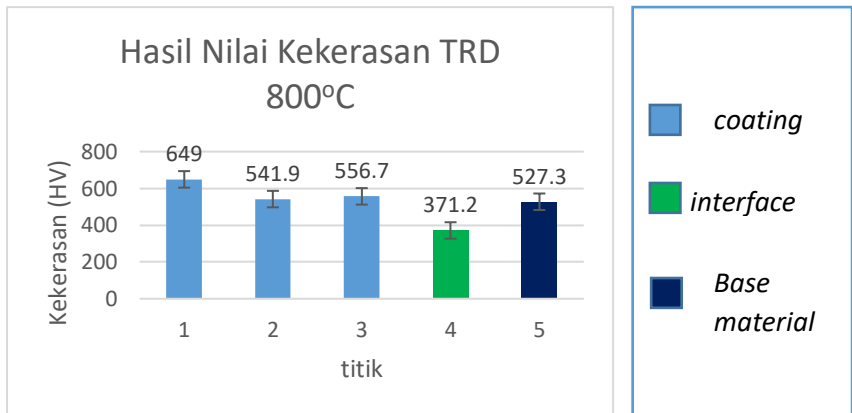
Pengujian kekerasan mikro dilakukan pada semua spesimen yang telah di berikan perlakuan TRD (*Thermo Reactife Diffusion*) dengan pembebanan sebesar 0,05 HV pada lapisan karbida yang terbentuk disisi spesimen uji dan di bagian tengah spesimen yang tidak mengalami proses TRD. Pengujian dilakukan dengan mengindentasi spesimen sebanyak 5 kali pada masing-masing spesimen. Contoh pengujian kekerasan mikro pada AISI 420 terdapat pada gambar 4.14. data yang didapatkan dari mesin pengujian kekerasan mikro terdapat pada tabel 4.5.



Gambar 4.14 (a) Contoh Hasil Indentasi pada Pengujian Kekerasan Mikro dan (b) Contoh Posisi Indentasi pada Pengujian Kekerasan Mikro

Tabel 4.5 Hasil Nilai Kekerasan Mikro AISI 440C

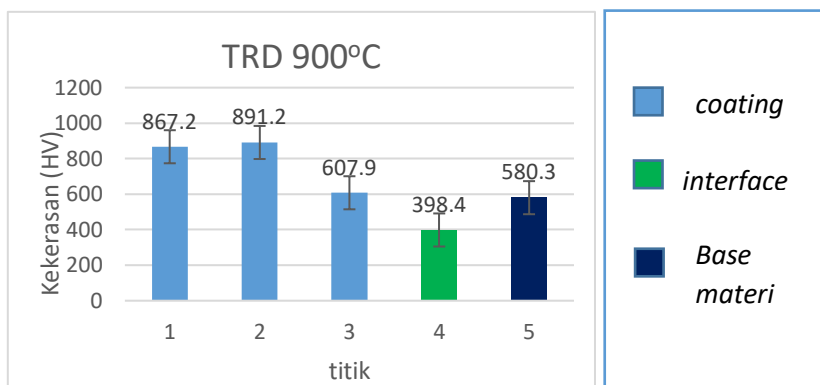
Nilai Kekerasan Spesimen (Hv)					
no	Non TRD	TRD 800oC	TRD 900oC	TRD 1000oC	TRD 1100oC
1	522	649	867.2	1074	1107
2	542	541.9	891.2	1081	785
3	548	556.7	607.9	607.9	685.1
4	547	371.2	398.4	440	439.8
5	547	527.3	580.3	440.4	474.4
Rata-rata	541.2	582.5	788.8	921.0	859.0
ST Deviasi	10.99	58.04	157.09	271.15	220.48



Gambar 4.15 Nilai Kekerasan Spesimen dengan Temperatur Reaksi 800°C

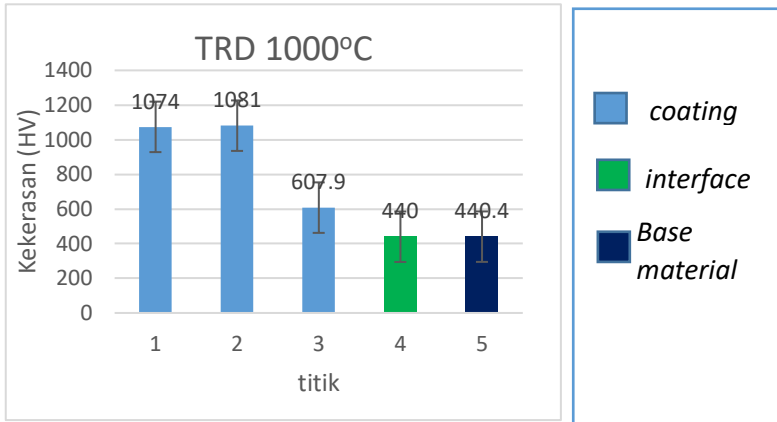
Berdasarkan gambar 4.15 memperlihatkan nilai kekerasan pada bagian *coating* pada spesimen dengan temperatur reaksi

800°C mencapai 649 HV pada daerah *interface* kekerasan yang diperoleh sebesar 371,2 HV, dan di daerah *base material* kekerasan yang diperoleh sebesar 527,3 HV. Berdasarkan hasil dari pengujian kekerasan tersebut dapat mengindikasikan bahwa pada spesimen yang diberikan proses TRD pada temperatur reaksi 800°C tidak terbentuk *coating*. Hal ini terlihat dari gambar 4.15 tiap titik memiliki nilai kekerasan yang hampir sama.



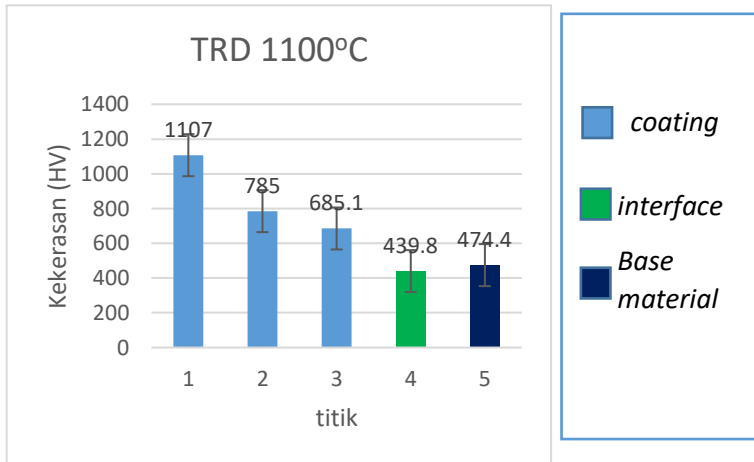
Gambar 4.16 Nilai Kekerasan Spesimen dengan Temperatur Reaksi 900°C

Berdasarkan gambar 4.16 memperlihatkan nilai kekerasan pada bagian coating pada spesimen dengan temperatur reaksi 900°C mencapai 891,2 HV, pada daerah *interface* kekerasan yang diperoleh sebesar 398,4 HV, sedangkan pada daerah *base material* kekerasan yang diperoleh sebesar 580,3 HV. Berdasarkan hasil dari pengujian kekerasan tersebut dapat mengindikasikan bahwa pada spesimen yang diberikan proses TRD pada temperatur reaksi 900°C terbentuk *coating*. Hal ini terlihat dari gambar 4.16 pada titik 1,2,3 memiliki nilai kekerasan yang lebih besar dibanding titik 4 dan 5.



Gambar 4.17 Nilai Kekerasan Spesimen dengan Temperatur Reaksi 1000°C

Berdasarkan gambar 4.17 memperlihatkan nilai kekerasan pada bagian coating pada spesimen dengan temperatur reaksi 1000°C mencapai 1081 HV, pada daerah *interface* kekerasan yang diperoleh sebesar 440 HV, sedangkan pada daerah *base material* kekerasan yang diperoleh sebesar 440,4 HV. Berdasarkan hasil dari pengujian kekerasan tersebut dapat mengindikasikan bahwa pada spesimen yang diberikan proses TRD pada temperatur reaksi 1000°C terbentuk *coating*. Hal ini terlihat dari gambar 4.17 pada titik 1,2,3 memiliki nilai kekerasan yang lebih besar dibanding titik 4 dan 5.



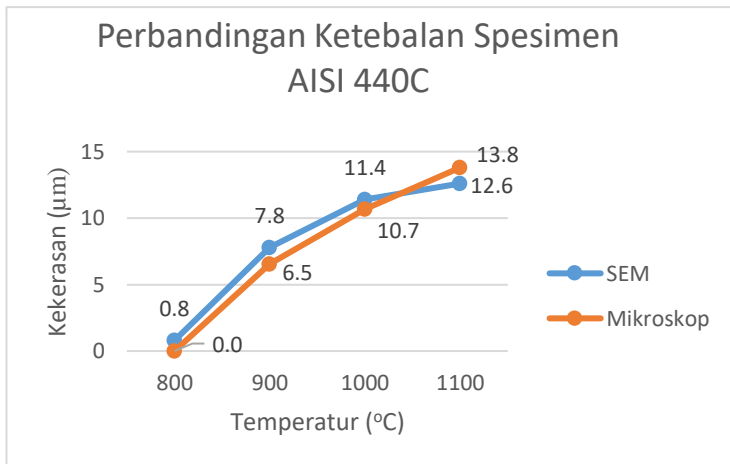
Gambar 4.18 Nilai Kekerasan Spesimen dengan Temperatur Reaksi 1100°C

Berdasarkan gambar 4.18 memperlihatkan nilai kekerasan pada bagian coating pada spesimen dengan temperatur reaksi 1100°C mencapai 1107 HV, pada daerah *interface* kekerasan yang diperoleh sebesar 439,8 HV, sedangkan pada daerah *base material* kekerasan yang diperoleh sebesar 474,4 HV. Berdasarkan hasil dari pengujian kekerasan tersebut dapat mengindikasikan bahwa pada spesimen yang diberikan proses TRD pada temperatur reaksi 1100°C terbentuk *coating*. Hal ini terlihat dari gambar 4.18 pada titik 1,2,3 memiliki nilai kekerasan yang lebih besar dibanding titik 4 dan 5.

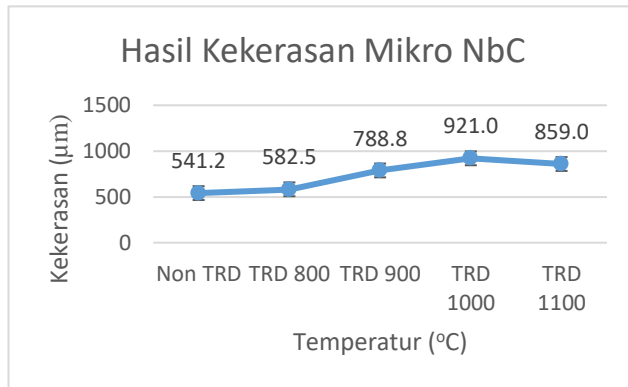
Pada penelitian yang dilakukan nilai kekerasan yang diperoleh lebih rendah dari pada hasil penelitian terdahulu. Hal ini dapat disebabkan karena adanya daerah miskin karbon (*depleted zones*) sehingga menyebabkan porositas terhadap lapisan karbida yang terbentuk dan membuat nilai kekerasan menurun.

4.6. Ringkasan Analisis

Parameter keberhasilan dari penelitian ini dibuktikan dengan hasil pengujian difraksi sinar X dan EDS yang menunjukkan adanya ikatan antara unsur karbon (C) pada baja AISI 440C dengan niobium (Nb) sebagai unsur pembentuk karbida menjadi senyawa NbC. Tetapi setelah melewati temperatur optimum terdapat unsur pembentuk karbida yang tidak berikatan dengan unsur karbon sehingga menimbulkan terbentuknya porositas. Berdasarkan hasil pengamatan mikroskop dan SEM ketebalan lapisan niobium karbida yang terbentuk akan meningkat seiring meningkatnya temperatur pemanasan tetapi mengalami penurunan laju pertambahan ketebalan setelah melewati batas optimum. Hal ini disebabkan ketika melewati temperatur optimum energi yang diperlukan untuk terjadinya ikatan menjadi sangat besar sehingga akan menimbulkan terbentuknya porositas yang menyebabkan kekerasan material yang telah diberi perlakuan menurun.

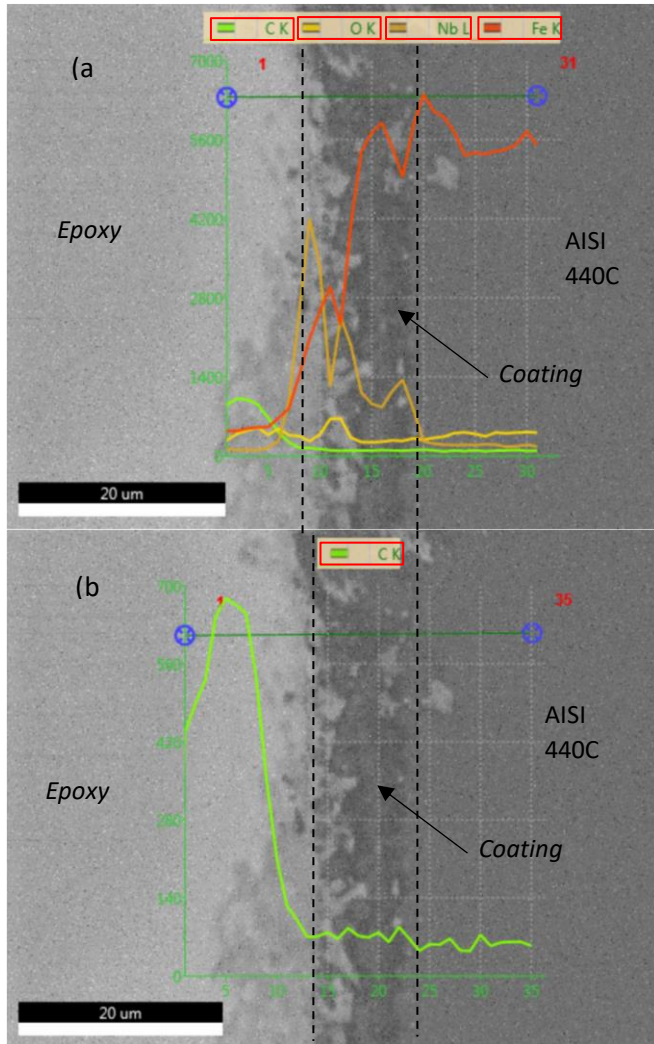


Gambar 4.19 Hasil Analisa Ketebalan dengan Pegamatan Mikroskop dan Pengujian SEM



Gambar 4.20 Hasil Kekerasan Mikro AISI 440C

Berdasarkan gambar 4.19 terlihat bahwa ketika temperatur melebihi 1000°C maka laju pertambahan ketebalan menurun dan kenaikan ketebalan menjadi tidak signifikan. Kondisi tersebut diperkuat oleh hasil pengujian kekerasan mikro pada gambar 4.20, dimana kekerasan mikro spesimen meningkat pada spesimen dengan temperatur reaksi 800°C, spesimen dengan temperatur reaksi 900°C, dan spesimen dengan temperatur reaksi 1000°C tetapi mengalami penurunan pada spesimen dengan temperatur reaksi 1100°C. Penurunan kekerasan tersebut disebabkan oleh temperatur penahanan yang terlalu tinggi. Jika lapisan karbida yang terbentuk sudah optimum pada temperatur reaksi 1000°C dan difusi masih terus berlanjut, maka akan muncul daerah *depleted zone* atau daerah yang miskin akan karbon dimana kondisi ini karbon telah habis berikatan sehingga muncul porositas pada spesimen.



Gambar 4.21 Hasil EDS *Line* Spesimen Pada Temperatur Optimum (a). Dengan unsur Fe, Nb, O, C (b). Dengan unsur C

Berdasarkan gambar 4.21 (a) hasil analisa EDS *line* pada temperatur optimum membuktikan bahwa kandungan Fe pada material mengalami penurunan pada bagian *coating* sedangkan kandungan niobium mengalami kenaikan. Hal ini mengindikasikan bila pada bagian tepi niobium menarik sejumlah karbon pada *base material* sehingga ikatan Fe dengan karbon terlepas dan karbon berikatan dengan niobium, seperti yang terlihat pada gambar 4.21 (b) kandungan karbon pada daerah *coating* cenderung konstan yang dapat mengindikasikan terjadi ikatan antara karbon dengan niobium.

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan mengenai pengaruh proses Thermo-Reactive Diffusion pada stainless steel AISI 440C sebagai berikut :

1. Peningkatan Temperatur reaksi pada proses *Thermo Reactive diffusion* mempengaruhi ketebalan lapisan niobium karbida (NbC) yang terbentuk pada permukaan spesimen. Melalui pengamatan mikroskop nilai ketebalan meningkat dari 0 hingga 13,8 mikron. Sedangkan melalui pengujian SEM ketebalan meningkat dari 0,8 hingga 12,6 mikron.
2. Kenaikan nilai kekerasan terjadi pada spesimen yang telah diberikan perlakuan *Thermo Reactive Diffusion* berbasis wadah reaksi pada penahanan waktu 6 jam pada temperatur reaksi 800°C, 900°C, dan 1000°C yaitu sebesar 582,5 HV, 788,8 HV, 921 HV. akan tetapi, pada temperatur 1100°C laju pembentukan lapisan karbida menurun menjadi 859 HV. Hal tersebut terjadi karena temperatur reaksi yang diberikan telah melewati temperatur optimum yaitu 1000°C sehingga terjadi *depleted zones* atau daerah yang miskin karbon. Kondisi itu menyebabkan kadar karbon yang akan berikatan dengan niobium berkurang sehingga menyebabkan porositas pada lapisan karbida yang terbentuk.

5.2. Saran

Setelah dilakukan penelitian didapat beberapa saran agar diperoleh informasi yang lebih komprehensif yaitu :

1. Diperlukan penelitian *Thermo Reactive Diffusion* dengan komposisi campuran yang berbeda dengan penelitian ini agar memperoleh komposisi yang optimal dan lapisan

karbida yang terbentuk memiliki kekerasan dan ketebalan tinggi serta lapisan yang terbentuk lebih homogen.

DAFTAR PUSTAKA

1. S. Lampman. 1991. *Surface Hardening of Steel*, ASM Internasional Vol 04 page 607.
2. ASTM F899. *Standard specification for Stainless Steel for Surgical Instrument*.
3. Dongzhu Lu, Quantong Jiang, Meng Zheng, Jie Zhang, Yanliang Huang and Baorong Hou, 2019. *The Role of Ammonium Chloride in the Powder Thermal Diffusion Alloying Process on a Magnesium Alloy*
4. Reza Soltani, M. H. Sohi. 2017. *Evaluation of niobium carbide coatings produced on AISI L2 steel via TRD technique*. University of Tehran, Iran.
5. Sidney H. Avner. 1974. *Alloy Steel, Introduction to Physical Metallurgy 2nd Edition* page 350.
6. Tohru Arai. 1991. *Thermoreactive Deposition/Diffusion Process for Surface Hardening of Steels*, ASM Internasional Vol 04 page 1000.
7. Ugur Sen. 2005. *Wear Properties of Niobium Carbide Coatings Performed by Pack Method on AISI 1040 Steel*. Sakarya University. Turkey
8. William D. Callister dan David G. Rethwisch. 2009. *Material Science and Engineering and Introduction 8th edition* page 112.
9. T. Arai, H. Fujita, Y. Sugimoto, Y. Ohta, *Diffusion carbide coatings formed in molten borax systems*, J. Mater. Eng. 9 (1987) 183–189.
10. ASM *Metal Handbook*, Vol 08 *Mechanical Testing and Evaluation*.
11. ASTM 384. *Standard Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials*.
12. George F. V. 2004. *Metallography and Microstructures, Vol 9*, ASM Handbook, ASM International, p. 3–20.
13. H. E. Exner and S. Weinbruch., 2004. *Scanning Electron Microscopy*. Darmstadt University of Technology, Germany.

(ASM Metal Handbook, Vol 09 Metallurgy and Microstructure).

14. Jeff Hancock, Blue Wave Ultrasonics.1994. *Ultrasonic Cleaning*, ASM Internasional Vol 04 page 101-107.
15. X.S.Fan, Z.G.Yang, C. Z.Zhang, C.D.Hang, H.Q.Che. *Evaluation of vanadium carbide coating on AISI H13 obtained by thermo-reactive deposition technique Journal of surface & coatings technology.* (2010). pp 641-646

BIODATA PENULIS



Gemilang Fajar Hariyanto merupakan anak kedua dari pasangan (Alm) subarjo dan Ibu Nanik Kusmani yang lahir di Sukoharjo pada hari Sabtu 14 Maret 1998. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai dari tahun 2004 hingga 2010 di SD Tarakanita Solo Baru. Kemudian melanjutkan ke sekolah menengah pertama pada tahun 2010 hingga 2013 di SMP PL Bintang Laut Surakarta dan sekolah menengah atas di SMAN 1 Surakarta pada tahun 2013

hingga 2016. Penulis memutuskan untuk melanjutkan studinya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) dengan mengambil jurusan Teknik Mesin.

Selama masa perkuliahan, penulis banyak mengikuti kegiatan akademik maupun non akademik untuk menunjang *softskill* dan *hardskill*. Penulis aktif di organisasi Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin dan PMK ITS sebagai Staff. Penulis juga aktif sebagai asistenten mata kuliah dan asisten praktikum di Laboratorium Metalurgi. Untuk informasi dan kepentingan penelitian dapat menghubungi email lukiusgemilang143@gmail.com.