



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM184835

**PENGARUH AKTIVATOR AMMONIUM
CHLORIDE DALAM PEMBENTUKAN LAPISAN
NIOBIUM KARBIDA MELALUI PROSES THERMO
REACTIVE DIFFUSION PADA BAJA
MARTENSITIC STAINLESS STEEL AISI 420B
APLIKASI PADA SURGICAL TOOLS**

NEHEMIA TEGAR CHARISMA
NRP. 0211154000086

Dosen Pembimbing
Fahmi Mubarak, S.T., M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2021



TUGAS AKHIR - TM184835

**PENGARUH AKTIVATOR AMMONIUM
CHLORIDE DALAM PEMBENTUKAN LAPISAN
NIOBIUM KARBIDA MELALUI PROSES THERMO
REACTIVE DIFFUSION PADA BAJA
MARTENSITIC STAINLESS STEEL AISI 420B
APLIKASI PADA SURGICAL TOOLS**

NEHEMIA TEGAR CHARISMA
NRP. 0211154000086

Dosen Pembimbing
FAHMI MUBAROK S.T., M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2021

FINAL PROJECT - TM184835

**PENGARUH AKTIVATOR AMMONIUM
CHLORIDE DALAM PEMBENTUKAN LAPISAN
NIOBIUM KARBIDA MELALUI PROSES THERMO
REACTIVE DIFFUSION PADA BAJA
MARTENSITIC STAINLESS STEEL AISI 420B
APLIKASI PADA SURGICAL TOOLS**

NEHEMIA TEGAR CHARISMA
NRP. 0211154000086

Supervisor
FAHMI MUBAROK S.T., M.Sc., Ph.D.

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2021

HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH AKTIVATOR *AMMONIUM CHLORIDE* DALAM PEMBENTUKAN LAPISAN NIOBIUM KARBIDA MELALUI PROSES *THERMO REACTIVE DIFFUSION* PADA BAJA *MARTENSITIC STAINLESS STEEL AISI 420B* APLIKASI PADA *SURGICAL TOOLS*

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

NEHEMIA TEGAR CHARISMA

NRP. 0211154000086

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Fahmi Mubarak S.T., M.Sc., Ph.D. (Pembimbing I)
NIP. 197801152003121002
2. Suwarno, ST, M.Sc, Ph.D. (Penguji I)
NIP. 198005202005011003
3. Ika Dewi Wijayanti S.T., M.Sc., Ph.D. (Penguji II)
NIP. 198512022014042002
4. Putu Suwarta S.T., M.Sc., Ph.D. (Penguji III)
NIP. 198203032009121007

SURABAYA

MARET, 2021

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH AKTIVATOR AMMONIUM CHLORIDE
DALAM PEMBENTUKAN LAPISAN NIOBIUM
KARBIDA MELALUI PROSES THERMO REACTIVE
DIFFUSION PADA BAJA MARTENSITIC STAINLESS
STEEL AISI 420B APLIKASI PADA SURGICAL
TOOLS**

Nama Mahasiswa : Nehemia Tegar Charisma
NRP : 0211154000086
Departemen : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Fahmi Mubarak S.T., M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Bone drill atau bor tulang adalah salah satu peralatan yang sering digunakan dalam mendukung kesuksesan operasi ortopedi seperti operasi patah tulang. Mata bor pada alat ini harus memiliki sifat biokompatibilitas, kekerasan, dan tahan keausan yang baik agar tidak menyebabkan iritasi atau peradangan pada tubuh pasien pasca operasi dilakukan. Untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus pada alat ini maka perlu dilakukan perlakuan permukaan agar dapat menghasilkan surgical tools yang diinginkan.

Pada kali ini, dilakukan penelitian yang mana bertujuan untuk menaikkan kekerasan yaitu menggunakan metode Thermo Reactive Diffusion (TRD) berbasis powder pack yang dilakukan dengan wadah tertutup. Dalam penelitian ini, pelapis niobium karbida (NbC) dipilih sebagai elemen pembentuk karbida karena memiliki sifat biokompatibilitas yang baik. Kemudian untuk spesimen yang digunakan yaitu martensitic steel AISI 420B karena memiliki sifat biokompatibilitas yang baik, tahan aus, dan kekerasan yang tinggi. Pada penelitian ini juga bertujuan untuk mengeksplorasi pengaruh persentase ammonium chloride (NH₄Cl) sebagai aktivator dalam serbuk formula terhadap pembentukan lapisan niobium pada permukaan AISI 420B. Pada penelitian ini, formula dibentuk dengan memvariasikan presentase aktivator

NH₄Cl dari 5 % wt, 7,5% wt, dan 10 %wt yang kemudian dicampur dengan bubuk ferro-niobium sebagai paduan utama pembentuk karbida, dan alumina (Al₂O₃) sebagai inert filler. Proses TRD ini akan dilakukan menggunakan dapur listrik pada temperatur 1000 °C dan selama 6 jam. Kemudian didinginkan melalui media udara sekitar.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketebalan lapisan niobium karbida meningkat seiring dengan penambahan kadar NH₄Cl sebagai aktivator pada proses Thermo Reactive Diffusion dengan waktu penahanan 6 jam dan suhu 1000°C. Nilai kekerasan spesimen yang diberikan proses Thermo Reactive Diffusion mengalami penurunan seiring dengan penambahan kadar NH₄Cl sebagai aktivator. Hal ini terjadi karena timbulnya fenomena porositas pada lapisan yang terbentuk akibat 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 AMMONIUM CHLORIDE ACTIVATOR IN THE FORMATION OF NIOBIUM CARBIDE COATING THROUGH THERMO REACTIVE DIFFUSION ON MARTENSITIC STAINLESS STEEL AISI 420B APPLICATIONS ON SURGICAL TOOLS

Student's Name : Nehemia Tegar Charisma
NRP : 0211154000086
Department : Mechanical Engineering
Supervisor : Fahmi Mubarak S.T., M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

Bone drill or bone drill is one of the tools that is often used to support the success of orthopedic surgery such as fracture surgery. The drill bit in this tool must have good biocompatibility, hardness, and wear resistance so as not to cause irritation or inflammation in the patient's body after surgery. To increase the hardness and wear resistance of this tool, it is necessary to carry out surface treatment in order to produce the desired surgical tools.

At this time, a study was conducted which aims to increase hardness using the powder pack-based Thermo Reactive Diffusion (TRD) method which was carried out in a closed container. In this study, niobium carbide (NbC) coatings were selected as carbide-forming elements because of their good biocompatibility properties. Then for the specimen used is martensitic steel AISI 420B because it has good biocompatibility properties, wear resistance, and high hardness. This study also aims to explore the effect of the percentage of ammonium chloride (NH₄Cl) as an activator in formula powders on the formation of a niobium layer on the surface of AISI 420B. In this study, the formula was formed by varying the percentage of NH₄Cl activator from 5% wt, 7.5% wt, and 10% wt which was then mixed with ferro-niobium powder as the main alloy forming carbides, and alumina (Al₂O₃) as an

innert filler. The TRD process will be carried out using an electric kitchen at a temperature of 1000 o C and for 6 hours. Then cooled through the ambient air medium.

The results showed that the thickness of the niobium carbide layer increased with the addition of NH₄Cl levels as an activator in the Thermo Reactive Diffusion process with a holding time of 6 hours and a temperature of 1000oC. The hardness value of the specimens given the Thermo Reactive Diffusion process decreased along with the addition of NH₄Cl levels as an activator. This occurs due to the phenomenon of porosity in the layer that is formed due to the reduced carbon content available from the base material which can diffuse to the surface to bind with niobium.

Keywords: thermo-reactive diffusion, martensitic stainless steel, pengerasan permukaan.

KATA PENGANTAR

Pertama puji syukur Saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat serta berkatnya-Nya sehingga Saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir di Departemen Teknik Mesin FTIRS ITS Surabaya.

Selama penyusunan laporan ini, penulis mendapatkan banyak bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih terutama kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan ilmu, kesempatan, berkah, kesehatan, kelancaran, dan kemudahan sehingga penulis dapat menjalankan Tugas Akhir sekaligus menyelesaikan laporan dengan baik.
2. Keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan doa maupun yang lainnya yang tidak bisa saya sebutkan.
3. Bapak Fahmi Mubarak ST., MSc., PhD., selaku dosen pembimbing yang selalu sabar dan telah meluangkan waktu untuk membimbing, mengarahkan, memberi banyak ilmu yang tidak ternilai sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Teman-teman Laboratorium Metalurgi, yang sangat banyak dalam memberikan bahan candaan dan cerita. Terkhusus untuk teman seperjuangan dan begadang dalam menghadapi tugas akhir.
5. Kepada semua saudara saya yang sangat banyak bertemu baik di jalan, warung kopi, dan banyak lagi tempat.

Penulis menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kemajuan ilmu pengetahuan di masa mendatang. Demikian penulis berharap semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semuanya.

Surabaya, 7 Maret 2021
Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	23
1.1 Latar Belakang	23
1.2 Rumusan Masalah	24
1.3 Tujuan Penelitian	24
1.4 Batasan Masalah	25
BAB II DASAR TEORI	27
2.1 Peralatan Operasi Ortopedi	27
2.2 <i>Martensitic Stainless Steels</i>	28
2.3 Pengerasan Permukaan (<i>Surface Hardening</i>)	30
2.4 <i>Thermo Reactive Diffusion</i>	31
2.5 Difusi	34
2.6 Penelitian Terdahulu	36
BAB III METODOLOGI	43
3.1 Diagram Alir Percobaan	43
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	44
3.2.1 Alat yang Digunakan	44
3.2.2 Bahan yang Digunakan	49
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	57
4.1 Pengujian Komposisi Kimia	57
4.2 Pengujian Kekerasan	58
4.3 Pengamatan Mikroskop Optik	61
4.3.1 Pengamatan Mikro pada <i>Cross Section</i>	61
4.3.2 Pengukuran Ketebalan	63
4.4 Pengujian X Ray Diffraction	64
4.5 Pengujian SEM/EDS	65
4.5.1 Pengujian SEM/EDS Variasi A	66

4.5.2 Pengujian SEM/EDS Variasi B	67
4.5.3 Pengujian SEM/EDS Variasi C	69
4.6 Ringkasan Analisis	70
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	75
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran.....	75
LAMPIRAN.....	77
DAFTAR PUSTAKA.....	79
BIODATA PENULIS.....	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kekerasan Permukaan Lapisan Karbida Pada Proses Perlakuan Permukaan (Tohru, 1991).....	32
Gambar 2.2 Reaksi Kimia pada Proses TRD (Kocaman et. al, 2011).....	33
Gambar 2.3 Siklus <i>Thermo Reactive Diffusion</i> (Tohru, 1991)....	34
Gambar 2.4 (a) <i>Interstitial Diffusion</i> dan (b) <i>Vacancy Diffusion</i> (Arai et. al, 1987).....	36
Gambar 2.5 Pengaruh Suhu Pemanasan Proses TRD terhadap Ketebalan Lapisan Karbida (Soltani, 2017).....	38
Gambar 2.6 Pengaruh Waktu Penahanan Proses TRD terhadap Ketebalan Lapisan Karbida (Soltani, 2017).....	38
Gambar 2.7 Pengaruh Komposisi Serbuk Campuran terhadap Ketebalan Lapisan Karbida (Soltani, 2017).....	39
Gambar 2.8 Grafik Ketebalan Lapisan Niobium Karbida yang Terbentuk pada Spesimen AISI 420 dengan Variasi Waktu Penahanan (Hakim, 2019).....	40
Gambar 2.9 Grafik Ketebalan Lapisan Niobium Vanadium Karbida yang Terbentuk pada Spesimen AISI 420 dengan Variasi Waktu Penahanan (Haikal, 2020).....	40
Gambar 2.10 Grafik Ketebalan Lapisan Niobium Karbida yang Terbentuk pada AISI 440 dengan Variasi Temperatur (Harianto, 2019).....	41
Gambar 3.1 Diagram Alir Percobaan.....	44
Gambar 3.2 Wadah Reaksi <i>Powder Pack</i>	45
Gambar 3.3 Mesin <i>Grinder-Polisher</i>	45
Gambar 3.4 <i>Furnace</i>	46
Gambar 3.5 <i>Ballmill</i>	46
Gambar 3.6 <i>Micro Hardness Vickers</i>	48
Gambar 3.7 Mikroskop Optik Olympus BX60M.....	48
Gambar 3.8 <i>Scanning Electron Microscope</i> Hitachiflexi SEM 1000 dilengkapi dengan EDS dari Sistem EDAX.....	49
Gambar 3.9 Spesimen AISI 420B.....	50
Gambar 3.10 Bubuk Ferro-Niobium.....	50

Gambar 3.11 Bubuk NH ₄ Cl.....	51
Gambar 3.12 Bubuk Alumina (Al ₂ O ₃).....	51
Gambar 3.13 Wadah Reaksi dengan Lapisan Semen Alumina...	53
Gambar 3.14 Bubuk Alumina pada Wadah Reaksi	53
Gambar 3.15 Spesimen Uji dan Formula saat dimasukkan ke dalam Wadah Reaksi.....	53
Gambar 3.16 Wadah Reaksi yang sudah di Vakum.....	54
Gambar 3.17 Wadah Reaksi saat di dalam <i>Furnace</i>	54
Gambar 3.18 Wadah Reaksi saat Pendinginan menggunakan Udara Sekitar	55
Gambar 4.1 (a) Contoh Hasil Indentasi pada Pengujian Kekerasan Mikro (b) Contoh Posisi Indentasi pada Pengujian Kekerasan Mikro.....	58
Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Rata-rata AISI 420B.....	60
Gambar 4.3 Penampang Ketebalan Lapisan Karbida Spesimen Uji dengan Formula A pada Perbesaran (a) 500x dan (b) 1000x	62
Gambar 4.4 Penampang Ketebalan Lapisan Karbida Spesimen Uji dengan Formula B pada Perbesaran (a) 500x dan (b) 1000x	62
Gambar 4.5 Penampang Ketebalan Lapisan Karbida Spesimen Uji dengan Formula C pada Perbesaran (a) 500x dan (b) 1000x	62
Gambar 4.6 Grafik ketebalan Lapisan Niobium Karbida yang Terbentuk pada Spesimen Uji.....	64
Gambar 4.7 Grafik Hasil Analisa XRD Spesimen AISI 420B....	65
Gambar 4.8 Hasil Pengamatan SEM Spesimen AISI 420B Formula A (a) Perbesaran 500 Kali (b) Perbesaran 2000 Kali	66
Gambar 4.9 Hasil Pengujian EDS <i>Spot</i> pada Spesimen AISI 420B Formula A	67
Gambar 4.10 Hasil Pengamatan SEM Spesimen AISI 420B Formula B (a) Perbesaran 500 Kali (b) Perbesaran 2000 Kali	68
Gambar 4.11 Hasil Pengujian EDS <i>Spot</i> pada Spesimen AISI 420B Formula B	68
Gambar 4.12 Hasil Pengamatan SEM Spesimen AISI 420B Formula C (a) Perbesaran 500 Kali (b) Perbesaran 2000 Kali	69

Gambar 4.13 Hasil Pengujian EDS <i>Spot</i> pada Spesimen AISI 420B Formula C	70
Gambar 4.14 Hasil Kekerasan Mikro AISI 420B	71
Gambar 4.15 Perbandingan Ketebalan SEM dan Mikroskop Otik	72
Gambar 4.16 Hasil EDS Line spesimen pada Formula A.....	72

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kimia pada Baja Paduan AISI 420B (ASTM F899).....	28
Tabel 2.2 Sifat Mekanik <i>Martensitic Stainless Steel</i> 420B (Tohru, 1991)	29
Tabel 2.3 Metode Pengerasan Permukaan Baja (Ugur, 2005)	30
Tabel 3.1 Komposisi Kimia AISI 420B	50
Tabel 4.1 Komposisi Kimia Hasil Uji Spectrometer dan Komposisi Kimia Standar ASTM F899	57
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kekerasan Mikro	59
Tabel 4.3 Hasil Pengamatan Mikroskop Optik	61
Tabel 4.4 Hasil Analisa Ketebalan Spesimen	63
Tabel 4.5 Ketebalan Hasil Pengujian SEM	66

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Martensitic stainless steel biasa digunakan sebagai bahan dasar peralatan kedokteran terutama peralatan penunjang operasi ortopedi (*surgical tools*) seperti bor tulang/*bone drill*, *locking bone screw*, *ortho-imals*. Alat-alat tersebut merupakan beberapa macam peralatan yang umum digunakan dalam operasi ortopedi seperti operasi patah tulang yang dapat digunakan untuk beberapa kali penggunaan. Alat-alat tersebut harus memiliki standar alat kedokteran yang meliputi kekerasan, tahan keausan, serta biokompatibilitas yang baik agar tidak menyebabkan infeksi atau peradangan pada tubuh pasien pasca dilakukannya operasi. Karbida dan pelapis nitrida logam transisi banyak digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik komponen karena memiliki kekerasan, ketahanan aus dan pelapis ini juga umumnya memiliki koefisien gesek rendah. Terdapat beberapa metode perlakuan permukaan yang dapat dilakukan untuk menghasilkan lapisan keras karbida pada baja seperti *Chemical Vapor Deposition (CVD)*, *Physical Vapor Deposition (PVD)*, *Laser cladding (LC)*, *sintesis in situ (ISS)*, dan lainnya (Arai et. al, 1987).

Proses PVD dan CVD memerlukan keadaan vakum dengan kondisi atmosfer yang terkendali sehingga biaya operasionalnya menjadi tinggi. Pada penelitian ini, *Thermo Reactive Diffusion (TRD)* dipilih karena lebih mudah dilakukan dan lebih ekonomis dibanding proses lainnya. Proses TRD dapat dilakukan pada kondisi atmosfer udara dan sampel yang diberi perlakuan panas tidak mengalami pemanasan setinggi pada proses PVD atau CVD. Proses TRD dapat menghasilkan lapisan keras karbida, nitrida, atau karbonitrida dengan elemen pembentuk utama berupa vanadium, niobium, tantalum, chromium, molybdenum atau tungsten. *Thermo Reactive Diffusion (TRD)* dapat dilakukan dengan dua metode yaitu *molten salt bath* dan *powder pack*. Proses ini dilakukan pada temperatur 850-1050° C dengan waktu

penahanan selama 2-8 jam. *Powder pack* dianggap lebih sederhana dibandingkan dengan metode *salt bath* karena spesimen dikondisikan dengan 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 (Arai et. al, 1987).

Pada penelitian ini, pengaruh persentase aktivator yaitu *ammonium chloride* pada proses *powder pack* TRD akan dipelajari pengaruhnya terhadap pembentukan lapisan niobium karbida pada baja nirkarat martensitik AISI 420B yang umum digunakan sebagai salah satu material pada *surgical tools* ortopedi. Terbentuknya lapisan niobium karbida ini diharapkan menambah keandalan pada peralatan operasi ortopedi tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini akan menggunakan proses *powder pack Thermo Reactive Diffusion* (TRD) dengan variasi persentase aktivator *ammonium chloride*. Perumusan masalah pada penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah pengaruh persentase *ammonium chloride* terhadap ketebalan lapisan niobium karbida yang terbentuk pada AISI 420B.
2. Bagaimanakah pengaruh persentase *ammonium chloride* yang berbeda-beda terhadap morfologi dan kekerasan pada lapisan niobium karbida yang terbentuk.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya pelapisan keras karbida pada baja AISI 420B menggunakan metode *Thermo Reactive Diffusion* (TRD) berbasis wadah reaksi adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh persentase *ammonium chloride* terhadap ketebalan lapisan niobium karbida yang terbentuk pada AISI 420B.

2. Menganalisa morfologi dan kekerasan dari lapisan karbida yang terbentuk ketika dipengaruhi oleh kadar *ammonium chloride* yang berbeda-beda.

1.4 Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam penelitian ini tidak keluar batas dan mencapai tujuan yang diinginkan maka memerlukan batasan permasalahan. 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 biasa.
2. Temperatur pemanasan pada *furnace* diasumsikan homogen diseluruh bagian *furnace*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Peralatan Operasi Ortopedi

Seiring dengan peningkatan angka kecelakaan lalu lintas yang terjadi semakin tinggi pula kebutuhan akan peralatan penunjang kesehatan. Menurut Feeny (**Feeny, 1986**), teknologi kesehatan didefinisikan sebagai seperangkat teknik-teknik, obat-obatan, prosedur yang digunakan oleh profesional kesehatan dalam memberikan pelayanan medis kepada perorangan dan pelayanan kesehatan di masyarakat (**Feeny, 1986**). Teknologi kesehatan dibagi dalam 5 kelompok, sebagai berikut (**Rogowski, 2007**):

1. Obat-obat yang meliputi bahan-bahan kimia dan substansi biologis yang dipakai untuk dimakan, diinjeksikan ke tubuh manusia.
2. Alat-alat (*device*) meliputi alat-alat khusus untuk tujuan diagnostik dan terapi.
3. Prosedur bedah dan medis atau kombinasinya yang sering kali sangat kompleks.
4. Sistem penunjang atau *support system* adalah teknologi yang digunakan untuk memberikan pelayanan medis di rumah sakit.
5. Sistem organisasional adalah teknologi yang digunakan untuk menjamin penyampaian pelayanan kesehatan yang efektif dan efisien.

Dalam penelitian yang akan dilakukan ini lebih terfokus pada alat-alat yang digunakan sebagai alat penunjang operasi. Secara penggunaan alat operasi ortopedi dapat digolongkan kedalam 2 jenis yaitu alat operasi sekali pakai dan alat operasi yang dapat digunakan berulang-ulang. Hal ini dikarenakan terdapat beberapa alat bila digunakan pada beberapa pasien dapat mengakibatkan iritasi atau infeksi yang dapat menimbulkan resiko yang besar terhadap keselamatan pasien. Secara umum kedua jenis alat tersebut harus memiliki kekerasan yang cukup tinggi supaya dapat menembus organ yang keras seperti tulang. Untuk peralatan yang

dapat digunakan berulang, alat tersebut harus memiliki sifat ketahanan aus yang cukup tinggi seperti pada *bone drill* yang memiliki kecenderungan mengalami kelelahan cukup tinggi yang dipengaruhi dari fungsi alat tersebut. Pada umumnya, peralatan tersebut terbuat dari baja nirkarat sesuai dengan standar peralatan biomedik seperti *stainless steel*, baja paduan kromium tinggi, dan baja paduan titanium. Ketiga jenis baja tersebut memiliki biokompabilitas yang baik dengan tubuh manusia sehingga dapat mengurangi resiko yang dapat terjadi. Pada penelitian kali ini, baja tahan karat *martensitic* AISI 420B akan digunakan sebagai spesimen. Tabel 2.1 menunjukkan komposisi kimia pada baja AISI 420B.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia pada Baja Paduan AISI 420B (ASTM F899)

TYPE Number	Komposisi (%)						
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Other element
AISI 420B	0,26- 0,35	1.00 <i>max</i>	0,04	0.03 <i>max</i>	1.00 <i>max</i>	12.0- 14.0	Ni 1.00 <i>max</i>

2.2 *Martensitic Stainless Steels*

Martensitic stainless steel yang dikenal juga dengan baja nirkarat martensit merupakan baja 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 ketahanan korosi yang baik. Sedangkan pada baja paduan tipe 420 dan 440 sering diaplikasikan pada bidang *surgical tool* ortopedi. Secara umum baja ini memiliki sifat magnetik, mudah diberi perlakuan dingin dan panas, dapat di proses mesin, memiliki ketangguhan yang baik, memiliki ketahanan korosi yang baik terhadap cuaca dan zat kimia, dan mudah untuk diberi perlakuan panas. Berikut tabel yang menunjukkan sifat mekanik *martensitic stainless steel* AISI 420B.

Proses perlakuan panas untuk baja martensitik pada dasarnya sama dengan baja karbon biasa 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 lamban, dan *hardenability* sangat tinggi, kekerasan maksimum dihasilkan oleh pendinginan udara. Baja ini biasanya dikeraskan dengan memanaskannya di atas rentang temperatur transformasi hingga 1010°C, kemudian didinginkan menggunakan media udara atau minyak. Waktu penahanan terhadap temperatur tidak boleh berlebihan untuk mencegah dekarburisasi atau pertumbuhan butir yang berlebihan. *Tempering* yang dilakukan pada baja ini biasanya dilakukan di atas suhu 700°C. Temperatur *tempering* yang lebih tinggi akan menyebabkan pengendapan karbida dengan menurunkan sifat ketahanan korosi (Tohru, 1991).

Tabel 2.2 Sifat Mekanik *Martensitic Stainless Steel 420B* (Tohru, 1991)

AISI 420B	
<i>Temperature (°F)</i>	
<i>Forging-start</i>	2000
<i>Annealing-ranges</i>	1550-1650
<i>Annealing-cooling</i>	<i>Furnace Cooling</i>
<i>Hardening-ranges</i>	1800-1900
<i>Quenching</i>	<i>Oil or Air</i>
<i>Tempering-for intermediate hardness</i>	<i>up to 700</i>
<i>Drawing – for relieving stresses</i>	<i>below 700</i>
<i>Mechanical Properties – Heat treated</i>	
<i>Yield Strength, 1000 psi</i>	120-220
<i>Ultimate Strength, 1000 psi</i>	150-250
<i>Elongation, % in 2 inch</i>	12-2
<i>Hardness, Brinell</i>	275-500
<i>Hardness, Rockwell</i>	C 30-52

2.3 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 tanpa mengubah dari sifat material di bagian dalam yang bersifat tangguh dan lunak (Ugur, 2005). Dalam peralatan ortopedi kombinasi permukaan keras dan ketahanan terhadap kerusakan biasanya digunakan pada alat seperti *bone drill* yang harus memiliki permukaan yang sangat keras untuk menahan keausan akibat gesekan antar permukaan dan untuk menahan benturan yang terjadi selama operasi. Terdapat dua metode pengerasan permukaan baja yaitu *layer additions* dan *substrate treatment*. Pada Tabel 2.3 dibawah ini, menunjukkan tentang perbedaan antara *layer additions* dan *substrate treatment*.

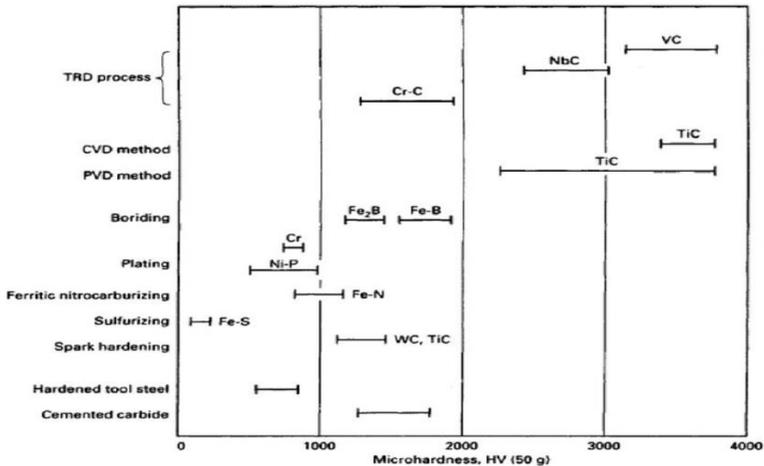
Tabel 2.3 Metode Pengerasan Permukaan Baja (Ugur, 2005)

<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>Introduction 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>

2.4 *Thermo Reactive Diffusion*

Thermo reactive diffusion adalah metode pelapisan baja dengan lapisan karbida, nitrida, atau karbonitrid 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*) dalam wadah reaksi yang mengandung unsur pembentuk karbida / nitrida (CFE /NFE) seperti tantalum, kromium, tungsten, molibdenum, vanadium dan niobium (**Tohru, 1991**). Dalam proses TRD, karbon dan nitrogen dalam substrat baja berdifusi menjadi lapisan yang diendapkan dengan elemen pembentuk karbida atau pembentuk nitrida seperti vanadium, niobium, tantalum, kromium, molibdenum, atau tungsten. Karbon atau nitrogen yang terdispersi bereaksi dengan elemen-elemen dari karbida dan nitrida dalam lapisan yang diendapkan sehingga membentuk lapisan karbida atau nitrida yang padat dan terikat secara metalurgi pada permukaan substrat. Lapisan keras vanadium karbida dan niobium karbida memiliki kekerasan permukaan yang tinggi, sedangkan kromium karbida memiliki ketahanan aus yang relatif tinggi dan tahan terhadap oksidasi (**Tohru, 1991**). Pada 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.



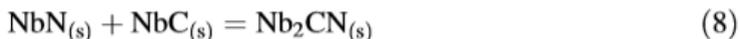
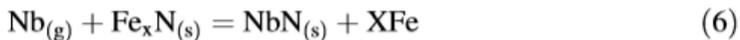
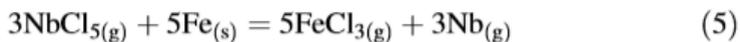
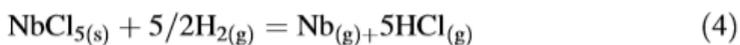
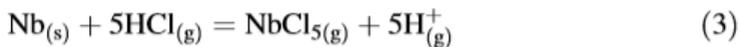
Gambar 2.1 Kekerasan Permukaan Lapisan Karbida Pada Proses Perlakuan Permukaan (Tohru, 1991)

Proses TRD tidak seperti metode pengerasan konvensional, di mana elemen spesifik (karbon dan nitrogen) dalam zat pengolah berdifusi ke dalam substrat untuk pengerasan dan menghasilkan lapisan akibat penumpukan yang disengaja pada permukaan substrat. Lapisan TRD ini, pada umumnya memiliki ketebalan sekitar 5 μm hingga 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 (Ugur, 2005).

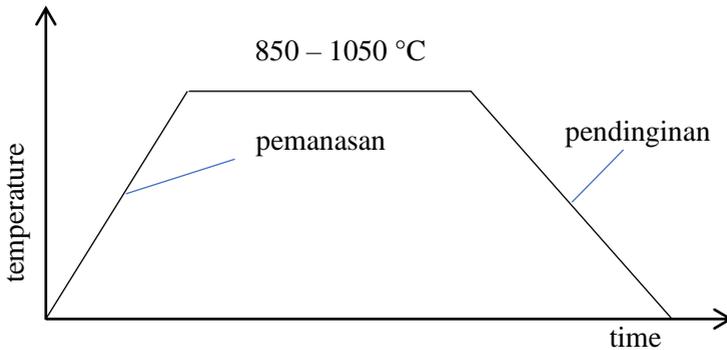
Untuk membantu mengoptimalkan proses TRD, elemen pembentuk karbida (Fe-Nb) dicampur dengan *ammonium chloride* (NH_4Cl) sebagai aktivator dan serbuk alumina (Al_2O_3) sebagai *innert filler* untuk membantu proses pembentukan lapisan keras karbida pada baja dasar. Aktivator *ammonium chloride* berfungsi untuk memecah elemen niobium dan baja juga untuk 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 terlihat pada gambar 2.2. Pada gambar tersebut reaksi yang memungkinkan terjadi dengan adanya aktivator berjalan dari proses reaksi 1 – 5 (Kocaman et. al, 2011). Secara umum, apabila kandungan *ammonium chloride* dalam campuran terus meningkat akan terdapat tiga keadaan yang ditemukan (Soltani, 2017), antara lain :

1. Peningkatan kandungan *ammonium chloride* akan mendorong pembentukan lapisan intermetalik lebih lanjut.
2. Peningkatan kandungan *ammonium chloride* akan memiliki efek pada kekerasan lapisan intermetalik.
3. Peningkatan kandungan *ammonium chloride* akan memiliki efek negatif pada lapisan intermetalik karena lapisan yang terbentuk jadi tidak homogen sehingga kualitas lapisan keras yang terbentuk menurun.



Gambar 2.2 Reaksi Kimia pada Proses TRD (Kocaman et. al, 2011)



Gambar 2.3 Siklus *Thermo Reactive Diffusion* (Tohru, 1991)

Siklus proses TRD dilakukan pada rentang suhu 850-1050°C, dapat dilihat di gambar 2.3 dimana temperatur pemanasan dan waktu penahanan akan sangat berpengaruh terhadap pembentukan lapisan niobium karbida. Setelah dilakukan proses TRD, baja akan didinginkan melalui media udara. Untuk media lain dapat dilakukan dengan media udara, larutan garam, oli, atau nitrogen untuk mendapatkan lapisan niobium karbida dan *base-metal* yang keras. Hal ini dapat meningkatkan kekuatan *interface* antara *base metal* dan lapisan niobium karbida.

2.5 Difusi

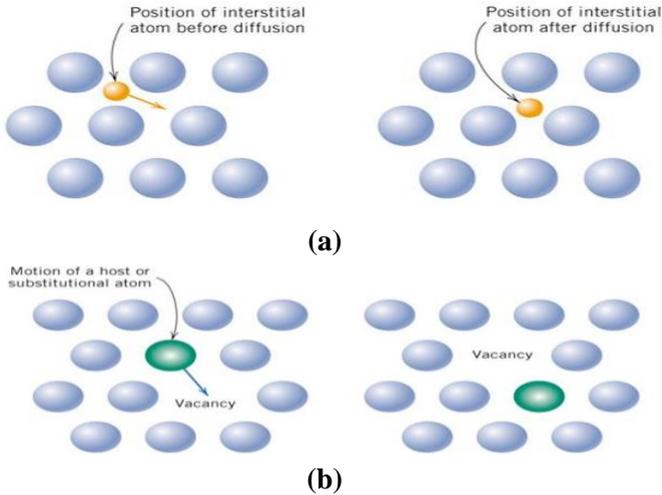
Difusi merupakan suatu proses transfer masa, bisa berupa gas atau cair yang disebabkan oleh perpindahan atom dimana semakin meningkatnya temperatur pemanasan maka atom yang terdifusi akan semakin meningkat. Atom – atom dalam logam akan menyusun dirinya sedemikian rupa sehingga memperoleh kondisi yang paling stabil atau keadaan setimbang. Pergerakan atau perpindahan atom ini terjadi saat ada masukan energi dari luar. Energi itu dapat berasal dari pemanasan (*heating*) maupun dari 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 untuk terjadinya perpindahan atom adalah terdapat sisi yang kosong dan adanya energi yang memutuskan ikatan atom dengan rantai sebelumnya. Mekanisme terjadinya difusi ada dua, yaitu *interstitial diffusion* dan *vacancy diffusion* (Arai et. al, 1987).

Interstitial diffusion merupakan perpindahan atom dari sebuah posisi *interstitial atom* ke sebelahnya yang kosong. Mekanisme ini dapat terjadi pada sebuah pada sebuah senyawa yang tidak murni, contohnya adalah senyawa yang mengandung *hydrogen, carbon, nitrogen, dan 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 menggunakan *interstitial diffusion* dibandingkan *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* (Arai et. al, 1987).

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 saat suhu tinggi. Karena difusi atom dan kisi kosong bertukar posisi, difusi atom dalam satu arah sesuai dengan gerakan kekosongan dalam arah yang berlawanan. Pada gambar 2.4 (a) dan (b) menampilkan ilustrasi proses difusi yang terjadi sesuai penjelasan diatas.



Gambar 2.4 (a) *Interstitial Diffusion* dan (b) *Vacancy Diffusion* (Arai et. al, 1987)

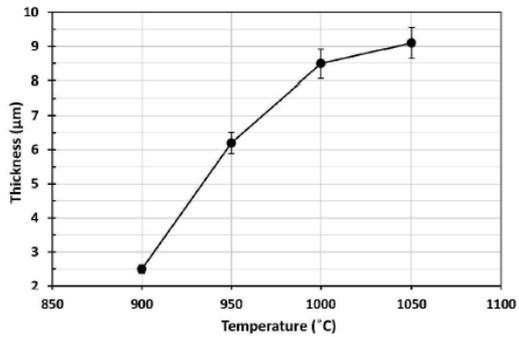
2.6 Penelitian Terdahulu

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, Ti-6Al-4V, dan AISI 420 untuk dijadikan biomaterial karena sifat yang kuat, mudah didapatkan dan ekonomis. Respati mengatakan bahwa pemilihan utama dari baja dan paduannya sebagai biomaterial adalah sifat mekanik yang sesuai, ketahanan terhadap korosi dan harga yang layak [9].

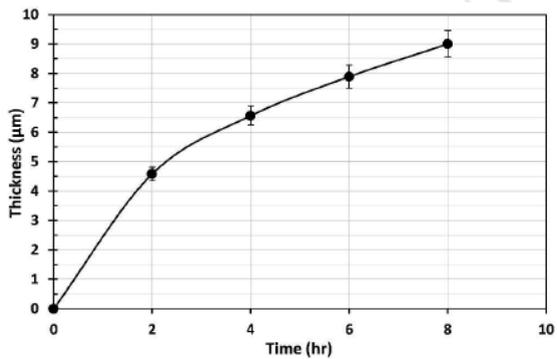
Pada tahun 2017, Soltani melakukan penelitian tentang pelapisan keras baja AISI L2 menggunakan niobium karbida dengan metode TRD. Menurutny metode TRD adalah yang paling sederhana, ramah lingkungan, dan relatif murah (Soltani, 2017). Pelapisan keras digunakan untuk menambah nilai kekerasan pada material dan menambah umur dari material tersebut agar menghasilkan peralatan operasi ortopedi yang memiliki nilai

keausan yang lebih bagus dan dapat digunakan lebih lama. Pelapisan keras dapat dilakukan dengan beberapa metode yaitu *Chemical Vapor Deposition (CVD)*, *Physical Vapor Deposition (PVD)*, *Laser Cladding (LC)*, *In Situ Synthesis (ISS)*, dan *Thermo Reactive Diffusion (TRD)*. Menurut Soltani dkk meskipun teknik CVD, PVD, LC, ISS dapat memperoleh hasil yang baik, tetapi cara tersebut cenderung mahal dan secara operasional sulit untuk dikendalikan. Selain itu beberapa dari metode tersebut membutuhkan kondisi vakum atau dikendalikan bersama dengan sistem yang kompleks. Sebaliknya, teknik TRD relatif sederhana, ekonomis, dan ramah lingkungan (**Arai, 1987; Miyake, 1979; Zhang et. al, 2014; Cao et. al, 2015; Cai et. al, 2015; Fan et.al, 2010**).

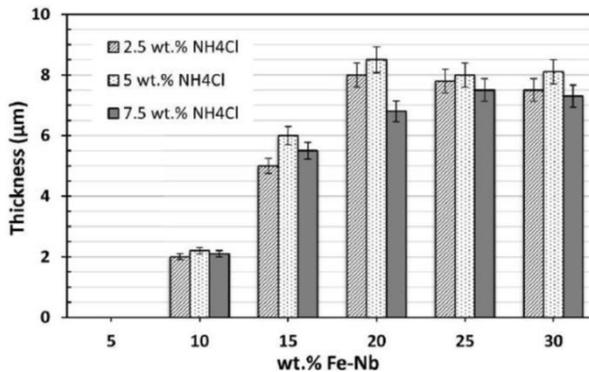
Dari penelitian yang dilakukan oleh Soltani, variasi pengujian yang diberikan adalah waktu pengujian selama 2, 4, 6, 8 jam dan suhu 900, 950, 1000, 1050°C pada penelitiannya. Hasil optimum yang di capai yaitu pada suhu 1000°C dengan waktu penahanan selama 6 jam. Gambar 2.4 dan gambar 2.5 menunjukkan penambahan ketebalan lapisan pada substat baja berdasarkan proses TRD. Komposisi campuran serbuk (NH_4Cl , Fe-Nb, dan Al_2O_3) juga berpengaruh pada ketebalan lapisan keras yang terdifusi pada baja uji, Soltani memperoleh hasil maksimalnya pada 5 wt% NH_4Cl dan 20 wt% Fe-Nb dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.5 Pengaruh Suhu Pemanasan Proses TRD terhadap Ketebalan Lapisan Karbida (Soltani, 2017)



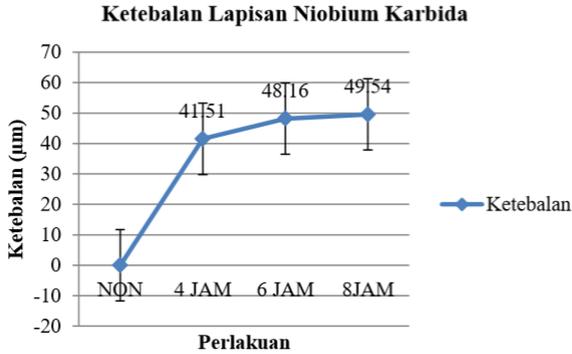
Gambar 2.6 Pengaruh Waktu Penahanan Proses TRD terhadap Ketebalan Lapisan Karbida (Soltani, 2017)



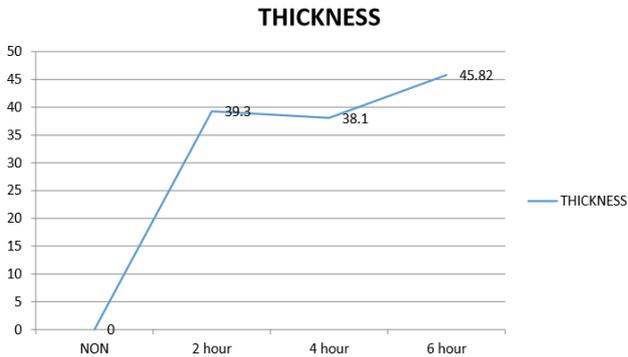
Gambar 2.7 Pengaruh Komposisi Serbuk Campuran terhadap Ketebalan Lapisan Karbida (Soltani, 2017)

Pada tahun 2019 dan 2020, Afif dan Husein melakukan penelitian mengenai pengaruh waktu penahanan pada proses TRD terhadap pembentukan lapisan karbida. Waktu penahanan yang diberikan yaitu dengan variasi 2, 4, 6, dan 8 jam. Penelitian ini dilakukan sedikit berbeda yaitu dalam penggunaan formula campuran. Afif melakukan penelitian menggunakan material paduan niobium sedangkan Husein menggunakan material paduan niobium-vanadium. Secara garis besar, proses penelitian ini memiliki kesamaan, perbedaan hanya terjadi pada material paduan saja. Hasil penelitian ini menghasilkan analisa yang tidak jauh berbeda. Hasil yang didapatkan yaitu waktu penahanan ideal terjadi pada 6 jam. Pada gambar 2.7 adalah hasil penelitian dari Afif dan 2.8 menunjukkan hasil penelitian dari Husein (**Haikal, 2020; Hakim, 2019**).

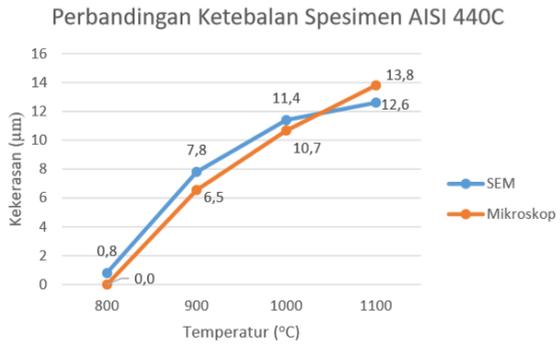
Pada tahun 2019, Gemilang melakukan penelitian mengenai pengaruh temperatur pada proses TRD terhadap pembentukan lapisan karbida. Variasi suhu yang diberikan yaitu pada 800, 900, 1000, dan 1100° C. Penelitian ini menghasilkan analisa bahwa temperatur ideal untuk proses TRD terjadi pada saat suhu 1000° C. Hasil ini ditunjukkan oleh gambar 2.9 dibawah (**Harianto, 2019**).



Gambar 2.8 Grafik Ketebalan Lapisan Niobium Karbida yang Terbentuk pada Spesimen AISI 420 dengan Variasi Waktu Penahanan (Hakim, 2019)



Gambar 2.9 Grafik Ketebalan Lapisan Niobium Vanadium Karbida yang Terbentuk pada Spesimen AISI 420 dengan Variasi Waktu Penahanan (Haikal, 2020)

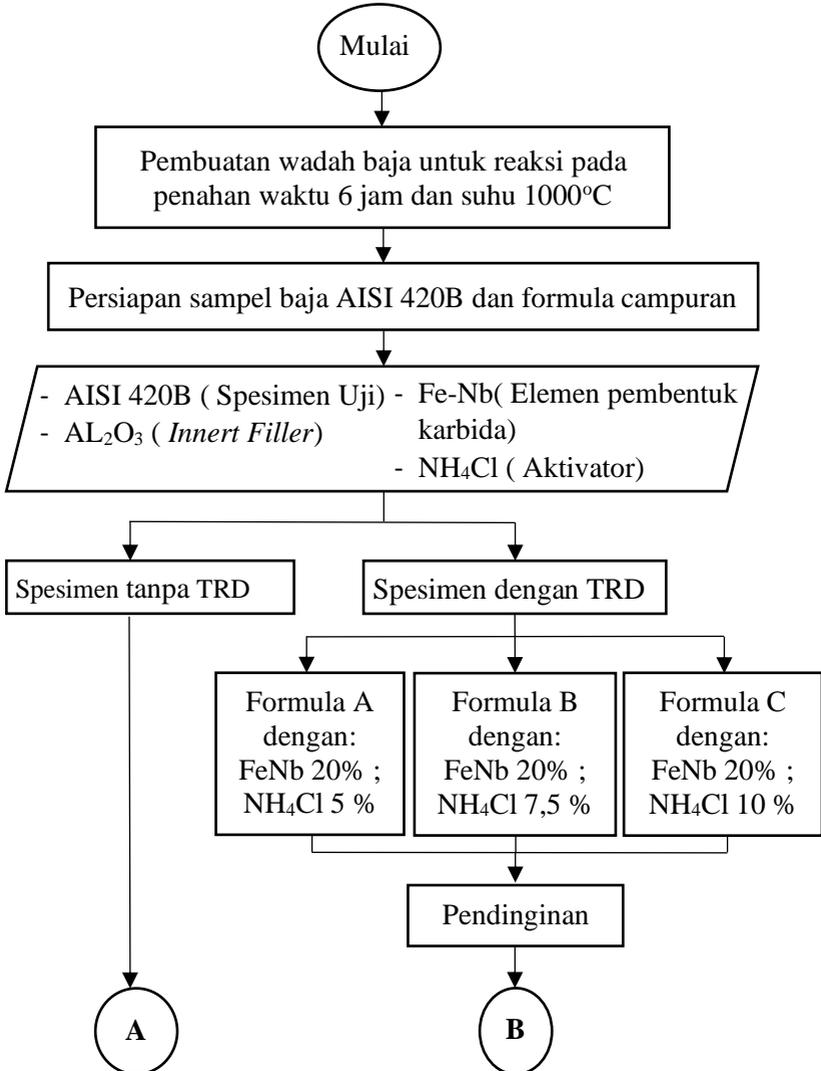


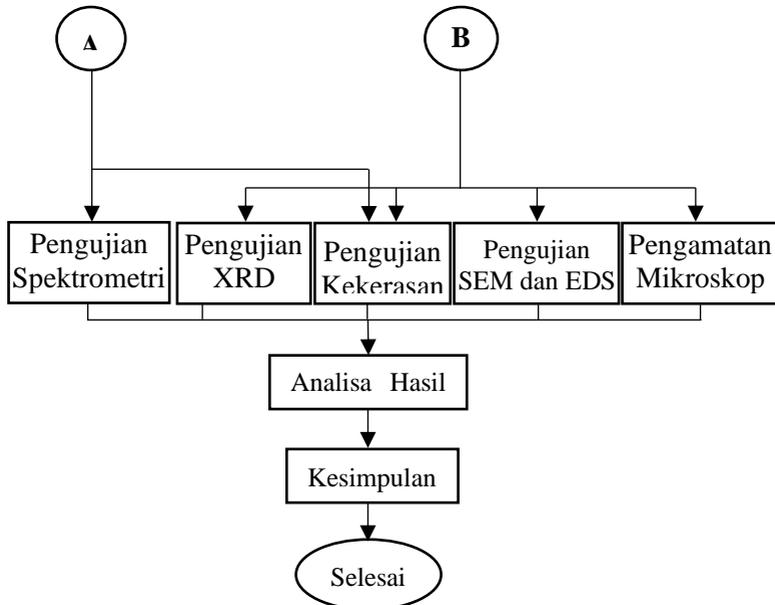
Gambar 2.10 Grafik Ketebalan Lapisan Niobium Karbida yang Terbentuk pada AISI 440 dengan Variasi Temperatur (Harianto, 2019)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI

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 *Wirecut*

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

2. Wadah Reaksi *Powder Pack*

Wadah reaksi terbuat dari pelat besi dengan ukuran 250 x 120 mm dengan tebal 10 mm. Wadah reaksi digunakan

untuk memanaskan spesimen yang telah diberi campuran dalam proses TRD.



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 80 hingga 2000 dengan dialiri air secara terus-menerus sampai permukaan spesimen tersebut halus permukaannya. *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 mengkilap. Gambar 3.3 menunjukkan mesin *grinder-polisher* yang digunakan dalam eksperimen ini.



Gambar 3.3 Mesin *Grinder-Polisher*

4. *Furnace*

Furnace merupakan alat yang digunakan untuk menaikkan temperatur spesimen uji dengan cara memasukkannya ke dalam *furnace*. Alat ini mempunyai kontrol otomatis untuk mengatur temperatur dan waktu penahanan yang diperlukan dalam penelitian. Gambar 3.4 menunjukkan alat *electric resistance furnace in heat treatment workshop* Departemen Teknik Mesin FTIRS ITS.



Gambar 3.4 *Furnace*

5. *Ballmill*

Alat yang digunakan untuk menghaluskan material yang memiliki ukuran besar menjadi butiran-butiran yang berukuran mikron.



Gambar 3.5 *Ballmill*

6. Alat Uji XRD

Teknik difraksi sinar-X merupakan teknik yang paling berguna dalam karakterisasi bahan-bahan kristal, seperti baja, intermetalik, keramik, mineral, polimer, plastik, atau senyawa anorganik atau organik lainnya. Teknik difraksi sinar-X dapat digunakan untuk mengidentifikasi senyawa yang membentuk lapisan niobium karbida setelah proses TRD. Pengujian difraksi sinar-X ini akan dilakukan di Laboratorium XRD Teknik Material dan Metalurgi FTIRS ITS dengan menggunakan mesin *X'pert PRO PANalytical* dan deteksi 2θ antara $20 - 100^\circ$.

7. Alat Uji Spektrometri

Pengujian spektrometri bertujuan untuk mengetahui kandungan unsur kimia (dalam %) pada baja. Pada penelitian ini, pengujian spektrometri ditujukan untuk baja dasar sebelum menerima perlakuan panas untuk memastikan bahwa komposisi kimia pembentuk baja sesuai antara hasil pengujian dengan referensi unsur kimia berdasarkan ASTM F899. Pengujian ini akan dilakukan di PT. Barata Indonesia yang bertempat di kota Gresik.

8. *Micro Hardness Vickers Tester*

Pengujian kekerasan menggunakan *Micro Hardness Vickers* (MHV) jenis *Shimadzu HMV 2 series*. Alat ini sering digunakan untuk mengetahui kekerasan dari lapisan karbida (*coatings*) pada spesimen uji atau untuk mengevaluasi peningkatan nilai kekerasan permukaan akibat penempaan material seperti pengerasan, karburasi, atau nitridasi. Pengujian dilakukan pada spesimen uji sebelum dan sesudah perlakuan panas untuk mengetahui tingkat kenaikan nilai kekerasan spesimen uji tersebut. Pengujian ini menggunakan beban indentasi sebesar 0.5 V dengan waktu indentasi 10 detik dan pengambilan data dilakukan sebanyak 10 kali sepanjang *cross section* dari spesimen.



Gambar 3.6 *Micro Hardness Vickers*

9. *Optical Microscopy*

Mikroskop optikal adalah salah satu alat yang sering digunakan untuk mengamati sebuah material secara mikro. Mikroskop jenis ini memiliki perbesaran 50 – 1000x dengan kemampuan pembacaan struktur mikro hingga lebih dari 0.2 μm . Mikroskop optikal memberikan pembentukan gambar secara morfologi atau topologi. Cara menggunakan alat ini relatif mudah yaitu spesimen uji diletakkan diatas meja uji mikroskop lalu diamati.



Gambar 3.7 Mikroskop Optik Olympus BX60M

10. *Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive Spectrometry*

Pengujian SEM dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui topografi dari *coated material*. Alat yang digunakan adalah *Hitachiflexi SEM 1000* seperti ditunjukkan pada gambar sesuai dengan ASTM E1508 “Paduan Standar Untuk Analisis Kuantitatif Oleh *Energy Dispersive Spectrometry*”. Sistem EDS disampaikan oleh *system EDAX* dan analisis lebih lanjut dari unsur / komposisi kimia dilakukan dengan menggunakan *software TEAM*.



Gambar 3.8 *Scanning Electron Microscope Hitachiflexi SEM 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 420B. Baja jenis ini pada umumnya sering digunakan dalam peralatan kedokteran karena memiliki kekuatan, ketahanan aus serta biokompatibel yang baik. Karbon pada baja AISI 420B

memiliki kadar yang cukup untuk dilakukan *coating* dengan metode *Thermal Reactive Diffusion* (TRD). Pada gambar 3.9 menunjukkan bentuk dari baja martensitik 420B. Pada Tabel 3.1 memperlihatkan komposisi kimia dari baja martensitik hasil dari pengujian spektometri.



Gambar 3.9 Spesimen AISI 420B

Tabel 3.1 Komposisi Kimia AISI 420B

Unsur	C	Si	Ni	Cr	Mo	S	Mn	P
Jumlah	0,35	1,2	0,31	13,8	0,31	0,00	0,5	0,0
%wt		4		08	4	3	9	19

2. Material Paduan

Material paduan (*master alloy*) yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah baja *Ferro-Niobium* (Fe-Nb). Niobium dipilih karena memiliki kemampuan untuk meningkatkan ketangguhan, ketahanan aus, kekuatan luluh, dan penyempurnaan butir jika ditambahkan kedalam baja serta memiliki sifat tahan korosi yang baik.



Gambar 3.10 Bubuk Ferro-Niobium

3. Material Aktivator

Aktivator yang digunakan pada penelitian ini adalah *ammonium chloride* (NH_4Cl) dari Merck Germany untuk memecah ikatan FeNb dan akan berikatan dengan karbon yang ada pada baja dasar.



Gambar 3.11 Bubuk NH_4Cl

4. Material *Inert Filler*

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



Gambar 3.12 Bubuk Alumina (Al_2O_3)

5. Pemotongan Spesimen uji

Pemotongan pada baja tahan karat AISI 420B 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 H₂O murni. Dimensi dari spesimen yang digunakan dalam pengujian yaitu 30mm x 30mm x 4 mm.

6. Tahapan proses TRD

Adapun metode *powder pack Thermo Reactive Diffusion* (TRD) yang akan dilakukan pada penelitian ini meliputi langkah-langkah sebagai berikut :

Alat dan bahan dipersiapkan

- a. Spesimen uji digrinda hingga grid 2000 dan dipoles agar menghasilkan permukaan yang sangat rata.
- b. Menyiapkan bahan yang digunakan untuk pelapisan antara lain *Ferro-Niobium*, *Ammonium Chloride*, dan Alumina dalam kondisi serbuk.
- c. Membuat serbuk campuran dengan variasi sebagai berikut :

Campuran	Formula A	Formula B	Formula C
NH ₄ Cl	20 wt%	20 wt%	20 wt%
FeNb	5 wt%	7,5 wt%	10 wt%
Al ₂ O ₃	75 wt%	72,5 wt%	70 wt%

- d. Seluruh serbuk dicampur menggunakan *ballmill* selama kurang lebih 24 jam.
- e. Menyiapkan wadah reaksi.
- f. Melapisi seluruh permukaan bagian di dalam wadah reaksi menggunakan semen alumina, kemudian tunggu hingga kering.



Gambar 3.13 Wadah Reaksi dengan Lapisan Semen Alumina

- g. Memasukan serbuk alumina ke dalam wadah untuk membatasi campuran kontak langsung dengan wadah reaksi.



Gambar 3.14 Bubuk Alumina pada Wadah Reaksi

- h. Memasukkan campuran serbuk reaksi / formula kedalam wadah reaksi bersama dengan spesimen uji yang ditempatkan ditengah campuran serbuk.



Gambar 3.15 Spesimen Uji dan Formula saat dimasukkan ke dalam Wadah Reaksi

- i. Wadah reaksi ditutup dengan melapisi semen alumina di sepanjang tutup agar tidak ada udara yang masuk kedalam wadah untuk membentuk keadaan wadah menjadi vakum.



Gambar 3.16 Wadah Reaksi yang sudah di Vakum

- j. Wadah reaksi dimasukkan kedalam *furnace*.



Gambar 3.17 Wadah Reaksi saat di dalam *Furnace*

- k. *Furnace* diatur pada suhu 1000°C dengan waktu penahanan pemanasan selama 6 jam.
- l. Setelah selesai, wadah reaksi dikeluarkan dari *furnace* dan spesimen uji dibiarkan didalam wadah reaksi untuk proses pendinginan menggunakan udara sekitar.



Gambar 3.18 Wadah Reaksi saat Pendinginan menggunakan Udara Sekitar

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia dilakukan menggunakan alat Electron Spectrometer GVM – 514 S yang dimiliki oleh PT. BARATA INDONESIA. Komposisi kimia stainless steel AISI 420B untuk standar peralatan bedah ditulis pada dokumen ASTM F899. Berikut adalah tabel 4.1 merupakan hasil uji spectrometer dan standar komposisi kimia AISI 420B berdasarkan ASTM F899.

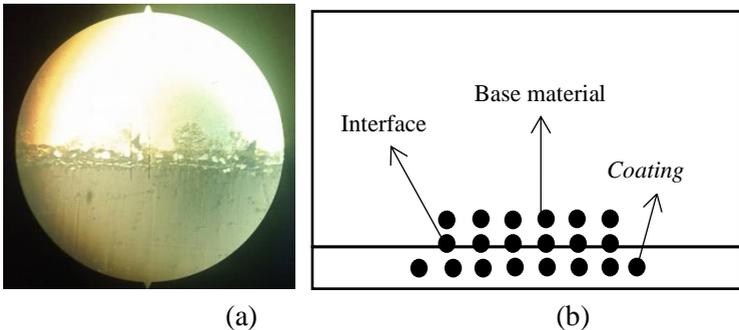
Tabel 4.1 Komposisi Kimia Hasil Uji Spectrometer dan Komposisi Kimia Standar ASTM F899

Elemen Paduan	Uji Spectrometer % (wt)	Standar ASTM F899 % (wt)
C	0.35	0.16 (min)
Mn	0.59	1.00 (max)
P	0.019	0.040 (max)
S	0.003	0.030 (max)
Si	1.24	1.00 (max)
Cr	13.308	12.0-14.0
Mo	0.314	-
N	-	-
Ni	0.31	1.00 (max)

Dari hasil uji komposisi kimia yang diperoleh menunjukkan bahwa komposisi kimia dari *stainless steel* AISI 420B lebih bagus dari standar ASTM F899 hal ini dibuktikan dari kadar silicon lebih 0.24 wt% dari standar yaitu maksimum 1.00 dan memiliki kandungan molybdenum sebesar 0.314 wt%. Hal tersebut berpengaruh terhadap sifat mekanik material karena kadar silicon dan molybdenum yang ada pada material mampu meningkatkan kekuatan dan sifat mampu-keras dari AISI 420B (**Carson**).

4.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan spesimen dilakukan dengan pembebanan sebesar 0.025 HV pada tiga daerah yang berbeda. Titik yang digunakan untuk pengujian ini sebanyak 20 titik dan tersebar pada daerah lapisan karbida, daerah interface, dan daerah *base material*. Pada gambar 4.1.b menunjukkan persebaran titik yang diuji kemudian pada gambar 4.1.a menunjukkan contoh pengambilan yang dilakukan. Hasil yang didapatkan dari pengujian ini tersaji dalam tabel 4.2.



Gambar 4.1 (a) Contoh Hasil Indentasi pada Pengujian Kekerasan Mikro (b) Contoh Posisi Indentasi pada Pengujian Kekerasan Mikro

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kekerasan Mikro

No	UN-COA TED	Rata - rata	A	Rata -rata	B	Rata -rata	C	Rata -rata
1	201	233,2 ± 23,8 25	821	970,25 ± 73	905	885,9 ± 25,8 4	742	744,8 ± 21,3 1
2	202		1068		850		711	
3	224		918		876		758	
4	224		987		885		761	
5	240		980		857		716	
6	246		993		913		758	
7	249		1011		879		743	
8	260		984		922		769	
9	269	233,2 ± 23,8 25	546	498,67 ± 32,4 2	550	524 ± 23,5	440	464,8 ± 27,5 8
10	269		508		551		445	
11	197		459		505		460	
12	243		516		498		510	
13	264		473		532		486	
14	226		490		508		448	
15	241	233,2 ± 23,8 25	697	658,17 ± 20,8 2	586	608,5 ± 20,3 6	592	616,8 ± 27,1 3
16	253		643		592		655	
17	205		642		624		596	
18	218		665		639		620	
19	202		654		612		643	
20	231		648		598		595	

Keterangan :



Coating



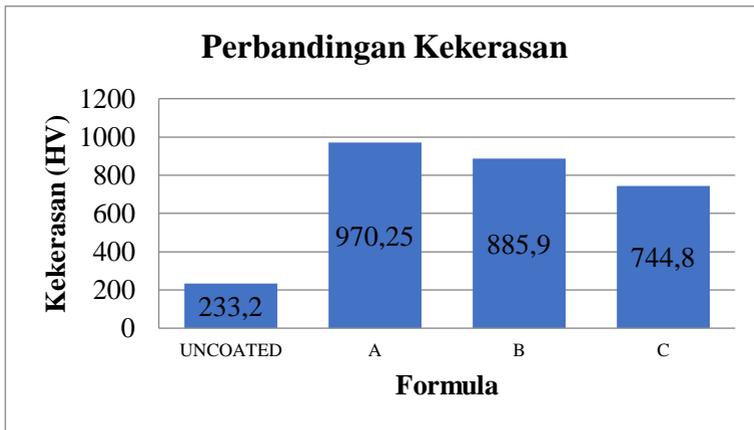
Interface



Base material

Dari data pada tabel 4.2 diatas didapatkan nilai kekerasan rata-rata pada spesimen AISI 420B tanpa proses TRD adalah $233,2 \pm 23,825$ HV. Nilai kekerasan rata-rata spesimen dengan proses TRD variasi A adalah $970,25 \pm 73$ HV. Nilai kekerasan rata-rata

spesimen dengan proses TRD variasi B adalah $885,9 \pm 25,84$ HV. Nilai kekerasan rata-rata spesimen dengan proses TRD variasi C adalah $744,8 \pm 21,31$ HV. Dari tabel 4.2 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan kekerasan pada bagian *interface* dibanding dengan kekerasan pada *base material*. Hal ini dikarenakan berkurangnya unsur karbon yang telah terdifusi ke permukaan untuk membentuk lapisan karbida. Pada gambar 4.2 adalah grafik yang menunjukkan perbandingan dari nilai tersebut.



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Rata-rata AISI 420B

Berdasarkan gambar 4.2 nilai kekerasan rata-rata tertinggi didapat pada spesimen dengan proses TRD formula A. Secara teori, NH_4Cl sebagai aktivator akan membantu pemecahan Fe-Nb menjadi atom niobium (Nb) yang akan digunakan untuk berikatan dengan atom karbon (C). Namun, dengan penambahan kadar aktivator dapat mempengaruhi dari kekerasan pada lapisan yang terbentuk (Soltani, 2017). Hal ini terlihat pada gambar 4.2 dimana nilai kekerasan yang terjadi mengalami penurunan saat kadar NH_4Cl sebagai aktivator ditambahkan dari 5% menjadi 7,5% dan 10%. Pada penelitian kali ini diperoleh nilai kekerasan yang lebih rendah dari penelitian terdahulu. Hal ini dapat disebabkan karena

adanya daerah miskin karbon (*depleted zones*) sehingga terbentuk porositas pada lapisan karbida yang terbentuk.

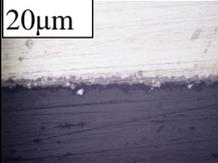
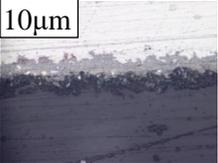
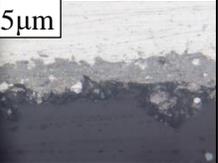
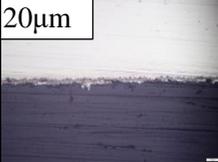
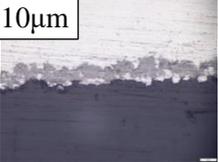
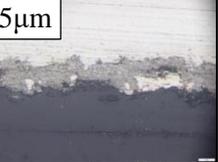
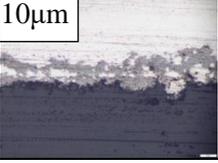
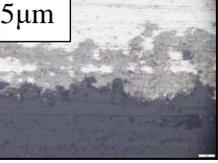
4.3 Pengamatan Mikroskop Optik

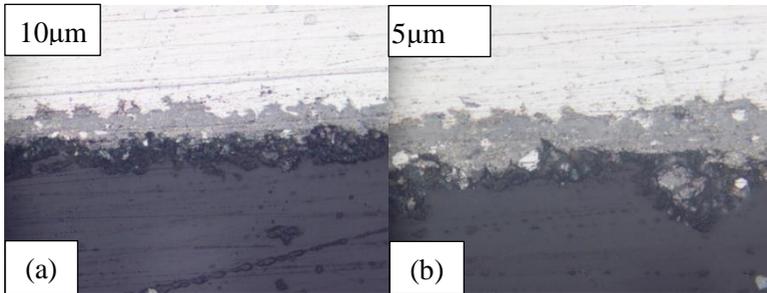
Pengamatan menggunakan mikroskop optik *olympus* ini dilakukan pada 6 titik yang berbeda pada tiap spesimen yang melalui proses TRD. Pengamatan ini dilakukan untuk melihat bentuk dan ketebalan lapisan *coating* yang terbentuk. Spesimen yang diamati yaitu hasil dari proses TRD dengan variasi formula A, formula B, dan Formula C dan dilakukan penahanan waktu pemanasan selama 6 jam dan pada suhu 1000°C.

4.3.1 Pengamatan Mikro pada *Cross Section*

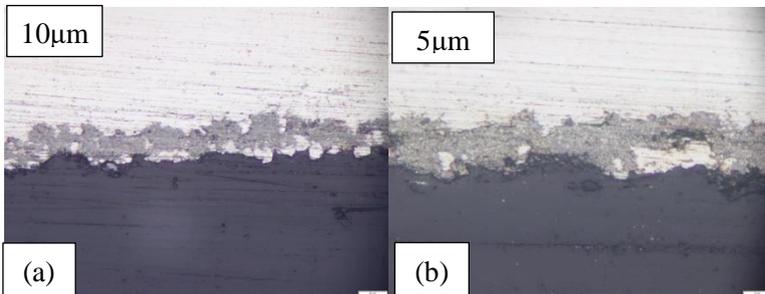
Pengambilan gambar dilakukan di *cross section* spesimen karena lapisan karbida yang terbentuk berada pada permukaan spesimen. Berikut pada tabel 4.3 merupakan hasil pengamatan spesimen secara mikro dengan perbesaran 200x, 500x, dan 1000x.

Tabel 4.3 Hasil Pengamatan Mikroskop Optik

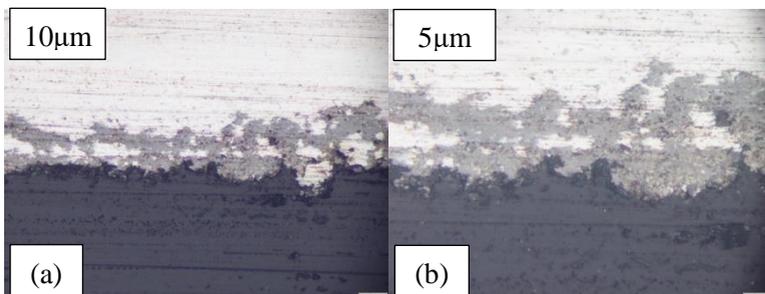
Cam-puran	Perbesaran 200x	Perbesaran 500x	Perbesaran 1000x
A NH ₄ Cl (5%)	20μm 	10μm 	5μm 
B NH ₄ Cl (7,5%)	20μm 	10μm 	5μm 
C NH ₄ Cl (10%)	20μm 	10μm 	5μm 



Gambar 4.3 Penampang Ketebalan Lapisan Karbida Spesimen Uji dengan Formula A pada Perbesaran (a) 500x dan (b) 1000x



Gambar 4.4 Penampang Ketebalan Lapisan Karbida Spesimen Uji dengan Formula B pada Perbesaran (a) 500x dan (b) 1000x



Gambar 4.5 Penampang Ketebalan Lapisan Karbida Spesimen Uji dengan Formula C pada Perbesaran (a) 500x dan (b) 1000x

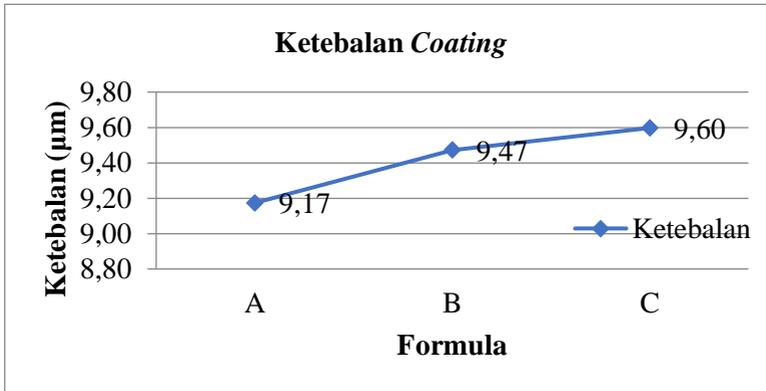
Pada tabel 4.3 menunjukkan pengamatan mikroskop optik melalui penampang melintang / *cross section* dari spesimen yang telah melewati proses TRD dengan variasi kadar aktivator yang berbeda. Sesuai dengan teori bahwa dengan penambahan kadar aktivator dapat mempengaruhi pada lapisan yang terbentuk menjadi tidak homogen dan menurunkan kualitas lapisan yang terbentuk (Soltani, 2017). Pada pengamatan mikro ini dapat terlihat lapisan karbida yang terbentuk, dengan membandingkan ketiga spesimen ini terlihat pada spesimen yang diberikan formula A lapisan yang terbentuk terlihat rapat. Kemudian kerapatan ini berkurang terlihat pada pengamatan mikro di spesimen dengan formula B dan kemudian dengan formula C. Dapat terlihat tingkat kehomogenan yang terjadi pada ketiga lapisan berbeda yang terbentuk.

4.3.2 Pengukuran Ketebalan

Pengamatan dilakukan dengan pengambilan 6 gambar yang berbeda. Dari 6 gambar yang berbeda ini merepresentasikan dari daerah lapisan yang terbentuk, kemudian dilakukan pengukuran pada 6 titik yang berbeda pada setiap gambar. Nilai hasil pengamatan ketebalan lapisan dari proses TRD dilakukan menggunakan perbesaran 1000x dan dapat terlihat di lampiran 1. Berikut ini adalah hasil ketebalan rata-rata dari 36 titik yang berbeda terlihat pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil Analisa Ketebalan Spesimen

Formula	A	B	C
Ketebalan Rata-rata (μm)	9.17	9.47	9.59
St Deviasi (μm)	2.83	2.6	2.44

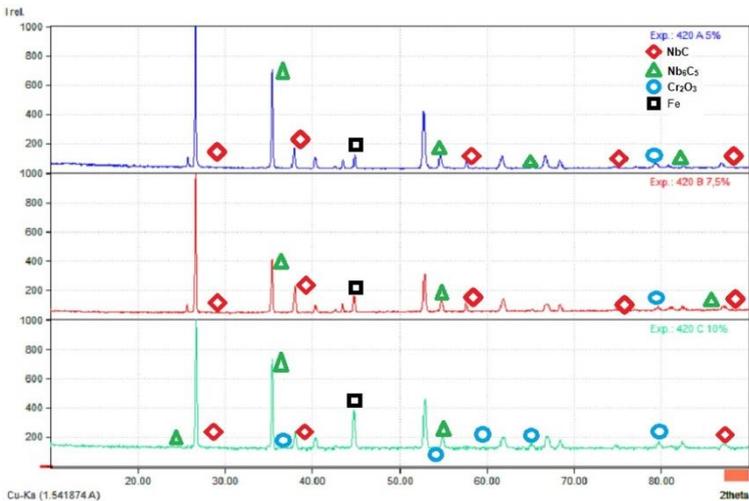


Gambar 4.6 Grafik ketebalan Lapisan Niobium Karbida yang Terbentuk pada Spesimen Uji

Terlihat dari tabel 4.4 bahwa terjadi kenaikan ketebalan rata-rata dari formula A dengan ketebalan $9,17 \pm 2,83 \mu\text{m}$, formula B dengan ketebalan $9,47 \pm 2,6 \mu\text{m}$, dan formula C dengan ketebalan $9,6 \pm 2,44 \mu\text{m}$. Pada gambar 4.6 menunjukkan grafik yang cenderung meningkat. Sesuai teori, bahwa dengan meningkatkan persentase dari aktivator NH_4Cl maka sumber daya atom niobium (Nb) yang dipecah akan meningkat (Soltani, 2017). Dengan meningkatnya jumlah atom niobium (Nb), maka akan terbentuk lapisan baru hasil dari ikatan atom niobium dengan atom yang akan berikatan dengan niobium (Kocaman et. al, 2011).

4.4 Pengujian X Ray Diffraction

Pengujian difraksi sinar X dilakukan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan alat "X'PERT PRO" dengan $2\theta = 10-90^\circ$. Pengamatan dilakukan pada spesimen uji dengan aktivator 5%, 7,5%, dan 10%. Berikut merupakan hasil pengujian difraksi sinar X yang tertera pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik Hasil Analisa XRD Spesimen AISI 420B

Dari Grafik 4.7 terdapat perbandingan dari bentuk grafik dan *peak* yang muncul pada AISI 420B yang melalui proses TRD formula A, formula B, dan formula C. Terlihat bahwa pada ketiga perlakuan formula yang berbeda telah terbentuk fasa ikatan dari NbC dan Nb₆C₅. Tinggi dari *peak* yang terjadi meningkat untuk pembentukan NbC dari formula A, formula B, dan formula C. Adanya ikatan Cr₂O₃ dikarenakan tidak meratanya saat terjadi proses difusi dengan persentase kadar aktivator, hal ini terlihat saat *peak* yang muncul semakin banyak.

4.5 Pengujian SEM/EDS

Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan bertempat di Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember menggunakan alat pemindai elektron “Hitachi FlexSEM 1000”. 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 terlihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Ketebalan Hasil Pengujian SEM

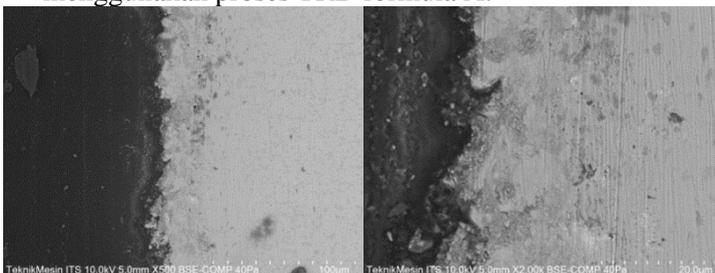
Ca mp ura n	Ketebalan (μm)						Rata -rata (μm)	St devia si (μm)
A	8,80	9,18	9,17	8,77	8,67	8,83	8,90	0,22
B	9,33	8,97	9,65	9,44	8,9	8,96	9,21	0,31
C	11,8	11,8 3	9,06	8,77	10	9,17	10,1 1	1,39

Terjadi kenaikan nilai ketebalan yang dihasilkan, hasil ini terlihat dari hasil rata-rata pada tabel 4.5. Kenaikan ini terjadi seiring dengan penambahan kadar persentase aktivator NH_4Cl dari $8,9 \pm 0,22 \mu\text{m}$, naik menjadi $9,21 \pm 0,31 \mu\text{m}$, dan menjadi $10,11 \pm 1,39 \mu\text{m}$. Hasil nilai ketebalan SEM ini sejalan dengan hasil yang didapatkan pada pengamatan menggunakan mikroskop optik, dimana kedua hasil pengukuran ketebalan ini cenderung naik.

4.5.1 Pengujian SEM/EDS Variasi A

a. Pengujian SEM

Berikut merupakan hasil SEM AISI 420B menggunakan proses TRD formula A.

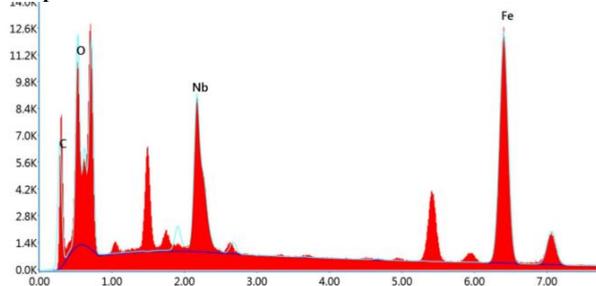


Gambar 4.8 Hasil Pengamatan SEM Spesimen AISI 420B Formula A (a) Perbesaran 500 Kali (b) Perbesaran 2000 Kali

Gambar 4.8 menunjukkan hasil pengujian SEM dari AISI 420B pada formula A. Pada gambar 4.8 terlihat bahwa pada formula A lapisan yang terbentuk homogen dan memiliki porositas yang rendah. Hal ini dapat disebabkan karena pada persentase 5% NH_4Cl sebagai aktivator dapat membantu untuk terjadinya proses difusi dengan baik.

b. Pengujian EDS

Berikut merupakan hasil analisa EDS *spot* AISI 420B setelah proses TRD formula A.



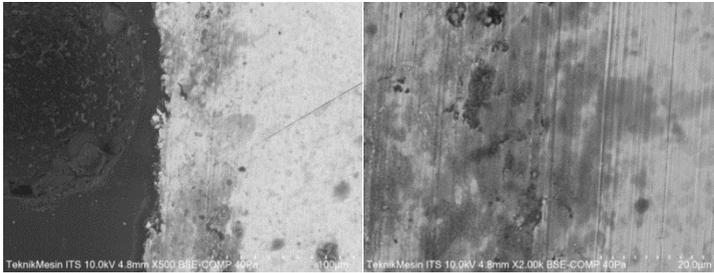
Gambar 4.9 Hasil Pengujian EDS *Spot* pada Spesimen AISI 420B Formula A

Berdasarkan hasil pengujian EDS *spot* pada gambar 4.9 memperlihatkan hasil yang menyerupai hasil pengujian XRD. Pada spesimen TRD pada formula A kandungan niobium yang terkandung cukup tinggi terlihat dari *peak* yang muncul. Sedangkan untuk *peak* dari Fe terbilang tinggi karena *peak* itu terletak di *base material* dimana untuk kandungannya masih banyak. Pada *peak* C dan O terlihat karena dua *peak* ini terletak pada bagian *epoxy*.

4.5.2 Pengujian SEM/EDS Variasi B

a. Pengujian SEM

Berikut merupakan hasil SEM AISI 420B menggunakan proses TRD formula B.

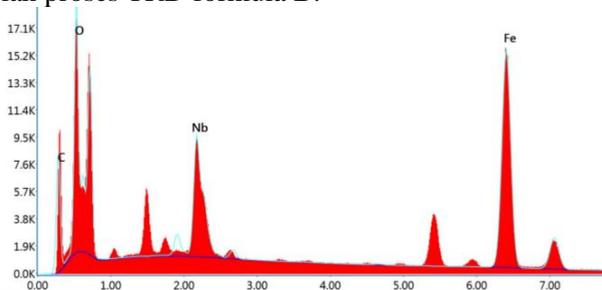


Gambar 4.10 Hasil Pengamatan SEM Spesimen AISI 420B Formula B (a) Perbesaran 500 Kali (b) Perbesaran 2000 Kali

Gambar 4.10 menunjukkan hasil pengujian SEM dari AISI 420B pada formula B. Pada gambar 4.10 terlihat bahwa lapisan terbentuk tidak homogen dan memiliki beberapa titik porositas yang terlihat. Hal ini dapat disebabkan karena pada persentase 7,5% NH_4Cl sebagai aktivator yang membantu pemecahan FeNb proses difusi dengan C telah berjalan namun ada kemungkinan bahwa ada gas yang terperangkap saat proses pendinginan saat proses difusi.

b. Pengujian EDS

Berikut merupakan hasil analisa EDS *spot* AISI 420B setelah proses TRD formula B.



Gambar 4.11 Hasil Pengujian EDS *Spot* pada Spesimen AISI 420B Formula B

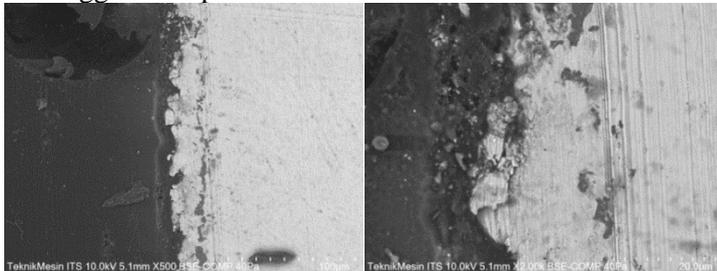
Berdasarkan hasil pengujian EDS *spot* pada gambar 4.11 memperlihatkan hasil yang menyerupai hasil

pengujian XRD. Pada spesimen TRD pada formula B terlihat dari *peak* niobium yang lebih tinggi dari niobium yang ada pada formula A. Kemudian ditampilkan juga *peak* dari Fe dimana itu terletak pada *base material*. Pada *peak* C dan O terlihat karena dua *peak* ini terletak pada bagian *epoxy*.

4.5.3 Pengujian SEM/EDS Variasi C

a. Pengujian SEM

Berikut merupakan hasil SEM AISI 420B menggunakan proses TRD formula C.

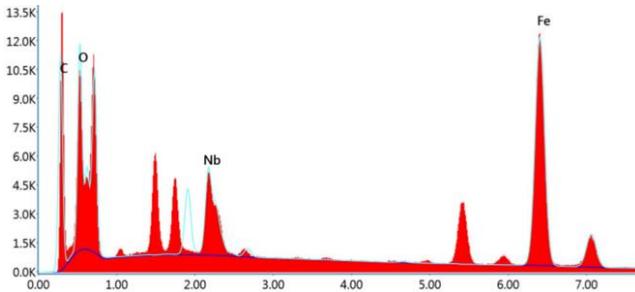


Gambar 4.12 Hasil Pengamatan SEM Spesimen AISI 420B Formula C (a) Perbesaran 500 Kali (b) Perbesaran 2000 Kali

Gambar 4.12 menunjukkan hasil pengujian SEM dari AISI 420B pada formula C. Pada gambar 4.12 terlihat bahwa lapisan yang terbentuk tidak homogen dan memiliki porositas yang tinggi. Hal ini dapat disebabkan karena pada penambahan persentase NH_4Cl sebesar 10% menyebabkan terjadinya proses difusi yang tidak merata dan proses lanjutan yang memungkinkan terjadinya ruang kosong akibat terperangkapnya gas pada pendinginan.

b. Pengujian EDS

Berikut merupakan hasil analisa EDS *spot* AISI 420B setelah proses TRD formula C.



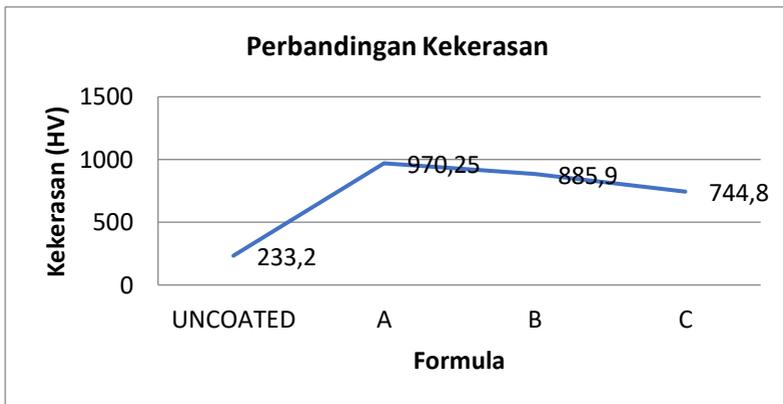
Gambar 4.13 Hasil Pengujian EDS *Spot* pada Spesimen AISI 420B Formula C

Berdasarkan hasil pengujian EDS *spot* pada gambar 4.13 memperlihatkan hasil yang menyerupai hasil pengujian XRD. Pada spesimen TRD pada formula C masih terdapat *peak* dari niobium namun terbilang menurun dibanding dengan formula A dan B. Hasil dari Fe menunjukkan daerah *base material*. Pada *peak* C dan O terlihat karena dua *peak* ini terletak pada bagian *epoxy*.

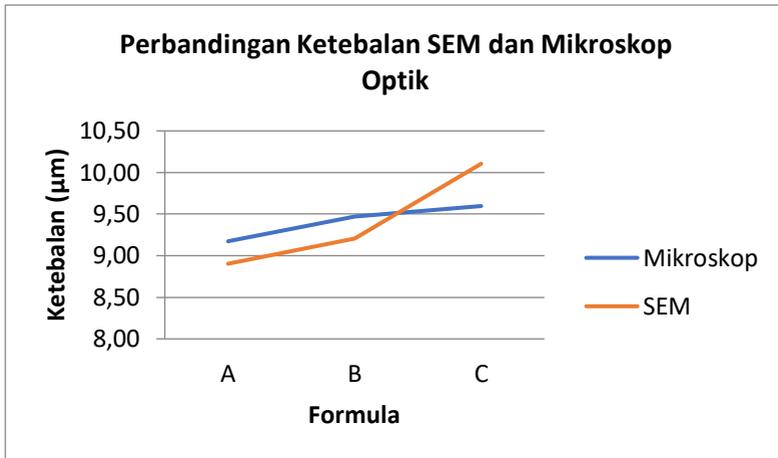
4.6 Ringkasan Analisis

Parameter keberhasilan dari penelitian ini dibuktikan dengan hasil pengujian difraksi X yang mana menunjukkan adanya fasa ikatan NbC dan Nb₆C₅ dan pada *line EDS* yang menunjukkan unsur Niobium (Nb) sebagai unsur pembentuk karbida NbC. Berdasarkan hasil pengamatan mikroskop dan SEM, ketebalan lapisan *coating* yang terbentuk akan meningkat sejalan dengan penambahan kadar aktivator tetapi tidak signifikan ditunjukkan pada gambar 4.15. Sesuai dengan teori bahwa dengan adanya penambahan aktivator akan memberi efek pembentukan lapisan yang lebih lanjut, hal ini dikarenakan aktivator membantu proses pembentukan dengan cara menurunkan energi aktivasi yang dibutuhkan sebenarnya. Akan tetapi dengan penambahan kadar aktivator yang melebihi kadar optimumnya justru dapat berdampak negatif pada lapisan intermetalik yang terbentuk karena mengingat beberapa faktor yang mempengaruhi pembentukan lapisan *coating* seperti suhu dan waktu penahanan saat proses diatur pada kondisi

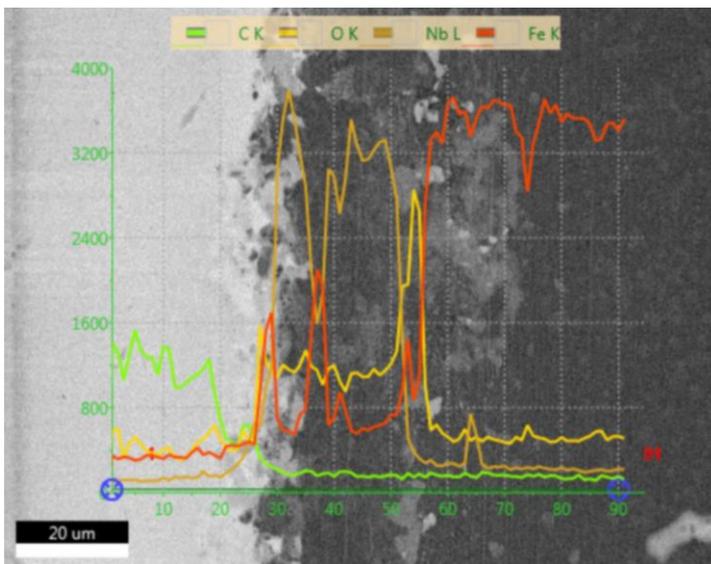
konstan (Soltani, 2017). Hal ini memungkinkan bahwa semakin berkurangnya sumber unsur karbon yang digunakan untuk berikatan, sehingga akan terjadi proses pengikatan yang lebih lanjut dengan unsur yang tersedia agar terjadi keseimbangan (Kocaman et. al, 2011). Pada pengamatan SEM dan mikroskop optik, terjadi fenomena celah yang terjadi pada lapisan, hal ini semakin memperjelas bahwa ikatan yang terjadi tidak homogen dan banyak porositas yang menyebabkan turunnya kualitas dari lapisan yang terbentuk. Hal ini terlihat dari menurunnya nilai kekerasan seiring bertambahnya persentase dari aktivator yang diberikan terlihat pada gambar 4.14.



Gambar 4.14 Hasil Kekerasan Mikro AISI 420B



Gambar 4.15 Perbandingan Ketebalan SEM dan Mikroskop Otik



Gambar 4.16 Hasil EDS Line spesimen pada Formula A
Berdasarkan gambar 4.16 hasil analisa EDS *line* pada formula A sebagai formula optimum membuktikan bahwa unsur Fe

pada material mengalami penurunan pada bagian *coating* sedangkan kandungan niobium mengalami kenaikan. Hal ini menunjukkan bahwa pada bagian tepi niobium menarik sejumlah karbon pada *base material* sehingga ikatan Fe dengan karbon terlepas dan karbon berikatan dengan niobium. Pada gambar 4.16 kandungan karbon pada daerah *coating* cenderung konstan yang dapat mengindikasikan terjadi ikatan antara niobium dan karbon. Hal ini dapat dijelaskan bahwa terjadi dua proses difusi menurut teori. Pertama, difusi karbon dari fasa baja menuju antar muka ferroniobium – baja. Kedua, difusi besi dari fasa ferroniobium menuju antar muka ferroniobium – baja. Setelah proses difusi itu, terjadi pengikatan Nb dan C menjadi niobium karbida pada antar muka ferroniobium – baja. Kemudian dilanjutkan dengan pergerakan lapisan niobium karbida yang didorong oleh pembentukan nukleasi baru niobium karbida supaya stabil (Solihin, 2014).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan mengenai pengaruh proses *Thermo Reactive Diffusion* pada *Stainless Steel* AISI 420B sebagai berikut :

1. Peningkatan persentase NH_4Cl pada formula yang divariasikan dalam proses TRD mempengaruhi pada hasil ketebalan lapisan niobium karbida (NbC) yang dihasilkan pada permukaan AISI 420B. Berdasarkan pengamatan melalui mikroskop optik nilai ketebalan meningkat dari 9,17 μm sampai 9,60 μm . Kemudian hasil pengujian SEM ketebalan meningkat dari 8,85 μm sampai 10,11 μm . Pada hasil TRD formula A terlihat bahwa lapisan yang terbentuk lebih homogen.
2. Peningkatan persentase NH_4Cl pada formula yang divariasikan mempengaruhi terhadap bentuk lapisan yang terbentuk pada AISI 420B. Penambahan persentase yang melebihi optimalnya membuat lapisan yang terbentuk semakin tidak homogen. Hal ini juga menyebabkan terjadinya penurunan nilai kekerasan pada formula reaksi NH_4Cl 5%, NH_4Cl 7,5%, dan NH_4Cl 10% yaitu 970,5 HV, 885,9 HV, dan 744,8 HV.

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 terkhusus persentase FeNb yang akan direaksikan pada penelitian ini, agar memperoleh komposisi optimal dan lapisan karbida yang terbentuk memiliki ketebalan dan kekerasan tinggi dan lebih homogen.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran 1

1. Data Mikroskop Optik

No	Lokasi	Ketebalan (μm)		
		A	B	C
1	Lokasi 1	8.93	7.86	8.45
		9.3	8.6	6.15
		12.75	9.75	5.26
		11.3	11.08	9.15
		13.6	8.41	7.86
		10.93	8.52	5.26
2	Lokasi 2	7.03	11.63	13.16
		10.06	16.12	8.21
		7.73	6.72	11.83
		7.59	8.62	4.89
		8.65	6.22	10.15
		6.63	16.12	14.6
3	Lokasi 3	5.58	8.82	13.43
		14.81	4.39	12.43
		10.44	9.25	13.72
		9.9	8.18	10.16
		7.03	8.99	7.24
		7.6	9.66	12.56
4	Lokasi 4	10.46	5.9	11.53
		8.52	8.18	9.42
		9.68	8.62	7.9
		6.56	9.49	7.45
		6.5	12.14	8.54
		10.29	8.08	9.34

5	Lokasi 5	8.18	5.63	11.21
		8.3	13.22	8.69
		19.71	12.13	11.75
		9.27	11.11	10.37
		9.56	12.42	9.85
		9.02	7.59	7.01
6	Lokasi 6	6.35	7.67	10.88
		9.74	10.29	9.71
		6.06	12.49	8.18
		9.56	8.91	10.29
		4.89	9.29	9.5
		7.74	8.91	9.37
Rata2		9.17	9.47	9.60
st deviasi		2.827021	2.601686	2.435226

DAFTAR PUSTAKA

1. Feeny.D. 1986. New Health Technologies : Their effect on Health and the cost of Health Care. Dlam : D. Feeney; G. Guyatt; Tugwell, P (eds) : Health Care Technology : Effective, Efficiency, and Public Policy. Montreal ; The Institute for Research on Public Policy. Hal 5 – 24.
2. Rogowski. W. 2007. Current impact of gene technology on healthcare. A map of economic assessment. Health Policy, 80 : 340 – 357.
3. ASTM F899. Standard specification for Stainless Steel for Surgical Instrument.
4. Sidney H. Avner. 1974. Alloy Steel, Introduction to Physical Metallurgy 2nd Edition page 350.
5. Ugur Sen. 2005. Wear Properties of Niobium Carbide Coatings Performed by Pack Method on AISI 1040 Steel. Sakarya University. Turkey.
6. Tohru Arai. 1991. Thermoreactive Deposition/Diffusion Process for Surface Hardening of Steels, ASM Internasional Vol 04 page 1000.
7. Reza Soltani, M. H. Sohi. 2017. Evaluation of niobium carbide coatings produced on AISI L2 steel via TRD technique. University of Tehran, Iran.
8. T. Arai, H. Fujita, Y. Sugimoto, Y. Ohta, Diffusion carbide coatings formed in molten borax systems, J. Mater. Eng. 9 (1987) 183–189.
9. M. Miyake, Y. Hirooka, R. Imoto, T. Sano. Chemical Vapor Deposition of Niobium on graphite, Thin Solid Films. 63 (1979) 303-308. doi : 10.1016/00406090(79)90033-6.
10. K. Zhang, M. Wen, G. Cheng, X. Li, Q. N. Meng, J. S. Lian, et al. Reactive magnetron sputtering deposition and characterization of niobium carbide films, Vacuum. 99 (2014) 233-241. doi: 10.1016/j.vacuum.2013.06.012

11. Y. Cao, H. Ren, C. Hu, Q. Meng, Q. Liu, In-situ formation behavior of NbC reinforced Fe-based laser cladding coatings, *Mater. Lett.* 147 (2015) 61–63. doi:10.1016/j.matlet.2015.02.026.
12. X. Cai, Y. Xu, L. Zhong, N. Zhao, Y. Yan, Kinetics of niobium carbide reinforced composite coating produced in situ, *Vacuum.* 119 (2015) 239–244. doi:10.1016/j.vacuum.2015.05.035.
13. X.S. Fan, Z.G. Yang, C. Zhang, Y.D. Zhang, H.Q. Che, Evaluation of vanadium carbide coatings on AISI H13 obtained by thermo-reactive deposition/diffusion technique, *Surf. Coatings Technol.* 205 (2010) 641–646. doi:10.1016/j.surfcoat.2010.07.065.
14. S. M. B. Respati. 2010. Bahan Biomaterial Stainless Steel dan Keramik. Universitas Wahid Hasyim, Semarang.
15. Haikal, Husein. 2020. Pengaruh Waktu Penahanan Proses Thermo Reactive Diffusion Terhadap Pembentukan Lapisan Niobium Vanadium Karbida Pada AISI 420. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
16. Hakim, Afif A. 2019. Pengaruh Waktu Penahanan Proses Thermo Reactive Diffusion Terhadap Pembentukan Lapisan Niobium Karbida Pada AISI 420. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
17. Harianto, Gemilang F. 2019. Pengaruh Temperatur Penahanan Proses Thermo Reactive Diffusion Terhadap Pembentukan Lapisan Niobium Karbida Pada AISI 420B. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
18. Kocaman Kadir, Sen Saduman. 2011. *Structural Properties and Kinetics of Nitro-Niobized Steels*. Turkey : Sakarya University.
19. Carson, O Robert. *Effect of Molybdenum on the Structure and Properties of Wrought and Cast Stainless Steels*. Canada : Atlas Steels.
20. Solihin. 2014. Tinjauan Pembuatan Niobium Karbida. Bandung : Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI.

BIODATA PENULIS



Nehemia Tegar Charisma adalah anak kedua dari tiga bersaudara yang lahir di Kebumen pada tanggal 22 Agustus 1998. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai tahun 2004 di SDN Kaliwungu, kemudian melanjutkan ke SMPN 1 Kebumen, dilanjutkan di SMAN 1 Kebumen, dan pada tahun 2015 melanjutkan pendidikan di Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Selama masa perkuliahan, penulis banyak mengikuti beberapa kegiatan akademik dan non akademik untuk menunjang *softskill* dan *hardskill*. Penulis aktif di kepanitian seperti kegiatan kaderisasi, kepemimpinan, dan organisasi kemahasiswaan di tingkat departemen, fakultas, dan institut. Penulis juga aktif sebagai asisten kelas dan asisten praktikum di Laboratorium Metalurgi. Untuk informasi dan kepentingan penelitian dapat menghubungi *email* nehemiategar.charisma@gmail.com.