



TUGAS AKHIR – TM141585

**ANALISIS PENGARUH PERENTASE SiC PADA PELAPIS
 NiCrBSi-SiC TERHADAP STRUKTUR MIKRO,
KEKERASAN DAN KETAHANAN OKSIDASI LAPISAN
PADA PROSE PELAPISAN HVOF**

DHIO DHARU NUGROHO
NRP 02111 54500 0012

Dosen Pembimbing:

- 1. Suwarno, ST., M.Sc., Ph.D.**
- 2. Dr. Eng. Budi Prawara**

PROGRAM SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018



TUGAS AKHIR – TM141585

**ANALISIS PENGARUH PERSENTASE SiC PADA
PELAPIS NiCrBSi-SiC TERHADAP STRUKTUR
MIKRO, KEKERASAN DAN KETAHANAN
OKSIDASI LAPISAN PADA PROSES PELAPISAN
HVOF**

DHIO DHARU NUGROHO
NRP. 02111545000012

Dosen Pembimbing:

1. Suwarno, ST., M.Sc., Ph.D.
2. Dr. Eng. Budi Prawara

PROGRAM SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018

(Halaman sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TM141585

***ANALYSIS OF SiC PERCENTAGE ON
MICROSTRUCTURAL CHARACTERISTICS,
HARDNESS AND HIGH TEMPERATURE OXIDATION
OF HVOF SPRAYED NiCrBSi-SiC COMPOSITE
COATING***

DHIO DHARU NUGROHO
NRP. 02111545000012

Supervisor

1. Suwarno, ST., M.Sc., Ph.D.
2. Dr. Eng. Budi Prawara

BACHELOR PROGRAM
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2018

(Halaman sengaja dikosongkan)

**ANALISIS PENGARUH PERSENTASE SiC PADA
PELAPIS NiCrBSi-SiC TERHADAP STRUKTUR
MIKRO, KEKERASAN DAN KETAHANAN
OKSIDASI LAPISAN PADA PROSES PELAPISAN
HVOF**

TUGAS AKHIR

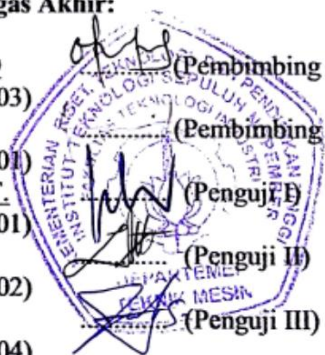
Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**DHIO DHARU NUGROHO
NRP. 02111545000012**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Suwarno, ST., M.Sc., PhD (Pembimbing I)
(NIP. 198005202005011003)
2. Dr. Eng. Budi Prawara (Pembimbing II)
(NIP. 197205301997031001)
3. Dr. Eng. Sutikno, ST., MT. (Penguji I)
(NIP. 197407032000031001)
4. Ir. Hari Subiyanto, M.Sc (Penguji II)
(NIP. 196006231988081002)
5. Indra Sidharta, ST, M.Sc (Penguji III)
(NIP. 198006192006041004)



**SURABAYA
Januari, 2018**

**ANALISIS PENGARUH PERSENTASE SiC PADA
PELAPIS NiCrBSi-SiC TERHADAP STRUKTUR MIKRO,
KEKERASAN DAN KETAHANAN OKSIDASI LAPISAN
PADA PROSES PELAPISAN HVOF**

Nama Mahasiswa : Dhio Dharu Nugroho
NRP : 02111545000012
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Suwarno ST, MT., M.Sc., PhD

ABSTRAK

Water wall tube pada jenis boiler Circulating fluidized bed (CFB) adalah bagian yang sering mengalami kerusakan, karena bertumbukan dengan campuran bahan bakar pada temperature 800-900° C. Hal ini akan menyebabkan abrasi, erosi dan reaksi kimia (oksidasi). Abrasi dan erosi yang terus terjadi akan menyebabkan pengurangan ketebalan pada water wall tube. Reaksi kimia akan membentuk oxide, hal ini dapat menurunkan kualitas material water wall tube dan dapat mengakibatkan kebocoran. Sehingga dibutuhkan material yang memiliki ketahanan terhadap keausan, abrasi dan oksidasi yang tinggi. Salah satu solusi adalah dengan pelapisan menggunakan metode High Velocity Oxygen Fuel (HVOF).

Pada penelitian ini proses pelapisan dilakukan pada material baja karbon rendah menggunakan metode HVOF dengan penambahan serbuk (powder coating) NiCrBSi-SiC. Gas pembakaran yang digunakan adalah gas propane (C₃H₈), gas oksigen (O₂) dan carrier gas nitrogen (N₂). Variasi serbuk yang dilakukan adalah sebagai berikut Variasi A: 80wt. % NiCrBSi, 20wt. % SiC, Variasi B: 70wt. % NiCrBSi, 30wt.% SiC, Variasi C: 60wt. % NiCrBSi, 40wt.% SiC. Kemudian dilakukan pengujian struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik pada permukaan dengan potongan melintang untuk melihat hasil pelapisan berupa kepadatan, porositas dan ikatan antara lapisan

dan substrat. Pengujian kekerasan dengan metode microvickres dilakukan pada potongan melintang untuk mengetahui nilai kekerasan pada lapisan. Pengujian oksidasi dilakukan untuk mengetahui ketahanan oksidasi dari lapisan pada temperature tinggi.

Hasil pengujian dari penelitian ini adalah, sruktur mikro dari lapisan coting sebagian besar didominasi oleh NiCr dengan bagian berwarna abu-abu terang. Pada spesimen C terdapat porositas sebanyak 0,52%, spesimen B 0,33% dan spesimen A 0,15%. Beberapa factor yang mempengaruhi muncul porositas adalah serbuk SiC tidak meleleh sempurna pada saat proses coating karena perbedaan ukuran partikel. Ikatan antara lapisan dengan substrat bagus, tidak terdapat porositas dan crack. Pada pengujian kekerasan penambahan SiC terbukti meningkatkan nilai kekerasan dari lapisan jika dibandingkan dengan substrat, tetapi persentase SiC pada penelitian ini tidak begitu berpengaruh terhadap nilai kekerasannya, nilai kekerasan yang didapat antara 649-753 Hv. Dari data hasil pengujian thermal oksidasi dapat disimpulkan bahwa penambahan serbuk SiC terbukti mengurangi laju oksidasi dari lapisan. Tetapi dari data penelitian yang didapat spesimen C jumlah persentase 40% SiC justru mengalami laju oksidasi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan spesimen B SiC 30% dan spesimen A 20% SiC. Hal ini bisa dipengaruhi dari munculnya porositas, karena porositas dapat menurunkan nilai kekerasan dan ketahanan oksidasi dari lapisan.

Kata kunci: *HVOF, NiCrBSi, SiC, Coating, water wall tube, boiler, CFB*

**ANALYSIS OF SiC PERCENTAGE ON
MICROSTRUCTURAL CHARACTERISTIC, HARDNESS
AND HIGH TEMPERATURE OXIDATION OF HVOF
SPRAYED NiCrBSi-SiC COMPOSITE COATING**

Name : Dhio Dharu Nugroho
NRP : 02111545000012
Departement : Mechanical Engineering FTI – ITS
Supervisor : Suwarno, ST., M.Sc., PhD

ABSTRACT

Water wall tubes in the boilers Circulating fluidized bed (CFB) type is a part that often fail, as impact with a fuel mixture at temperatures of 800-900° C. This will cause abrasion, erosion and chemical reactions (oxidation). Abrasion and erosion will cause a reduction in the thickness of the water wall tube. Chemical reaction will make oxide scale, this can decrease the quality of water wall tube material and induce leakage. So that required material that have high wear resistance, abrasion and oxidation. One of solution is to use a High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) method.

In this study the coating process was carried out on low carbon steel material using HVOF method with the addition of NiCrBSi-SiC powder coating. Combustion gas used is propane gas (C₃H₈), oxygen gas (O₂) and carrier gas is nitrogen (N₂). Combustion gas used is propane gas (C₃H₈), oxygen gas (O₂) and nitrogen carrier gas (N₂). Variation of powder is done as follows Variation A: 80wt. % NiCrBSi, 20wt. % SiC, Variation B: 70wt. % NiCrBSi, 30wt.% SiC, Variation C: 60wt. % NiCrBSi, 40wt.% SiC. Microstructure observation made by mikroskop optik on the surface with a cross-section to see the results of the coating in the form of density, porosity and the bond between the coating and the substrate. Hardness testing with methods microvickres on the surface of the cross section to determine the value of hardness in

the layer. The oxidation is performed to determine the oxidation resistance of the coating at high temperature.

The result of this research is, micro structure of coting layer mostly dominated by NiCr with light gray part. In specimen C there is porosity as much as 0.52%, specimen B 0.33% and specimen A 0.15%. Some of the factors that influence porosity appear are that SiC powder does not melt completely during the coating process due to differences in particle size. Bonds between layers with substrateis good, no porosity and crack. The addition of SiC has been shown to increase the hardness value of the coating when compared to the substrate, but the percentage of SiC in this study did not significantly affect its hardness value, the hardness value obtained between 649-753 Hv. From the data of thermal oxidation test results can be concluded that the addition of SiC powder can reduce the oxidation rate of the coating. From the data obtained that specimen C the percentage 40% SiC actually experience higher oxidation rate when compared with 30% SiC specimen B and specimen A 20% SiC. This can be affected by the appearance of porosity, because porosity can decrease the hardness and oxidation resistance of the coating

Keywords: HVOF, NiCrBSi, SiC, Coating, water wall tube, boiler, CFB

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat dan kasih sayang-Nya, karena dengan ijin-Nya lah penyusunan tugas akhir ini dapat terselesaikan tanpa adanya halangan yang cukup berarti. Dalam penyusunan tugas akhir ini tidak dapat dipungkiri ada begitu banyak dukungan dan bantuan yang diberikan dari berbagai pihak baik secara moril maupun materi. Pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini, antara lain:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Supriyono dan Ibu Sutratmi yang mendukung penuh, menasehati dan selalu mendoakan penulis setiap saat agar tugas akhir ini dapat selesai.
2. Bapak Suwarno, S.T., M.Sc., Ph. D selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah membimbing dan meluangkan waktu, serta memberi motivasi dalam mengerjakan tugas akhir ini dapat terselesaikan.
3. Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.,_Bapak Hari Subiyanto, M. Sc dan Bapak Indra Sidharta, S.T., M.Sc., DEA selaku dosen penguji yang telah menguji dan memnerikan kritik dan saran yang membangun untuk tugas akhir ini.
4. Dr. Eng. Budi Prawara selaku dosen pembimbing di P2 Telimek LIPI yang telah membimbing dan meluangkan waktu, serta memberi motivasi dalam mengerjakan tugas akhir ini dapat terselesaikan
5. Pak Bambang Sumantri, Pak Gatot, Pak Budi, Mas Agus, dan Mas Luki atas batuan yang telah diberikan selama mengerjakan tugas akhir.
6. Pak Hendro, Pak Tito, Pak Anwar, Pak Sunaryo atas batuan yang telah diberikan selama mengerjakan tugas akhir di P2 Telimek LIPI.

7. Saudara kandung penulis, Chandra Dewi Puspita yang selalu mendoakan penulis agar segera menyelesaikan masa studinya dan menyemangati penulis setiap saat.
8. Seluruh dosen dan karyawan yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang pernah memberikan ilmu kepada penulis.
9. Mustofa Hilmi atas bantuan dan kerjasamanya sebagai partner tugas akhir ini.
10. Teman-teman lintas jalur lima semester angkatan 2015, terimakasih atas dukungan dan persahabatan kita yang penuh cerita tidak berguna.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan dan terdapat kekurangan. Penulis mengharapkan kritik dan saran untuk perbaikan dimasa depan. Semoga tugas akhir ini bisa bermanfaat untuk kita semua. Amien.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Boiler.....	7
2.3 Baja.....	9
2.4 Thermal Spray	10
2.5.1. Parameter.....	14

2.5.2.	Material Powder	15
2.5.3.	NiCrBSi-SiC	17
2.5.4.	Struktur Lapisan Hasil Dari HVOF	18
BAB III		21
METODOLOGI		21
3.1	Diagram Alir Penelitian	21
3.2	Material Substrat	23
3.3	Material Coating	23
3.3.1	Spesifikasi Powder NiCrBSi dan SiC	23
3.4	Proses Persiapan Material	24
3.5	Proses Coating	27
3.6	Pengujian	34
3.6.1	Pengujian Struktur Mikro	34
3.6.2	Pengujian kekerasan	36
3.6.3	Pengujian Thermal Oksidasi	37
BAB IV		39
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		39
4.1	Pengujian Struktur Mikro	39
4.1.1	Pembahasan Struktur Mikro	47
4.2	Pengujian Kekerasan	49
4.2.1	Data Hasil Pengujian Kekerasan	50
4.2.2	Analisa dan Pembahasan Pengujian Kekerasan	
	50	

4.3	Pengujian Thermal Oksidasi.....	53
4.3.1	Data Hasil Pengujian Thermal Oksidasi.....	53
4.3.2	Analisa dan Pembahasan Pengujian Thermal Oksidasi	53
BAB V		59
KESIMPULAN DAN SARAN		59
5.1.	Kesimpulan	59
5.2.	Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA		61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Circulating Fluidized Bed (CFB).....	8
Gambar 2. 2 Circulating Fluidized Bed (CFB) [14]	9
Gambar 2. 3 Skema Thermal Spray [2].....	11
Gambar 2. 4 Pembagian thermal spray berdasarkan sumber energi [2]	12
Gambar 2. 5 Perbandingan karakteristik teknik thermal spray coatings [2]	12
Gambar 2. 6 Sistem Gun pada HVOF [1].....	13
Gambar 2. 7 Skema struktur mikro lapisan [2].....	19
Gambar 3. 1 Material Substrat.....	23
Gambar 3. 2 (a) Mikroskop optik dan (b) Mesin grinding dan polishing	35
Gambar 3. 3 (a) Alat uji Microhardness dan (b) Lokasi indentasi	36
Gambar 3. 4 (a) Furnace (Tungku) dan (b) Timbangan	37
Gambar 4. 1 Grafik Persentase Porositas	49
Gambar 4. 2 (a) Hasil indentasi pada spesimen dan (b) Posisi indentasi.....	50
Gambar 4. 3 Grafik Nilai Kekerasan Terhadap Posisi Indentasi.....	51
Gambar 4. 4 Grafik Pengujian Oksidasi Thermal (diukur dari berat awal)	54
Gambar 4. 5 Grafik Pengujian Oksidasi Thermal (diukur dari berat sebelumnya).....	55
Gambar 4. 6 (a) spesimen tanpa pelapisan sebelum proses oksidasi, (b) spesimen dengan pelapisan sebelum proses oksidasi, (c) spesimen tanpa pelapisan setelah proses oksidasi dan (d) spesimen dengan pelapisan setelah proses oksidasi	56

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Komposisi kimia NiCrBSi	23
Tabel 3. 2 Sesifikasi powder NiCrBSi	23
Tabel 3. 3 Variasi campuran NiCrBSi-SiC	24
Tabel 3. 4 Proses Persiapan Substrat dan Serbuk.....	24
Tabel 3. 5 Proses Coating	27
Tabel 4. 1 Struktur Mikro Spesimen D (100% NiCrBSi)	39
Tabel 4. 2 Struktur Mikro Spesimen A (80% NiCrBSi-20% SiC)	42
Tabel 4. 3 Struktur Mikro Spesimen B (70% NiCrBSi-30% SiC)	44
Tabel 4. 4 Struktur Mikro Spesimen C (60% NiCrBSi-40% SiC)	46
Tabel 4. 5 Data Hasil Pengujian Kekerasan	50
Tabel 4. 6 Data Hasil Pengujian Thermal Oksidasi	53
Tabel 4. 7 Persentase Selisih Penambahan Berat.....	53
Tabel 4. 8 Persentase Penambahan Berat	54

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), *boiler adalah alat yang* menghasilkan panas yang digunakan untuk mengubah air dalam pipa menjadi uap. Kemudian uap selanjutnya digunakan untuk menggerakkan turbin dan memutar generator. Kinerja pembangkitan listrik pada PLTU sangat dipengaruhi oleh efisiensi panas pada proses pembakaran dalam *boiler* tersebut. Selain berpengaruh pada efisiensi pembangkitan, juga dapat berpengaruh untuk menurunkan biaya pembangkitan. *Circulating fluidized bed (CFB)* merupakan salah satu metode pembakaran yang digunakan pada *boiler*. Sedangkan bahan bakar yang digunakan adalah batubara (diameter rata-rata 10 mm). Batubara dicampur dengan *limestone* (batukapur) dan pasir silika dibakar diatas papan (*bed boiler*). Material bahan bakar yang berada pada *bed boiler*, kemudian diberi hembusan udara yang bertekanan tinggi dari bagian bawah, sehingga memudahkan pembakaran karena adanya gesekan antara batubara, *limestone* dan pasir silika.

Proses pembakaran didalam CFB dengan bahan bakar batubara terjadi antara temperature 800-900° C. Pada saat pembakara terjadi aliran yang turbulensi dari campuran bahan bakar, hal ini akan menimbulkan tumbukan antara batubara yang belum terbakar sempurna dengan *water wall tube* dan menyebabkan abrasi dan erosi. Abrasi dan erosi yang terus terjadi akan menyebabkan pengurangan ketebalan pada *water wall tube* yang akhirnya menyebabkan kebocoran pada *water wall tube*. Pada saat terjadi tumbukan, sebagian partikel *erosive* akan menempel pada permukaan *water wall tube* dan lama-kelamaan akan terbentuk endapan. Jika kondisi ini terus berlangsung pada temperature tinggi maka akan terjadi reaksi kimia (oksidasi) pada endapan. Reaksi kimia pada endapan akan membentuk *oxide scales* pada permukaan *water wall tube*, hal ini dapat menurunkan kualitas material *water wall tube* dan dapat mengakibatkan kebocoran. Permasalahan ini

menjadi salah satu penyebab terjadinya kerusakan pada *boiler*. Jika dilakukan perbaikan atau penggantian komponen yang rusak akan membutuhkan biaya yang sangat tinggi dan apabila kerusakan ini tidak segera ditangani akan mengakibatkan keseluruhan sistem pada berhenti bekerja. Sehingga dibutuhkan material yang memiliki ketahanan terhadap keausan, abrasi dan oksidasi yang tinggi.

Salah satu solusi untuk meningkatkan ketahanan terhadap keausan, abrasi, dan oksidasi temperature tinggi adalah dengan pelapisan. *High Velocity Oxygen Fuel* (HVOF) adalah salah satu metode pelapisan yang bisa digunakan.

1.2 Perumusan Masalah

Rumuan dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh proses *thermal spray coating* HVOF dengan penambahan serbuk (*powder coating*) NiCrBSi-SiC terhadap struktur mikro, kekerasan dan ketahanan oksidasi.
2. Berapakah persentase (*powder coating*) serbuk yang dapat menghasilkan pelapisan material yang paling baik.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Material substrat yang digunakan adalah baja karbon rendah dan diasumsikan memiliki komposisi yang homogen.
2. Substrat (sepesimen uji) berbentuk persegi panjang dengan ukuran 250x50x3 mm.
3. Parameter proses *thermal spray coating* dengan HVOF diasumsikan sama untuk setiap spesimen.
4. Proses *thermal spray coating* tidak terpengaruh oleh kondisi lingkungan.
5. Proses *thermal spray coating* dengan HVOF dilakukan di Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik

Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (P2 Telimek LIPI)

6. Alat pengujian yang digunakan diasumsikan berfungsi dengan baik.

1.4 Tujuan Penelitian

Maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh penambahan serbuk (*powder coating*) NiCrBSi-SiC terhadap stuktur mikro pada proses *thermal spray coating* HVOF.
2. Mengetahui pengaruh penambahan serbuk (*powder coating*) NiCrBSi-SiC terhadap kekerasan lapisan pada proses *thermal spray coating* HVOF.
3. Mengetahui pengaruh penambahan serbuk (*powder coating*) NiCrBSi-SiC terhadap ketahanan oksidasi pada proses *thermal spray coating* HVOF.
4. Mengetahui persentase dari serbuk untuk menghasilkan pelapisan material dengan kekerasan dan ketahanan oksidasi yang paling baik.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Menambah pengetahuan pembaca maupun penulis tentang proses pelapisan menggunakan metode HVOF.
2. Dapat mengaplikasikan *thermal spray coating* HVOF dengan persentase serbuk yang sesuai untuk menghasilkan pelapisan material yang paling baik.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu ini menjadi salah satu acuan dalam melakukan penelitian sehingga penulis dapat memperkaya teori yang digunakan dalam mengkaji penelitian yang dilakukan. Berikut ini penelitian yang digunakan sebagai acuan:

- M.Karagöz, dkk, “*Microstructural Characteristics of High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) sprayed NiCrBSi-SiC Composite Coating on a Low Alloy Steel*” pada tahun 2011. Dalam jurnal ini M karagoz dkk meneliti, mengamati dan membandingkan komposisi kimia, kekerasan dan struktur mikro dari hasil pelapisan material dengan menggunakan metode HVOF. Dalam jurnal ini serbuk pelapis yang digunakan adalah NiCrBSi-SiC dengan variasi persentase material 1: 80wt. % NiCrBSi, 20wt. % SiC, material 2: 70wt. % NiCrBSi, 30wt.% SiC dan material 3: 60wt. % NiCrBSi, 40wt.% SiC. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah nilai kekerasan tertinggi terdapat pada material 3: 60wt. % NiCrBSi, 40wt.% SiC dengan nilai kekerasan 830 Hv. Sedangkan hasil dari struktur mikro adalah lapisan memiliki fasa utama nikel. Analisis XRD dari lapisan didapat hasil bahwa komposisi lainnya adalah dari Ni_4B_3 , BNi_2 , BNi_3 , SiC Cr_7C_3 , $\text{Cr}_3\text{Ni}_2\text{Si}$, $\text{Cr}_{13}\text{Ni}_5\text{Si}_2$ dan CrB_2 [5].
- M.R. Ramesh, dkk, “*Evaluation of Thermocyclic Oxidation Behavior of HVOF-Sprayed NiCrFeSiB*” pada tahun 2010. Dalam jurnal ini M.R. Ramesh dkk meneliti tentang oksidasi temperature tinggi pada material SA210 grade-A1, SA213-T11 and SA213-T22 yang tidak dilakukan pelapisan dengan material yang dilakukan pelapisan. Dalam penelitian ini serbuk pelapis yang

digunakan adalah NiCrFeSiB. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menghitung penambahan berat material setelah dilakukan proses oksidasi. Proses oksidasi dilakukan dengan cara memanaskan material sampai temperature 900° C pada tungku, kemudian dilakukan penahanan selama 1 jam dalam tungku, kemudian didinginkan sampai temperature 27° C dalam tungku, selanjutnya penambahan berat material diukur. Siklus ini dilakukan pengulangan sebanyak 10 kali. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini adalah proses pelapisan pada material terbukti mengurangi laju oksidasi dari material [6].

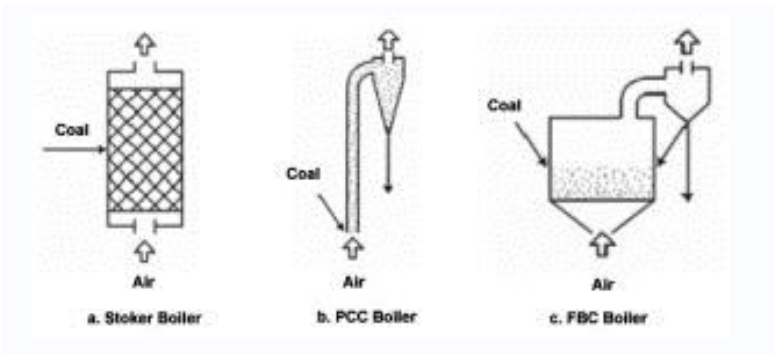
- B. Prawara, dkk, “*Wear and Impact Resistance of HVOF Sprayed Ceramic Matrix Composites Coating*” pada tahun 2016. Dalam jurnal ini B. Prawata dkk meneliti tentang bagaimana pengaruh proses pelapisan dengan menggunakan metode HVOF yang menggunakan bahan pelapis ceramic matrix composites (CMC) berupa campuran Cr₃C₂ dan NiAl-Al₂O₃ dengan variasi ukuran partikel NiAl terhadap ketahanan impak dan keausan lapisan. Hasil yang diperoleh yaitu performa maksimal dalam hal ketahanan impak, keausan, dan kekerasan didapat pada material powder Cr₃C₂ dengan ukuran partikel NiAl sebesar -38µm [3].
- Soner Buytoz, dkk, “*Microstructural and Wear Characteristics of High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) Sprayed NiCrBSi–SiC Composite Coating on SAE 1030 Steel*” pada tahun 2013. Dalam jurnal ini Soner Buytoz dkk meneliti tentang komposisi kimia, kekerasan dan struktur mikro dari hasil pelapisan material dengan menggunakan metode HVOF. Dalam jurnal ini serbuk pelapis yang digunakan adalah NiCrBSi–SiC dengan variasi persentase material 1: 80wt. % NiCrBSi, 20wt. % SiC, material 2: 70wt. % NiCrBSi, 30wt.% SiC dan

material 3: 60wt. % NiCrBSi, 40wt.% SiC. Pengujian keausan dilakukan juga dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari penambahan SiC. Nilai kekerasan dari lapisan antara 550-830 Hv. Sedangkan hasil dari struktur mikro adalah lapisan memiliki fasa utama nikel. Analisis XRD dari lapisan didapat hasil bahwa komposisi lainnya adalah dari Ni_4B_3 , BNi_2 , BNi_3 , SiC Cr_7C_3 , $\text{Cr}_3\text{Ni}_2\text{Si}$, $\text{Cr}_{13}\text{Ni}_5\text{Si}_2$ dan CrB_2 . Nilai kekerasan yang meningkat terjadi akibat penambahan SiC yang membentuk fase keras yang tersebar dalam matrik nikel. Ketahanan aus dari lapisan juga meningkat dengan penambahan SiC.

2.2 Boiler

Boiler adalah suatu alat atau system pembakaran menghasilkan panas. Salah satu pemanfaatan *boiler* adalah pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Panas yang dihasilkan *boiler* digunakan untuk mengubah air dalam pipa (*wall tube boiler*) yang dilewatkan pada *boiler* tersebut menjadi uap, yang selanjutnya digunakan untuk menggerakkan turbin dan memutar generator. Kinerja pembangkitan listrik pada PLTU sangat ditentukan oleh efisiensi panas pada proses pembakaran batubara tersebut, karena selain berpengaruh pada efisiensi pembangkitan, juga berpengaruh untuk menurunkan biaya pembangkitan.

Pada dasarnya metode pembakaran pada PLTU terbagi 3, yaitu pembakaran batubara pada *bed* (*fixed bed combustion*), pembakaran batubara serbuk atau *pulverized coal combustion* (PCC), dan pembakaran batubara yang bersirkulasivatau *Circulating fluidized bed* (CFB). Gambar 2.1 di bawah ini menampilkan jenis – jenis *boiler* yang digunakan untuk masing – masing metode pembakaran.



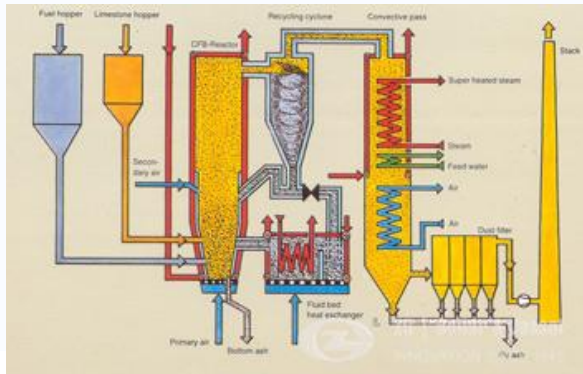
Gambar 2. 1 Circulating Fluidized Bed (CFB)

Pada pembakaran dengan metode CFB, batubara dengan diameter rata-rata 10 mm, limestone (batukapur) dan pasir silika diletakkan pada *bed boiler*.

Pada saat proses pembakaran butiran batubara dijaga agar dalam posisi mengambang, dengan cara melewati udara bertekanan dari bagian bawah *boiler*. Keseimbangan antara gaya dorong ke atas dari udara dan gaya gravitasi akan menjaga butiran batubara tetap dalam posisi mengambang sehingga membentuk lapisan seperti fluida yang selalu bergerak. Kondisi ini akan menghasilkan pembakaran bahan bakar yang lebih sempurna karena posisi batubara selalu berubah sehingga sirkulasi udara dapat berjalan dengan baik dan mencukupi untuk proses pembakaran.

Temperatur pembakaran pada CFB berkisar antara 800–900°C. Pada saat proses pembakaran yang turbulensi akan terjadi tumbukan antara batubara dan *water wall tube*. Tumbukan tersebut akan menyebabkan abrasi dan erosi pada *water wall tube*. Abrasi yang terus terjadi akan menyebabkan pengurangan ketebalan pada *water wall tube* yang akhirnya menyebabkan kebocoran. Jika terjadi kebocoran pada *wall tube boiler*, sistem pada *boiler* akan berhenti bekerja dan mungkin juga plan akan

berhenti. Sehingga dibutuhkan material yang memiliki ketahanan terhadap keausan dan abrasi yang tinggi.



Gambar 2. 2 *Circulating Fluidized Bed (CFB)* [14]

2.3 Baja

Baja adalah suatu logam paduan dengan unsur dasar besi (Fe) dan unsur paduan karbon (C) dimana kadar karbon dalam paduan tidak lebih dari 2% dari berat totalnya [13]. Baja merupakan logam paduan yang paling sering digunakan di dunia industri karena memiliki beberapa keunggulan. Pertama, ketersediaan bahan baku yang melimpah di alam dan kemudahan teknologi untuk mengolah bijih besi menjadi baja relatif murah. Kedua, rentang kekuatan yang lebar dimana kekuatan dapat diubah melalui proses perlakuan panas sehingga dapat digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan rendah sampai kekuatan tinggi. Baja diklasifikasikan menjadi dua bagian utama berdasarkan komposisi kimianya. Baja dengan paduan utama berupa karbon saja diklasifikasikan sebagai baja karbon (*plain carbon steel*). Baja dengan unsur paduan lebih dari satu jenis diklasifikasikan sebagai baja paduan (*alloy steel*).

Baja Karbon adalah baja dengan paduan utama karbon, dan sedikit unsur paduan yang lain. Baja karbon sering digunakan pada berbagai jenis konstruksi karena memiliki beberapa keunggulan.

Baja karbon diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) berdasarkan jumlah karbon penyusunnya, yaitu baja karbon rendah dengan jumlah kadar karbon maksimal 0.3 %, baja karbon menengah dengan jumlah kadar karbon 0.3-0.6% dan baja karbon tinggi dengan jumlah kadar karbon 0.6-1% [13].

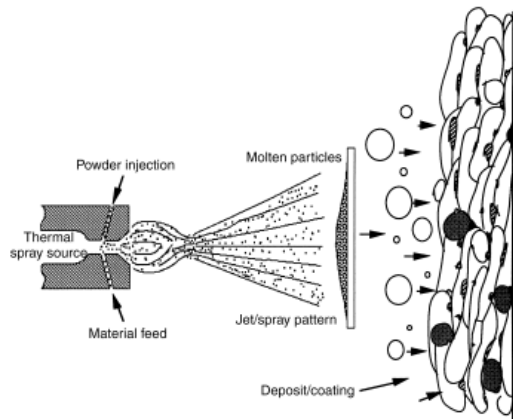
Keunggulan dari baja karbon adalah rentang kekuatan yang cukup besar dan dapat diubah dengan melakukan proses perlakuan panas. Selain itu, baja memiliki keuletan yang cukup baik sehingga dapat dikerjakan dengan baik, melalui proses pembentukan (*forming*), maupun proses permesinan (*machining*). Kekurangan dari baja karbon adalah terjadinya penurunan kekuatan seiring naiknya temperatur, mempunyai ketahanan impact yang buruk pada temperatur rendah, ketahanan korosi baja karbon juga buruk serta mudah mengalami oksidasi pada temperatur tinggi.

2.4 Thermal Spray

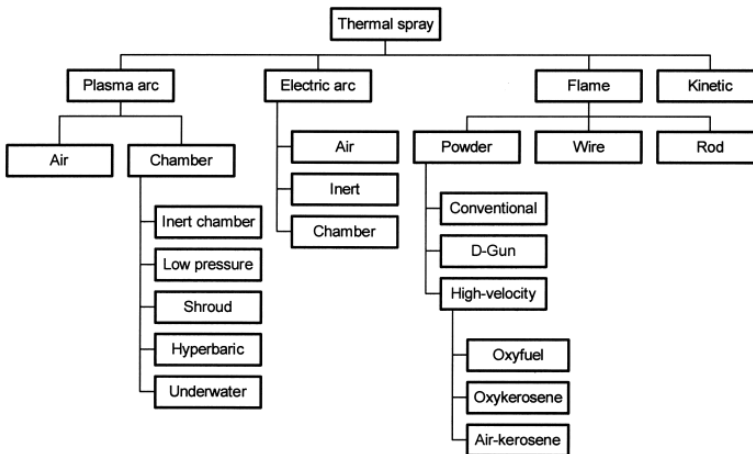
Thermal spray adalah proses pelapisan permukaan untuk material berupa logam dan non logam. Proses ini dikelompokkan menjadi tiga: *flame spray*, *electric arc spray* dan *plasma arc spray*. Pada *Thermal spray* yang menggunakan *flame* digolongkan menjadi *low-velocity powder flame*, *rod flame*, *wire flame processes*, *high-velocity processes* (HVOF) dan *the detonation gun* (D-Gun) dapat dilihat pada Gambar 2.4 [2]. Sumber energi yang digunakan untuk memanaskan bahan pelapis biasanya dalam keadaan cair atau gas. Pergerakan dari partikel yang telah dipanaskan kemudian didorong dan dipercepat oleh aliran gas bertekanan, kemudian diproyeksikan ke permukaan material yang akan dilapisi (substrat). Akibat tumbukan dengan kecepatan tinggi menyebabkan terjadinya suatu ikatan antara partikel dengan permukaan material dan menyebabkan ketebalan dari material bertambah yang membentuk struktur lamellar [2].

Kelebihan dari *thermal spray* adalah banyak variasi bahan yang dapat digunakan untuk membuat lapisan. Hampir semua bahan yang bisa meleleh tanpa terjadi perubahan komposisinya dapat digunakan. Kelebihan selanjutnya adalah proses pelapisan

dapat dilakukan pada temperatur yang relatif rendah (*low heat input*), sehingga pada saat proses pelapisan tidak terjadi perubahan sifat mekanik dan ukuran material substrat. Kelebihan ketiga adalah kemampuan dari *thermal spray* untuk melakukan pelapisan ulang atau rusak tanpa mengubah sifat atau dimensi bagian tersebut. Kelemahan dari *thermal spray* adalah sifat *line-of-sight* pada saat proses, proses pelapisan hanya dapat dilakukan pada permukaan yang terjangkau oleh gun (*torch*), sehingga untuk material substrat yang memiliki ukuran kecil dan bentuk yang rumit seperti rongga akan sulit untuk dilakukan. Proses juga tidak dapat dilakukan pada area operasi yang kecil atau terbatas [2].



Gambar 2. 3 Skema Thermal Spray [2]



Gambar 2. 4 Pembagian *thermal spray* berdasarkan sumber energi [2]

Process	Gas flow		Flame or exit plasma temperature		Particle impact velocity	
	m ³ /h	ft ³ /h	°C	°F	m/s	ft/s
Flame powder	11	400	2200	4000	30	100
Flame wire	71	2500	2800	5000	180	600
High-velocity oxyfuel	28–57	1000–2000	3100	5600	610–1060	2000–3500
Detonation gun	11	400	3900	7000	910	3000
Wire arc	71	2500	5500	10,000	240	800
Conventional plasma	4.2	150	5500	10,000	240	800
High-energy plasma	17–28	600–1000	8300	15,000	240–1220	800–4000
Vacuum plasma	8.4	300	8300	15,000	240–610	800–2000

(a) 1 (low) to 10 (high). (b) ppm levels. Source: Ref 3

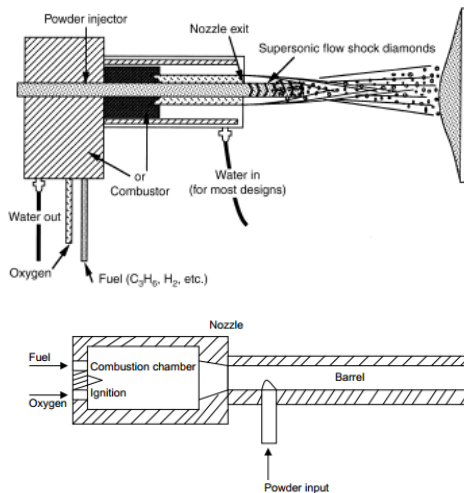
Gambar 2. 5 Perbandingan karakteristik teknik *thermal spray coatings* [2]

2.5 *High Velocity of Fule (HVOF)*

High Velocity of Fule (HVOF) dikembangkan pada akhir 1970-an dan di awal 1980-an. Prinsip-prinsip dari teknik ini mirip dengan D-gun, dengan perbedaan dalam cara pembakaran media bahan bakar oksigen. Pada HVOF terjadi pembakaran yang kontinyu, sedangkan pada Dgun pembakaran terjadi berulang-ulang.

Sekarang teknik ini telah menjadi salah satu standar dalam penyemprotan karbida dan banyak aplikasi di aeronautika dan industri yang sebelumnya menggunakan kromium elektrolit sekarang digantikan oleh karbida serta paduan dengan proses HVOF (Grasset, 2003).

Dalam proses HVOF (Gambar 2.6), bahan bakar gas atau cairan dimasukkan ke ruang bakar bersama-sama dengan oksigen. Kemudian panas dari hasil pembakaran digunakan untuk melelehkan partikel pelapis yang kemudian didorong dan diakselerasikan ke permukaan subtrak [1].



Gambar 2. 6 Sistem Gun pada HVOF [1]

2.5.1. Parameter

- *Flame* (nyala api)

Media kerja pada proses HVOF adalah gas oksigen (O_2) dan gas bahan bakar seperti:

- Gas Hidrokarbon, misalnya, *ethylane* (C_2H_2), *propylene* (C_3H_6), *propane* (C_3H_8) dan gas alam.
- Cairan Hidrokarbon, seperti minyak tanah, yang merupakan produk dari penyulingan minyak bumi pada suhu 320-550 K. Minyak Tanah digunakan sebagai bahan bakar dalam mesin jet dan digunakan dalam torch HVOF JP-5000 (Praxair ST). Cairan dikabutkan sebelum pembakaran.

Parameter utama menentukan sifat-sifat kecepatan jet, sebagai berikut:

- Pada ruang bakar tekanan bervariasi antara 0,3-1 MPa, pada HVOF torch hingga 4 MPa (Dvorak dan Torday, 1996). Tekanan tinggi pada saat pembakaran menyebabkan peningkatan kecepatan dari partikel yang disemprotkan.
- Stoikiometri dari campuran bahan bakar dengan oksigen sangat berpengaruh terhadap reaksi pembakaran. Contoh stoikiometrik sebuah reaksi, untuk propylene sebagai bahan bakar gas, ditunjukkan pada berikut persamaan:

$$C_3H_6 + 9/2 O_2 \rightarrow 3CO_2 + 3H_2O + 1936 \text{ kJ/mol}$$

- Sifat-sifat nyala api

Karakteristik dari nyala api HVOF adalah *supersonic* dengan aliran gas yang berkembang. Kecepatan aliran *supersonic* ditandai dengan munculnya *shock diamond*, yang disebabkan oleh perluasan aliran,

pola ekspansi dan kompresi gelombang (Oberkampff dan Talpallikar, 1996a). Perhitungan yang dilakukan untuk ‘Diamod Jet’, dengan campuran propylene dan oksigen dan rasio sedikit lebih rendah dari 1 (Oberkampff dan Talpallikar, 1996b), memungkinkan untuk menemukan temperatur nyala maksimum sekitar 2500 K dan kecepatan sekitar 1600 m/s [1].

Temperature pada ujung gun mencapai 3000 K dan kecepatan 2000 m/s dihitung oleh Chang dan Moore (1995) untuk torch JP-5000 dengan bahan bakar cair campuran $C_{10}H_{20}$ dan oksigen di bawah kondisi stoikiometri. Kecepatan yang sama 2000 m / s ditemukan untuk nyala api dengan torch ‘Jet-Kote’ oleh Kreye (1991) [1].

- Serbuk (*powder*)

Ukuran partikel biasanya dalam kisaran 5-45 μm . Jenis serbuk paling sering digunakan adalah komposit dengan penguat karbida dan logam atau paduan. Arah injeksi dari serbuk adalah:

- Radial di dalam barrel (misalnya torch JP-5000 dari Praxair ST);
- Aksial ke ruang bakar (misalnya torch HV2000 dari Praxair ST).

Tingkat kecepatan dari serbuk adalah di kisaran 20-120 g/menit. Gas pembawa adalah nitrogen atau argon. *Powder feeder* yang digunakan dari jenis *rotating plate*. Jarak antara gun dengan material antara 150-300 mm [1].

2.5.2. Material Powder

Ada tiga bahan dasar yang dapat digunakan dalam *thermal spray* [2]:

- Bahan Single-fase, seperti logam, paduan, intermetallics, keramik, dan polimer.
 - Bahan komposit, seperti cermet (WC / Co, Cr₃C₂ / NiCr, NiCrAlY / Al₂O₃, dll), logam diperkuat, dan polimer diperkuat.
 - Bahan berlapis atau gradasi, disebut bahan gradien fungsional (FGM)
- a. Bahan Single-Phase
- Logam: Logam murni dan logam paduan dapat digunakan sebagai bahan pelapis, termasuk *tungsten, molybdenum, rhenium, niobium, superalloys, zinc, aluminum, bronze, mild* dan *stainless steels*, paduan NiCr, *cobalt/nickel-base* dan paduan NiCrBSi “*self-fluxing*”. Paduan yang digunakan sebagai bahan pelapis ini memiliki kelebihan, yaitu sama dengan logam dasar yang biasanya membutuhkan perbaikan, kekuatan tinggi, ketahanan korosi, ketahanan aus, dan ketahanan oksidasi. Aplikasi dalam bidang otomotif: *diesel engine cylinder coatings; piston rings, valve stems, turbine engine blades, vanes*, dan *combustors*, untuk melindungi jembatan dan infastruktur dari korosi; *petrochemical pumps and valves* dan pada alat-alat pertanian.
 - Keramik: Sebagian besar bentuk keramik bisa digunakan sebagai bahan pelapis dengan *thermal spray*, termasuk oksida logam seperti Al₂O₃, ZrO₂, TiO₂, Cr₂O₃, dan MgO; karbida seperti Cr₃C₂, TiC, Mo₂C, dan SiC; *nitride* seperti TiN dan Si₃N₄. Bahan ini digunakan untuk memberikan ketahanan aus (Al₂O₃, Cr₂O₃, TiO₂, Cr₃C₂, TiC, Mo₂C, dan TiN), ketahanan terhadap suhu tinggi (Al₂O₃, ZrO₂, dan MgO), isolasi listrik (Al₂O₃, TiO₂, dan MgO), dan ketahanan korosi. Keramik sangat cocok untuk *thermal spray*

dengan metode *plasma*, karena temperature proses yang tinggi.

- *Intermetallics*: Seperti TiAl, Ti 3 Al, Ni3 Al, Nial, dan MoSi2 semuanya dapat dilakukan dengan *thermal spray*. Kebanyakan *intermetallics* sangat reaktif pada suhu tinggi dan sangat sensitif terhadap oksidasi, karenanya atmosfer inert harus digunakan selama penyemprotan plasma.
- Polimer: Polimer juga dapat digunakan pada *thermal spray*, *thermal spray* dengan polimer telah dilakukan secara komersial sejak 1980-an. Contoh polimer yang banyak digunakan adalah *termoplastik*, *termoset* dan *kopolimer*. Metode yang sering digunakan adalah dengan HVOF

b. Komposit

Komposit partikulat, serat, dan komposit dengan rainforced *whisker* semuanya telah diproduksi dan digunakan dalam berbagai aplikasi. Partikel yang sudah diperkuat dengan cramic seperti WC / Co, Cr₃C₂ / NiCr, dan TiC / NiCr adalah campuran yang umum digunakan dalam *thermal spray*. Bahan komposit yang digunakan dalam *thermal spray* dapat memiliki kandungan fasa penguat mulai dari 10-90% dari volume, dimana matriks logam yang ulet digunakan sebagai pengikat agar tidak getas.

2.5.3. NiCrBSi-SiC

Serbuk NiCrBSi-SiC termasuk dalam logam paduan bahan *Single-Phase*. Keuntungan dari NiCrBSi-SiC adalah memiliki banyak kesamaan dengan logam dasar pada suatu komponen yang sering mengalami kerusakan dan membutuhkan perbaikan. Lapisan berbasis nikel banyak digunakan pada suatu komponen yang membutuhkan ketahanan aus dan ketahanan oksidasi atau ketahanan korosi pada temperatur tinggi.

Serbuk berbasis nikel (Ni) sebagian besar merupakan paduan dari Ni-B-Si, ditambah dengan penambahan elemen paduan lainnya. *Boron* (B) memiliki pengaruh untuk menurunkan titik leleh dari Ni. Silikon (Si) ditambahkan untuk meningkatkan sifat *self-fluxing* yang sangat berguna pada saat proses pelapisan ketika proses pendinginan pada lapisan dan lapisan mengeras. Penambahan kromium (Cr) pada paduan akan meningkatkan ketahanan oksidasi dan ketahanan korosi pada suhu tinggi dan meningkatkan kekerasan lapisan dengan pembentukan fase yang keras. Sedangkan penambahan karbida akan membentuk karbida yang memiliki nilai kekerasan tinggi, dengan nilai kekerasan yang tinggi ketahanan aus dari lapisan akan meningkat [6].

2.5.4. Struktur Lapisan Hasil Dari HVOF

Pada saat proses pelapisan dengan HVOF terjadi interaksi antara partikel dengan permukaan substrat, urutan adalah sebagai berikut [2]:

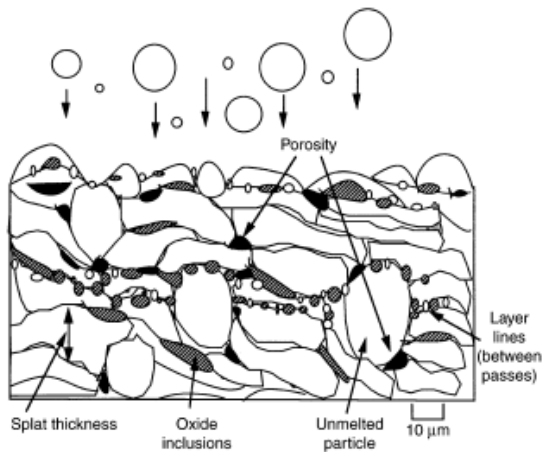
- Tahapan yang pertama adalah tumbukan antara partikel dengan substrat.

Tumbukan pada proses HVOF terjadi pada kecepatan yang tinggi (610-1060 m/s), proses pembentukan dimulai dari partikel yang keluar dari *torch* atau *gun*. Partikel dapat berbentuk cair sempurna, cair sebagian dan padat. Partikel yang berbentuk cair sempurna akan langsung menempel pada substrat, sedangkan partikel yang masih berbentuk cair sebagian dan padat bisa menempel pada lapisan atau terpantul ketika bertumbukan dengan substrat. Partikel cair sebagian dan padat yang menempel pada lapisan akan menimbulkan cacat pada lapisan yang disebut porositas, dapat dilihat pada Gambar 2.7. Porositas akan menurunkan nilai kekerasan, ketahanan aus dan ketahanan oksidasi dari lapisan. Akibat dari tumbukan

pada kecepatan tinggi, partikel akan berikatan dengan substrat. Ikatan yang baik ditandai dengan tidak munculnya porositas dan *micro crack* pada batas antara lapisan dengan substrat.

- Tahapan yang kedua adalah solidifikasi dan ikatan antar partikel.

Setelah lapisan pertama terbentuk, selanjutnya akan ditumbuk oleh lapisan berikutnya dan membentuk *splat* dan selanjutnya akan terulang terus sehingga membentuk suatu lapisan yang benbentuk splat yang bertumpuk atau lamelar. Saat tumbukan juga akan terjadi ikatan antar splat dan membentuk suatu lapisan yang berlayer. Skema struktur mikro pada potongan melintang pada lapisan dapat dilihat pada Gambar 2.7.



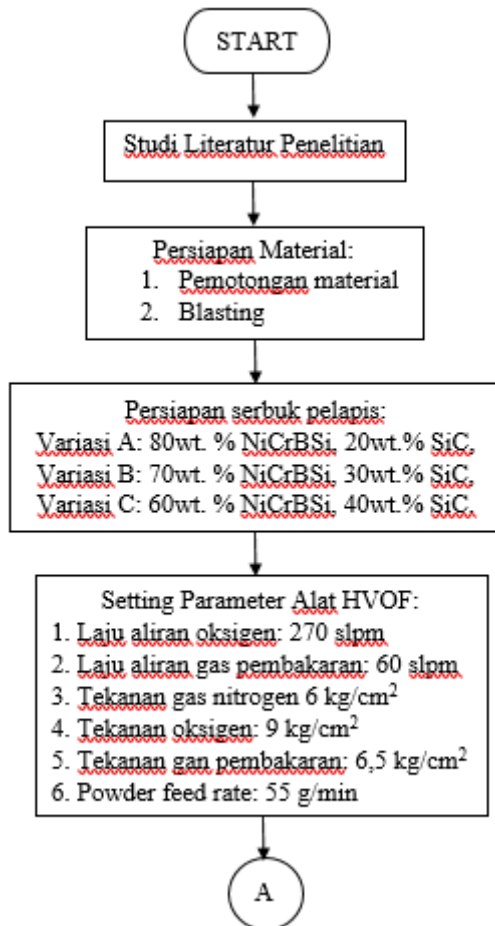
Gambar 2. 7 Skema struktur mikro lapisan [2]

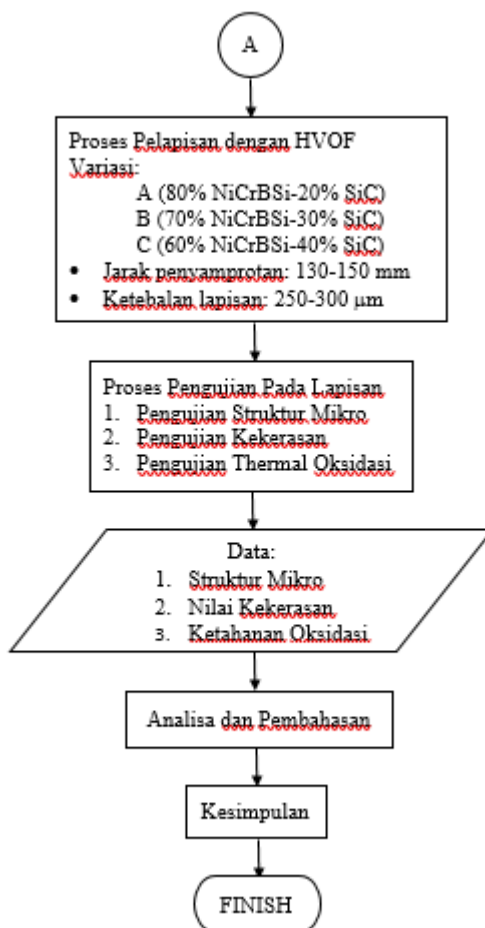
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI

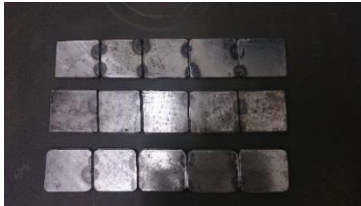
3.1 Diagram Alir Penelitian





3.2 Material Substrat

Material yang digunakan sebagai substrat adalah baja karbon rendah, dengan dimensi 250x50x3 mm.



Gambar 3. 1 Material Substrat

3.3 Material Coating

3.3.1 Spesifikasi Powder NiCrBSi dan SiC

Produk powder NiCrBSi yang digunakan adalah Diamalloy 2001 dengan komposisi kimia sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Komposisi kimia NiCrBSi

Unsur Paduan	Peresentase (wt. %)
Ni	Bal.
Cr	17
B	3.5
Si	4
C	1

Tabel 3. 2 Sesifikasi powder NiCrBSi

Bentuk Partikel	Spheroidal
Ukuran Partikel	-45+15 μ m
Temperatur kerja	< 540° C
Kegunaan	Ketahanan Aus dan Korosi
Proses	HVOF dan Plasma
Kekerasan	HRC 55-60/ 595-697 Hv
Temperarur Fusing	993° C

Produk SiC yang digunakan memiliki ukuran partikel 45-50 μm .

3.4 Proses Persiapan Material

Proses persiapan material dan serbuk yang harus dilakukan adalah sebagai berikut.

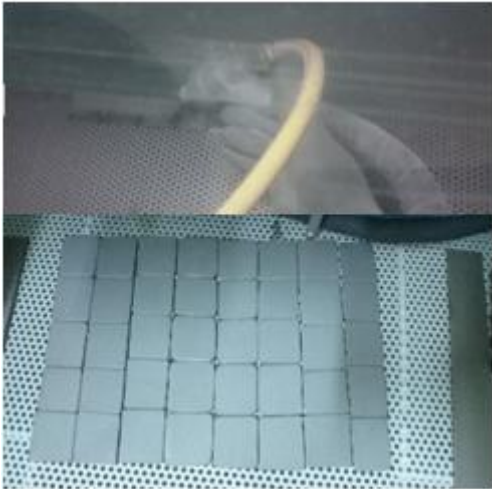
Tabel 3. 3Variasi campuran NiCrBSi-SiC

Variasi	Persentase (wt. %)	
	NiCrBSiC	SiC
A	80	20
B	70	30
C	60	40

Tabel 3. 4 Proses Persiapan Substrat dan Serbuk

No.	Proses
1.	Material dibersihkan dari cat dan karat, kemudian dipotong dengan ukuran 5x5 cm. 
2.	Material yang sudah dipotong disambung dengan las.

	
3.	Selanjutnya dilakukan <i>blasting</i> pada permukaan material yang akan dilapisi. Blasting dilakukan untuk membersihkan dari kotoran, seperti minyak dan oksida. Dengan parameter sebagai berikut: • Grit material = alumina • Ukuran grit = 1.2 mm • Sudut penyemorotan = 45° • Jarak nozzle = 170 mm 

		
4.	Timbang serbuk NiCrBSi dan SiC sesuai dengan perbandingan yang sudah ditentukan. 	
5.	Kemudian serbuk NiCrBSi dan SiC dicampurkan menggunakan mesin V-Blend. Waktu pengadukan untuk satu kali campuran adalah 8 jam, agar serbuk NiCrBSi dan SiC tercampur merata.	

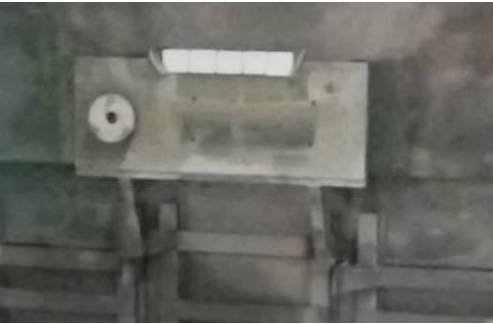


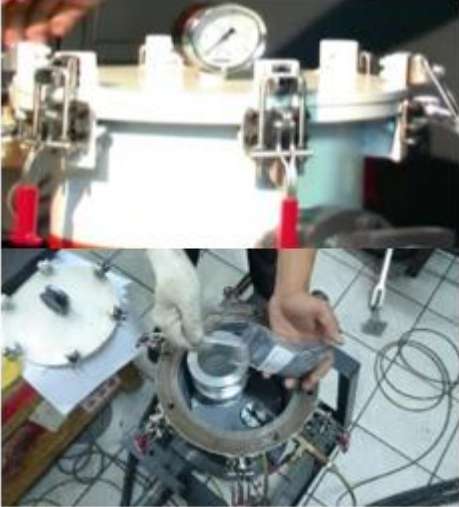
3.5 Proses *Coating*

Setelah proses persiapan material dan serbuk selesai dilakukan, proses *coating* bisa dimulai. Tahapan- tahapan prosesnya adalah sebagai berikut.

Tabel 3. 5 Proses Coating

No.	Proses dan Gambar
1.	Pasangkan material yang akan dilapisi padaudukan yang telah disiapkan dan pastikan terpasang dengan kuat.

	 A photograph showing a workbench or table. On the left side of the table, there is a circular object, possibly a lid or a small drum. In the center, there are some papers or documents. The background is slightly blurred, showing what appears to be a workshop or laboratory setting.
2.	Kemudian material di diukur ketebalannya dengan micrometer untuk mengetahui ketebalan awal serta menentukan ketebalan pelapisan.  A photograph showing a person's hands using a micrometer to measure the thickness of a white, cylindrical object. The person is wearing a dark long-sleeved shirt and a camouflage-patterned sleeve. The background is a workshop or laboratory setting with various equipment visible.

3.	Masukkan serbuk pelapis kedalam powder feeder, perbandingan disesuaikan dengan luasan permukaan material.  A photograph showing a person's hands pouring a white powder from a small container into a circular powder feeder. The feeder is part of a larger industrial machine with various gauges and pipes. The background is a tiled floor.
4.	Buka katup pengatur aliran pada tabung oksigen, propane dan nitrogen.  A photograph showing a person's hands adjusting a valve on a gas cylinder. The cylinder is dark-colored and has several gauges and pipes attached to it. The background is a green wall.

5. Aktifkan *control console* HVOF dengan memutar tombol *RESET* dan menekan tombol *power ON*.



6. Atur tekanan serta laju aliran gas propane, gas oksigen, gas nitrogen dan udara terkompresi dengan melihat *pressure guage* dan *flow meter* pada *control console*.



7.	Atur laju aliran serbuk yang akan menuju HVOF gun. 
8.	Nyalakan flame pada HVOF gun. 
9.	Dilakukan pemanasan awal pada material dengan temperature 70-80° C.

	
10.	Buka katup pengatur aliran serbuk pada HVOF gun. 
11.	Kemudian lakukan proses pelapisan. 
12.	Hentikan sementara proses pelapisan, ketika temperature material mencapai 150° -200° C.

	
13.	Dinginkan material dengan menyemprotkan udara terkompresi ke permukaan material. 
14.	Setelah temperature pada permukaan mencapai angka tertentu, proses pelapisan dapat dilanjutkan kembali. 
15.	Proses fusing dilakukan dengan memanaskan material dengan api, berfungsi untuk meminimalkan munculnya porositas.

	
16.	Setelah selesai dan temperature material sesuai temperature kamar, kemudian ukur ketebalan material yang sudah dilapisi. 

3.6 Pengujian

Untuk mendapatkan data-data dari penelitian ini dilakukan tiga pengujian yaitu pengujian kekerasan, pengujian stuktur mikro dan pengujian thermal oksidasi.

3.6.1 Pengujian Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro pada spesimen menggunakan mikroskop optis dilakukan untuk mengamati struktur mikro dan ikatan antara substrat dengan *coating*. Peralatan yang digunakan pada pengujian ini diantaranya adalah:

- Mesin *grinding* dan *polishing*.
- Kertas amplas grit 80, 240, 320, 600, 800, 1000 dan 2000.
- Kain beludru dan autosol.

- Mikroskop optik dengan perbesaran 200x, 500x, dan 1000x.



(a)



(b)

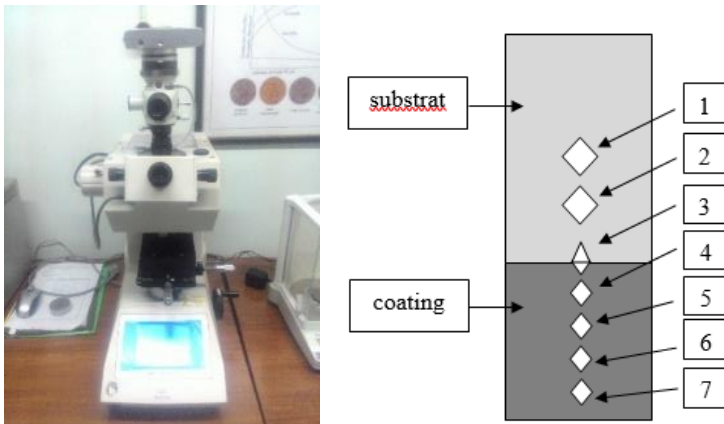
Gambar 3. 2 (a) Mikroskop optik dan (b) Mesin grinding dan polishing

Prosedur pengamatan mealografi:

1. Spesimen yang telah dilakukan proses *coating* dipotong menggunakan mesi grinda tangan.
2. Spesimen yang telah dipotong kemudian dimounting menggunakan resin *epoxy*.
3. Spesimen digerinda menggunakan kertas gosok grit 80 sampai 2000 pada mesin *grinding* dan *polishing* (gambar 3.2 b) yang dialiri air.
4. Spesimen dipoles pada mesin grinding dan polishing menggunakan kain bludru dan autosol hingga tidak ada goresan pada spesimen.
5. Spesimen diamati struktur mikro pada substrat, batas dan *coating* menggunakan mikroskop optik (gambar 3.3 a) dengan perbesaran 200X, 500X dan 1000X.

3.6.2 Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui dan membandingkan nilai kekerasan material substrat dan lapisan *coating*. Peralatan yang digunakan pada pengujian ini adalah vickers hardness tester Gambar 3.3 pembebanan yang digunakan pada pengujian ini adalah 0,5 kgf.



(a)

(b)

Gambar 3. 3 (a) Alat uji Microhardness dan (b) Lokasi indentasi

Tahapan proses pengujian kekerasan adalah sebagai berikut:

1. Spesimen yang telah dilakukan proses *coating* dipotong menggunakan mesin grinda tangan.
2. Spesimen yang telah dipotong kemudian dimounting menggunakan resin epoxy.
3. Spesimen digerinda menggunakan kertas gosok grit 80 sampai 2000 pada mesin grinding dan *polishing* yang dialiri air.
4. Spesimen dipoles pada mesin grinding dan polishing menggunakan kain bludru dan autosol hingga tidak ada goresan pada spesimen.

5. Specimen diletakan pada alat uji kekerasan dan siap dilakukan pengujian.
6. Pengujian dilakukan pada titik-titik yang sudah ditentukan sesuai dengan Gambar 3.3 (b). Posisi 3 terletak pada batas antara substrat dan *coating*, jarak pada titik 1,2,4,5,6 dan 7 berjarak kelipatan $100\mu\text{m}$ dari titik 3. Pembebanan yang digunakan adalah 0,5 kgf dan indenter yang digunakan adalah intan atau *diamond* berbentuk piramida dengan sudut 136°

3.6.3 Pengujian Thermal Oksidasi

Pengujian thermal oksidasi dilakukan untuk mengetahui penambahan berat yang terjadi pada spesimen saat kondisi kerja, hal ini terjadi karena adanya reaksi antara permukaan spesimen dengan oksigen pada temperature tinggi [6].



(a)



(b)

Gambar 3. 4 (a) Furnace (Tungku) dan (b) Timbangan

Langkah-langkah pengujian thermal oksidasi adalah sebagai berikut:

1. Letakan spesimen pada porselyne, ukur dan catat berat spesimen awal beserta porselyne.

2. Kemudian masukan porselyne kedalam tungku.
3. Set *furnace* (tungku) pada temperatur 900°C dalam waktu 4 jam dan set waktu penahanan 1 jam.
4. Setelah penahanan selama 1 jam diamkan spesimen didalam tungku sampai temperatur 27° C.
5. Keluarkan spesimen dari tungku kemudian ukur berat spesimen dan catat hasilnya.
6. Ulangi langkah 2-5, lakukan 10 kali.

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

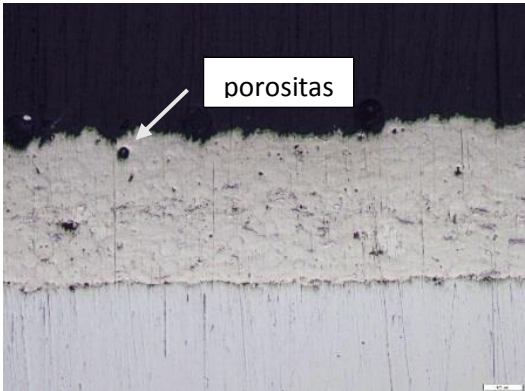
Pengujian dan pengumpulan data dilakukan pada spesimen yang telah dilakukan proses *coating*. Data yang didapatkan dari pengujian yaitu nilai kekerasan, struktur mikro dan thermal oksidasi semua specimen.

4.1 Pengujian Struktur Mikro

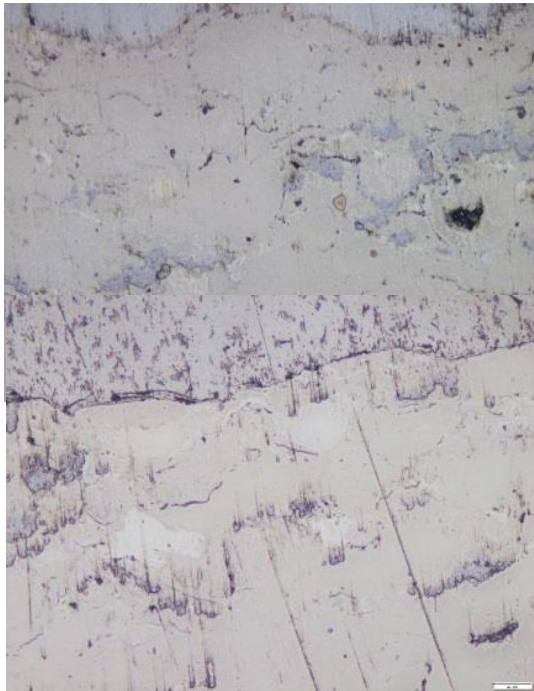
Hasil pengamatan dari pengujian struktur mikro dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 1 Struktur Mikro Spesimen D (100% NiCrBSi)

Perbesaran	Struktur Mikro
50X	 Pada perbesaran ini terlihat bahwa lapisan <i>coating</i> dengan variasi serbuk 100% NiCrBSi memiliki porositas dengan jumlah yang sedikit. Struktur mikro pada spesimen ini didominasi oleh metrik Ni dan Cr, ditunjukkan dengan warna abu-abu terang.

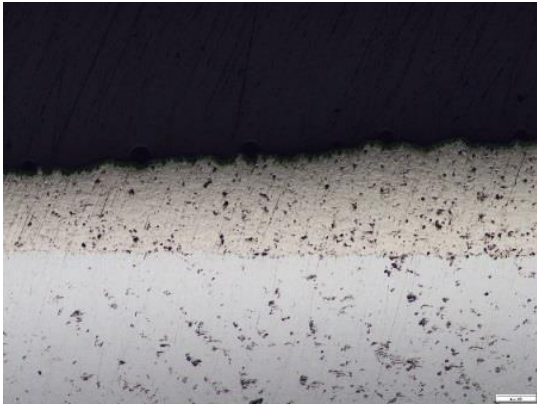
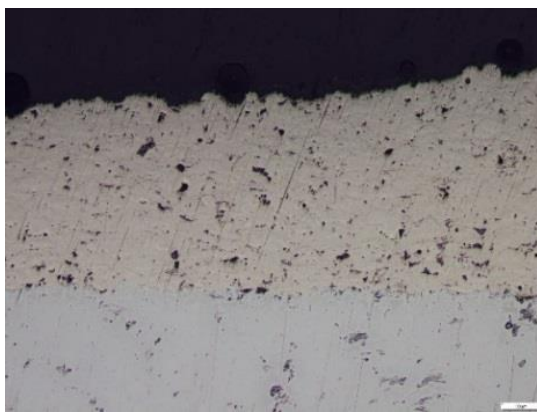
100X	 Pada perbesaran ini terlihat ikatan antara substrat dengan lapisan <i>coating</i> pada keseluruhan lapisan bagus hal ini ditunjukkan tidak ada porositas pada batas antara substrat dan <i>coating</i>.
200X	 Pada perberasan ini terlihat ada 2 lapisan <i>coating</i>, hal ini terjadi karena pada saat proses pelapisan ada dua tahapan.

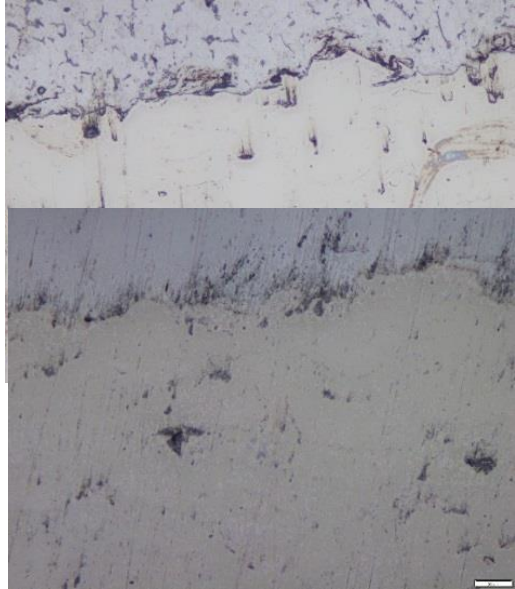
500X



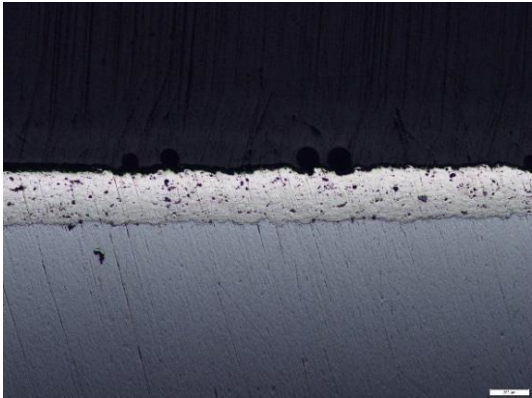
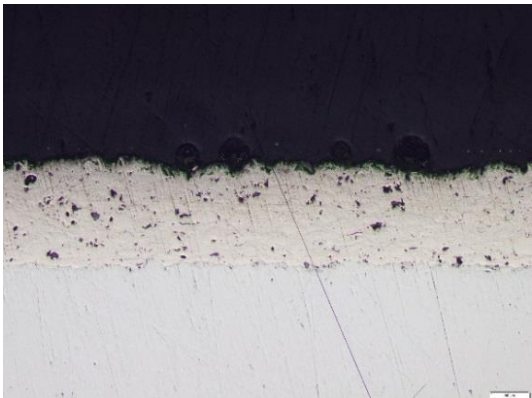
Pada perberasan ini terlihat hasil ikatan yang bagus antara substrat dengan lapisan *coating* karena tidak ada porositas pada bagian batas.

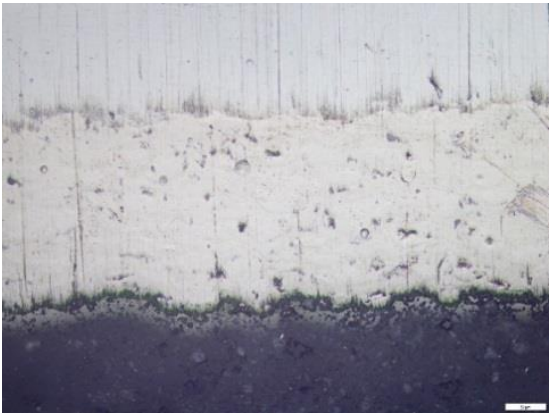
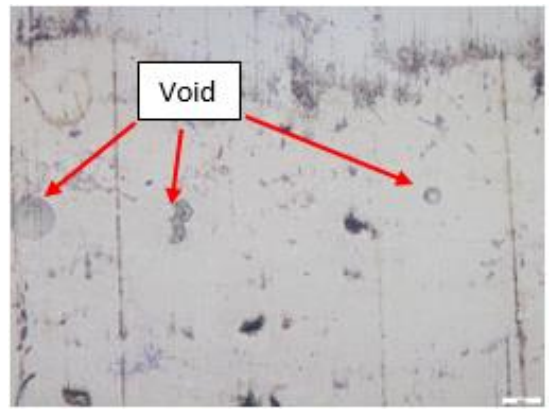
Tabel 4. 2 Strktur Mikro Spesimen A (80% NiCrBSi-20% SiC)

Perbesaran	Struktur Mikro
50X	 Pada perbesaran ini terlihat bahwa lapisan <i>coating</i> dengan variasi A (80%NiCrBSi-20%SiC), jumlah porositasnya lebih banyak jika dibandingkan dengan spesimen D. Struktur mikro pada spesimen ini masih didominasi oleh metrik Ni dan Cr, ditunjukkan dengan warna abu-abu terang.
100X	

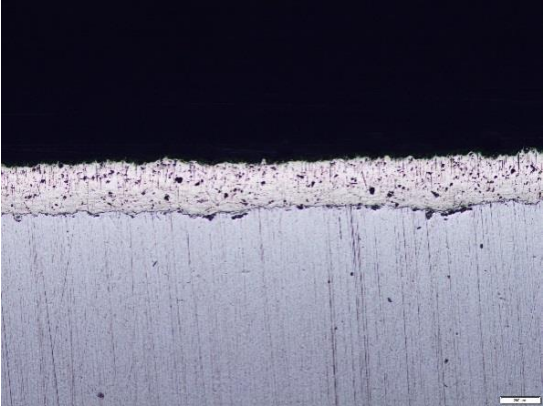
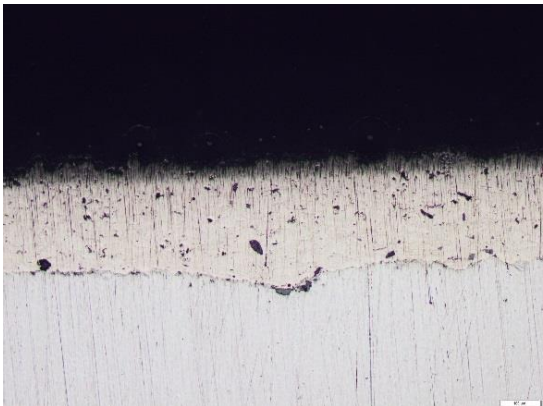
200X	
500 X	 Pada perberasan ini terlihat hasil ikatan yang bagus antara substrat dengan lapisan <i>coating</i> karena tidak ada porositas pada batasnya.

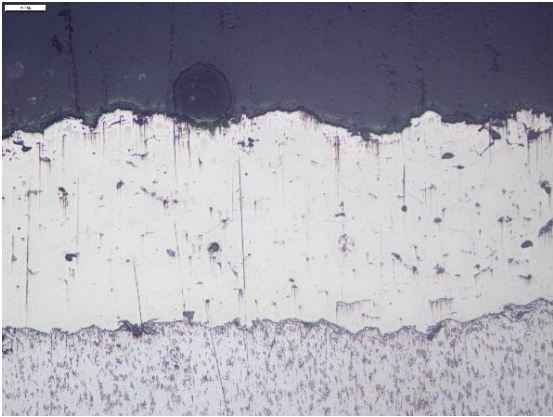
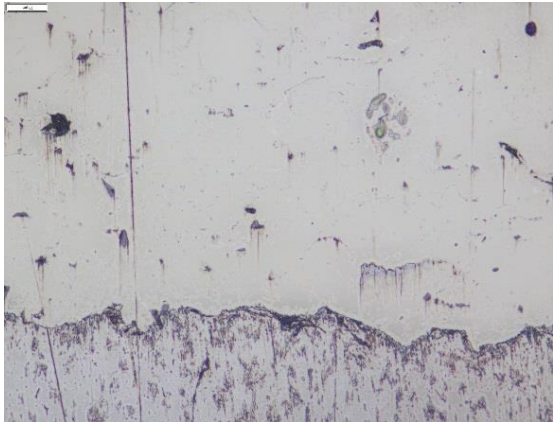
Tabel 4. 3 Strktur Mikro Spesimen B (70% NiCrBSi-30% SiC)

Perbesaran	Struktur Mikro
50X	 Pada perbesaran ini terlihat bahwa lapisan <i>coating</i> dengan variasi B (70%NiCrBSi-30%SiC), jumlah porositasnya lebih banyak jika dibandingkan dengan spesimen A. Struktur mikro pada spesimen ini masih didominasi oleh metrik Ni dan Cr,
100X	

200X	 Pada perbesaran ini terlihat hasil ikatan yang bagus antara substrat dengan lapisan <i>coating</i> karena tidak ada porositas pada batasnya.
500X	 Pada perbesaran ini spesimen B terdapat void. Void bisa terjadi akibat adanya udara yang terjebak pada saat proses pelapisan.

Tabel 4. 4 Strktur Mikro Spesimen C (60% NiCrBSi-40% SiC)

Perbesaran	Struktur Mikro
50X	 Pada perbesaran ini terlihat bahwa lapisan <i>coating</i> dengan variasi D (60%NiCrBSi-40%SiC), jumlah porositasnya lebih banyak jika dibandingkan dengan spesimen D. Struktur mikro pada spesimen ini masih didominasi oleh metrik Ni dan Cr.
100X	 Pada perbesaran ini terdapat bagian pada substrat yang tidak terisi oleh lapisan <i>coating</i>,

	ditandai bagian berwarna hitam yang terlihat pada batas.
200X	 Pada perberasan ini terlihat hasil ikatan yang bagus antara substrat dengan lapisan <i>coating</i> karena tidak ada porositas pada batasnya.
500X	

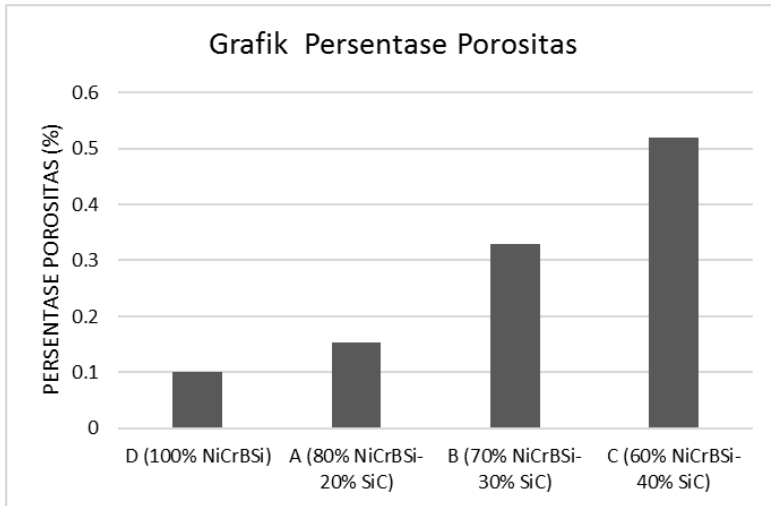
4.1.1 Pembahasan Struktur Mikro

Struktur mikro dengan potongan melintang ditunjukkan pada tabel 4.1, 4.2, 4.3 dan 4.4. Ketebalan lapisan dari setiap

spesimen rata-rata 250-400 μm . Secara keseluruhan, spesimen A, B, C dan D memiliki porositas yang rendah, ini bisa dipengaruhi oleh proses *fusing* yang dilakukan setelah proses *coating*. Beberapa porositas berupa titik dengan warna hitam terdapat pada beberapa bagian, namun umumnya lapisan *coating* memiliki struktur padat dan homogen. Ikatan pada bagian batas antara substrat dengan lapisan *coating* juga sangat bagus karena tidak ada porositas, crack dan void (bagian yang kosong).

Struktur mikro pada lapisan *coating* spesimen A, B, C dan D didominasi oleh matrik Ni, ditandai dengan bagian yang berwarna abu-abu terang. Struktur mikro dengan warna abu-abu gelap adalah kombinasi C, Cr dan Ni (CrB_2 , $\text{Cr}_3\text{Ni}_2\text{Si}$). Struktur mikro dengan warna hitam adalah kombinasi Cr lebih banyak dari C (Cr_7C_3) [6]. Dalam proses *coating* dengan metode HVOF, campuran serbuk NiCrBSi dan SiC terurai akibat suhu tinggi, kemudian membentuk fase baru selama proses fusing. Struktur mikro lapisan *coating* pada daerah yang dekat dengan batas lebih didominasi oleh Ni dan Cr. Sedangkan pada daerah yang mendekati permukaan adalah Si dan C. Hal ini menunjukkan bahwa serbuk SiC tidak meleleh sempurna pada saat proses *coating*, hal ini bisa terjadi karena ada perbedaan ukuran partikel antara NiCrBSi ($-45+15\mu\text{m}$) dan SiC ($40+50\mu\text{m}$) [5][6].

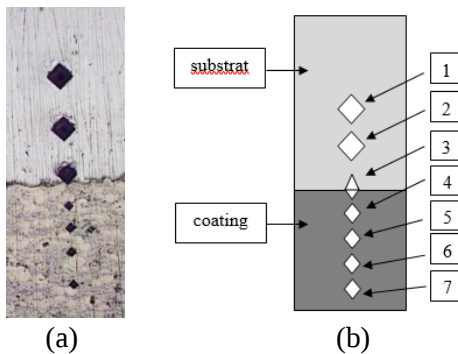
Porositas dihitung menggunakan metode pemetaan dengan *grid* sesuai dengan ASTM B276. Hasil foto dari mikroskop optik dengan perbesaran yang sama untuk semua spesimen diberi grid, kemudian dihitung luasan porositasnya, selanjutnya dibandingkan dengan luasan dari coating. Dari data yang didapat menyatakan bahwa porositas pada spesimen D memiliki porositas 0,1% spesimen A memiliki porositas 0,15%, spesimen B memiliki porositas 0,33% dan spesimen C memiliki porositas 0,52%.



Gambar 4. 1 Grafik Persentase Porositas

4.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada spesimen dengan potongan penampang melintang pada bagian substrat, batas dan bagian *coating*. Metode pengujian yang digunakan adalah pengujian microhardness. Pembebanan yang digunakan adalah 0,5 kgf. Posisi indentasi pada penampang ditunjukkan pada gambar berikut 4.2 (b)



Gambar 4. 2 (a) Hasil indentasi pada spesimen dan (b) Posisi indentasi

4.2.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan

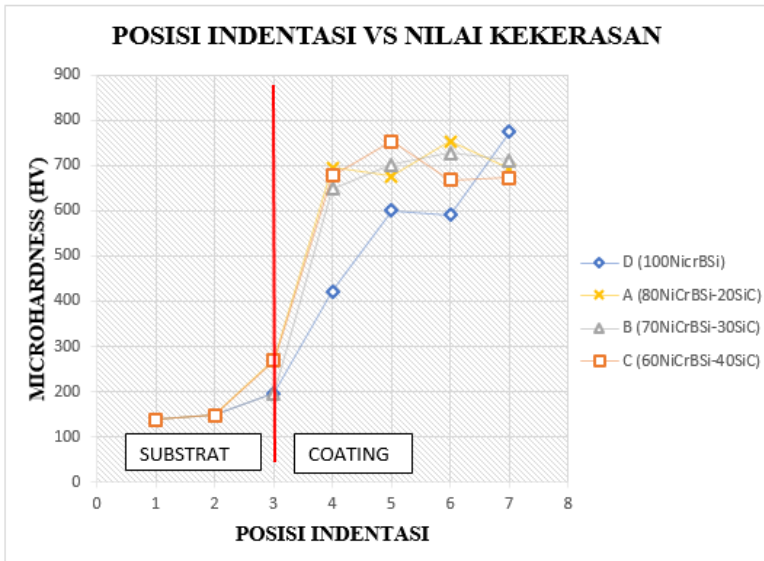
Hasil pengujian kekerasan pada penampang substrat, batas dan bagian *coating* dapat dilihat pada table berikut:

Tabel 4. 5 Data Hasil Pengujian Kekerasan

Posisi Indentasi	Nilai Kekerasan (HV)			
	D 100% NiCrBSi	A 80% NiCrBSi- 20% SiC	B 70% NiCrBSi- 30% SiC	C 60% NiCrBSi- 40% SiC
1	138.67	138.67	138.67	138.67
2	148.33	148.33	148.33	148.33
3	196.67	270.67	196.67	268.67
4	421.33	695	649	676.67
5	600.33	675	701.67	753.33
6	590.33	753	727.33	668.33
7	773	692	711	672

4.2.2 Analisa dan Pembahasan Pengujian Kekerasan

Dari data pengujian kekerasan dibuat grafik nilai kekerasan terhadap posisi indentasi.



Gambar 4. 3 Grafik Nilai Kekerasan Terhadap Posisi Indentasi

Data nilai kekerasan dari spesimen ditunjukkan pada Gambar 4.3, yang menunjukkan nilai kekerasan pada substrat dan lapisan *coating* dengan profil potongan penampang memanjang. Pada grafik menunjukan perbandingan antara jarak dan posisi indentasi dengan nilai kekerasan. Dari Gambar 4.3 dapat diketahui bahwa pada setiap spesimen mengalami kenaikan nilai kekerasan yang signifikan mulai dari batas substrat sampai dengan lapisan *coating*. Nilai kekerasan pada substrat antara 138-148Hv. Pada batas antara substrat dengan lapisan *coating* memiliki nilai kekerasan antara 196-270 Hv. Setelah posisi indentasi berada pada lapisan *coating* nilai kekerasan dari setiap spesimen mengalami kenaikan. Nilai kekerasan tertinggi adalah 773 Hv pada specimen D pada posisi indentasi ke 7, ini bisa disebabkan karena pada posisi indentasi ini tepat pada daerah *chromium carbide* (Cr_3C_2) yang

memiliki nilai kekerasan lebih tinggi. Pada specimen A nilai kekerasa berada antara 675-753 Hv, nilai kekeranan tertinggi pada specimen A terjadi pada posisi indentasi ke 6, hal ini bisa terjadi karena pada posisi indentasi tersebut tepat pada bagian karbida. Pada specimen B fliktuasi nilai kekerasan nilai kekerasan lebih konsta antara 701-711 Hv. Pada specimen C nilai kekerasan 676-753 Hv, nilai kekerasan tertinggi terjadi pada posisi indentasi ke 5 dengan nilai kekerasan 753 Hv, hal ini bisa terjadi karena spesimen C memiliki persentase SiC yang lebih banyak yaitu 40%, jadi persebaran karbidanya lebih banyak.

Lapisan *coating* dengan base nikel banyak digunakan pada aplikasi yang membutuhkan ketahanan aus dan ketahanan oksidasi. Serbuk NiCrBSi-SiC terdiri dari sebagian besar Ni dan komposisi paduan Cr, B dan Si. Setiap paduan memiliki pengaruh terhadap lapisan *coating* yang dihasilkan. Ni (nikel) sebagai base memiliki sifat ketahanan aus dan ketahanan oksidasi yang bagus. B (boron) memberi pengaruh menurunkan titik leleh dari Ni (nikel) pada saat proses pelapisan *coating*. Si (silikon) meningkatkan sifat *self-fluxing* dari campuran. Cr (kromium) memiliki fase keras yang meningkatkan nilai kekerasan lapisan dan ketahanan korosi. C (karbon) akan membentuk karbida yang akan meningkatkan nilai kekerasan lapisan *coating* [6].

Penambahan *silicon carbide* (SiC) akan menghasilkan karbida yang mempunyai nilai kekerasan tinggi sehingga akan meningkatkan ketahanan aus dari lapisan [9]. Dengan penambahan persentase SiC yang lebih banyak seharusnya fase karbida akan lebih banyak terbentuk, sehingga akan menghasilkan lapisan yang memiliki nilai kekerasan yang tinggi. Paduan Cr dan C akan membentuk *chromium carbide* (Cr_3C_2) yang akan menghasilkan lapisan yang memiliki nilai kekerasan tinggi.

4.3 Pengujian Thermal Oksidasi

Pengujian thermal oksidasi dilakukan pada tungku dengan temperature 900°C dengan waktu penahanan 1 jam kemudian didiamkan dalam tungku sampai temperatur kamar (27°C) [6].

4.3.1 Data Hasil Pengujian Thermal Oksidasi

Pada pengujian thermal oksidasi data yang diambil adalah penambahan berat yang terjadi dari setiap specimen pada setiap siklus. Dengan variasi komposisi sebagai berikut:

- Specimen A (80% NiCrBSi-20% SiC)
- Specimen B (70% NiCrBSi-30% SiC)
- Specimen C (60% NiCrBSi-40% SiC)
- Specimen D (100% NiCrBSi)
- Specimen O (substrat tanpa *coating*)

Data penambahan berat dapat dilihat pada table berikut.

Tabel 4. 6 Data Hasil Pengujian Thermal Oksidasi

No	Spesimen	Berat spesimen (gr)						
		Berat Awal	Siklus 1	Siklus 2	Siklus 3	Siklus 4	Siklus 5	Siklus 6
1	O	208.1555	209.2123	210.1263	211.0635	212.0571	213.2909	214.4155
2	A	205.5871	206.1826	206.6821	207.1286	207.5676	207.9641	208.363
3	B	211.232	211.9207	212.446	212.9472	213.4835	213.9459	214.3214
4	C	207.235	207.8632	208.4198	208.9883	209.6169	210.2119	210.8165
5	D	206.3673	206.8845	207.2197	207.4819	207.8002	208.1379	208.307

Tabel 4. 7 Persentase Selisih Penambahan Berat

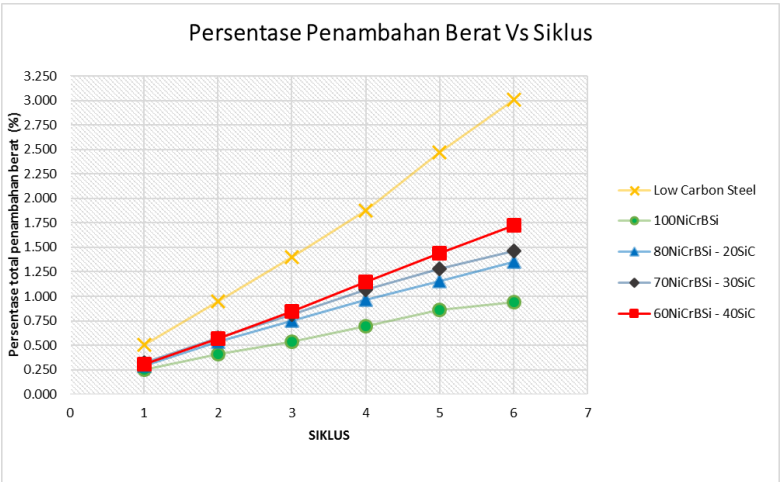
No.	Spesimen	Penambahan Berat Spesimen (gr)					
		Siklus 1	Siklus 2	Siklus 3	Siklus 4	Siklus 5	Siklus 6
1	O	1.0568	0.914	0.9372	0.9936	1.2338	1.1246
2	A	0.5955	0.4995	0.4465	0.439	0.3965	0.3989
3	B	0.6887	0.5253	0.5012	0.5363	0.4624	0.3755
4	C	0.6282	0.5566	0.5685	0.6286	0.595	0.6046
5	D	0.5172	0.3352	0.2622	0.3183	0.3377	0.1691

4.3.2 Analisa dan Pembahasan Pengujian Thermal Oksidasi

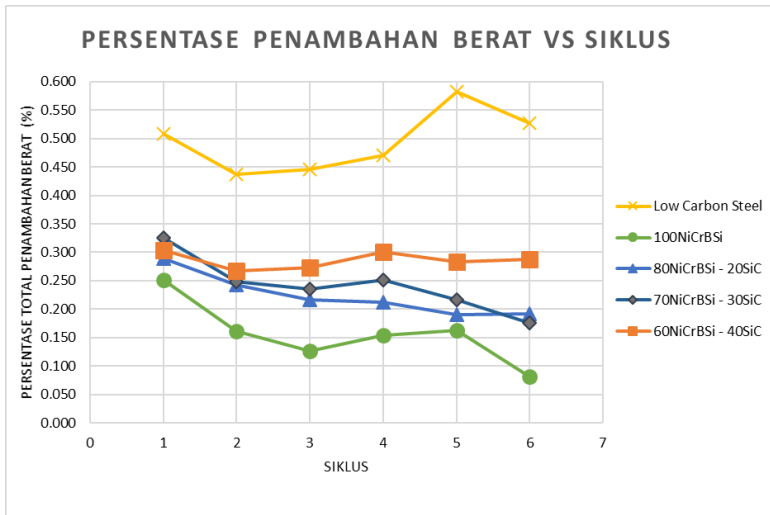
Dari data pengujian thermal oksidasi dibuat grafik perbandingan antara persentase penambahan berat dengan jumlah siklus yang dilakukan.

Tabel 4. 8 Persentase Penambahan Berat

No	Spesimen	Presentase Penambahan Berat (%)					
		Siklus 1	Siklus 2	Siklus 3	Siklus 4	Siklus 5	Siklus 6
1	O	0.508	0.437	0.446	0.471	0.582	0.527
2	A	0.290	0.242	0.216	0.212	0.191	0.192
3	B	0.326	0.248	0.236	0.252	0.217	0.176
4	C	0.303	0.268	0.273	0.301	0.284	0.288
5	D	0.251	0.162	0.127	0.153	0.163	0.081



Gambar 4. 4 Grafik Pengujian Oksidasi Thermal (diukur dari berat awal)



Gambar 4. 5 Grafik Pengujian Oksidasi Thermal (diukur dari berat sebelumnya)



(a)



(b)



Gambar 4. 6 (a) spesimen tanpa pelapisan sebelum proses oksidasi, (b) spesimen dengan pelapisan sebelum proses oksidasi, (c) spesimen tanpa pelapisan setelah proses oksidasi dan (d) spesimen dengan pelapisan setelah proses oksidasi

Dari Gambar 4.4 pada sumbu y menunjukkan persentase penambahan berat, sedangkan pada sumbu x adalah jumlah siklus atau proses oksidasi thermal ang dilakukan. Specimen O tidak dilakukan pelapisan pada kedua permukaannya. Sedangkan specimen A, B, C, D dilakukan pelapisan pada salah satu permukaannya. Dari data yang dapat disimpulkan bahwa melakukan pelapisan dapat mengurangi laju oksidasi pada material.

Komposisi serbuk *coating* juga memiliki pengaruh terhadap ketahanan oksidasi. Matrik nikel (Ni) merupa bagian yang paling banyak pada lapisan *coating* memiliki ketahana oksidasi yang cukup baik, Ni mulai teroksidasi pada temperature 500°C [15]. Selain meningkatkan kekerasan lapisan dengan pembentukan fase keras, komposisi Cr juga mampu meningkatkan ketahanan oksidasi dan ketahanan korosi pada suhu tinggi. Pada temperature tinggi Cr akan bereaksi dengan O_2 menjadi Cr_2O_3 didaerah permukaan, kemudian membentuk suatu lapisan tipis yang akan melindungi lapisan *coating* dari oksidasi [10]. Boron

(B) juga akan bereaksi dengan kromium (Cr) menjadi CrB yang akan meningkatkan ketahanan oksidasi [6].

Penambahan SiC juga akan meningkatkan temperatur oksidasi. Silikon memiliki temperatur oksidasi yang tinggi yaitu sekitar 1080°C [10]. sedangkan Ni akan teroksidasi sekitar 500°C [15]. Silikon juga akan membentuk SiO_2 lapisan tipis yang melindungi coating dari oksidasi.

Penambahan SiC seharusnya meningkatkan ketahanan oksidasi dari lapisan [8]. Dari data yang didapat penambahan serbuk SiC terbukti mengurangi laju oksidasi. Tetapi dari data penelitian yang didapat spesimen C jumlah persentase SiC 40% justru mengalami laju oksidasi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan spesimen B persentase SiC 30% dan spesimen A persentase SiC 20%. Hal ini bisa dipengaruhi dari munculnya porositas. Pada spesimen C terdapat porositas sebanyak 0,52%, spesimen B terdapat porositas 0,33% dan spesimen A terdapat porositas sebanyak 0,15%. Porositas yang terdapat pada lapisan dapat nilai kekerasan, ketahanan aus dan ketahanan oksidasi dari lapisan [2].

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian setelah proses pengambilan data dan analisa data adalah:

1. Dari hasil pengamatan struktur mikro, sruktur mikro dari lapisan *coting* sebagian besar didominasi oleh NiCr dengan bagian berwarna abu-abu terang, bagian berwarna abu-abu gelap adalah campuran C dan Cr, persebaran C tergantung dari presentasi SiC. Beberapa factor yang mempengaruhi muncul porositas adalah jarak pada saat proses pelapisan yang tidak konstan, serbuk SiC tidak meleleh sempurna pada saat proses *coating* karena perbedaan ukuran partikel. Pada spesimen C terdapat porositas sebanyak 0,52%, spesimen B terdapat porositas 0,33% dan spesimen A terdapat porositas sebanyak 0,15%. Ikatan antara lapisan dengan substrat bagus, tidak terdapat porositas dan *crack*.
2. Penambahan SiC terbukti meningkatkan nilai kekerasan dari lapisan jika dibandingkan dengan substrat, tetapi variasi persentase SiC pada penelitian ini tidak begitu berpengaruh terhadap nilai kekerasannya, nilai kekerasan yang didapat antara 649-753 Hv.
3. Dari data hasil pengujian thermal oksidasi dapat disimpulkan bahwa penambahan serbuk SiC terbukti mengurangi laju oksidasi dari lapisan. Tetapi dari data penelitian yang didapat spesimen

C jumlah persentase SiC 40% justru mengalami laju oksidasi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan spesimen B persentase SiC 30% dan spesimen A persentase SiC 20%. Hal ini bisa dipengaruhi dari munculnya porositas, karena porositas dapat menurunkan nilai kekerasan dan ketahanan oksidasi dari lapisan. Pada spesimen C terdapat porositas sebanyak 0,52%, spesimen B 0,33% dan spesimen A 0,15%.

4. Dari semua data pengujian yang didapat spesimen A (80% NiCrBSi-20% SiC) memiliki struktur mikro yang bagus dengan porositas rendah 0,15% dan ikatan yang bagus tanpa adanya porositas dan *crack* antara substrat dengan lapisan, nilai kekerasan antara 692-7531 Hv dan memiliki persentase penambahan berat yang cenderung menurun dengan persentase 0,290-0,191% pada pengujian oksidasi.

5.2. Saran

1. Pemotongan material awal sebaiknya disesuaikan dengan pengujian-pengujian yang akan dilakukan agar mengurangi kerusakan material setelah dilakukan proses *coating*.
2. Pada saat proses pelapisan sebaiknya menggunakan peralatan yang otomatis sehingga jarak pada saat proses pelapisan lebih konstan dan hasilnya lebih merata.
3. Pada penambahan serbuk SiC harus dipastikan dulu spesifikasinya agar menghasilkan lapisan yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pawlowski L, “*The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings*”, Second Edition, France, 2008.
- [2] Davis J.R, Davis & Associates, “*Handbook of Thermal Spray Technology*”, 2004.
- [3] Arash Ghabchi, “*Wear Resistant Carbide-Based Thermal Sprayed Coatings: Process, Properties, Mechanical Degradation and Wear*”, New York, 2011.
- [4] ASTM Handbook “*Standard Specification for Seamless Medium-Carbon Steel Boiler and Superheater Tubes*”, ASTM International, 2012.
- [5] M. Karagöz, S. Islak, S. Buytoz, B. Kurt, *Journal of Microstructural Characteristics of High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) sprayed NiCrBSi-SiC Composite Coating on a Low Alloy Steel*, 2011.
- [6] M.R. Ramesh, S. Prakash, S.K. Nath, Pawan Kumar Sapra, and N. Krishnamurthy, *Journal Evaluation of Thermocyclic Oxidation Behavior of HVOF-Sprayed NiCrFeSiB Coatings on Boiler Tube Steels*, 2010.
- [7] B. Prawara, E. Martides, B. Priyono, H. Ardy, N. Rikardo, *Journal Wear and Impact Resistance of HVOF Sprayed Ceramic Matrix Composites Coating*, 2016.
- [8] S. Buytoz, M. Ulutan, S. Islak, B Kurt, O.N. Çelik, *Jurnal of Microstructural and Wear Characteristics of High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) Sprayed NiCrBSi-SiC Composite Coating on SAE 1030 Steel*, 2013.
- [9] Lutz-Michael Berger, dkk, *Jurnal of Application of Hardmetals as Thermal Spray Coatings*. Germany: Elsevier Ltd, 2014.

- [10] PY Hou, "*Oxidation of Metals and Alloys*", Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, USA, 2016.
- [11] ASM Handbook, "*Mechanical Testing and Evaluation*", ASM International, vol 8, USA, 2005.
- [12] JCOAL, Coal Science Handbook, Japan Coal Energy Center, 2005.
- [13] ASM Handbook, "*Properties and Selection: Irons, Steels and High Performance Alloys*", vol 1, ASM International, 2005.
- [14] ASM Handbook, "*Surface Engineering*", vol 5, ASM International, USA, 2005.
- [15] T.S. Sidhu, S. Prakash, R.D. Agrawal, "*Characterisations of HVOF sprayed NiCrBSi coatings on Ni- and Fe-based superalloys and evaluation of cyclic oxidation behaviour of some Ni-based superalloys in molten salt environment, Thin Solid Films*", 515 1 (2006) 95-10.

BIODATA PENULIS



Dhio Dharu Nugroho merupakan nama lengkap dari penulis tugas akhir ini. Penulis yang lahir di Sleman pada 07 Mei 1992 ini merupakan anak ke dua dari pasangan Bapak Supriyono dan Ibu Suratmi. Penulis memulai pendidikan formal di SDN Randusari pada tahun 1998 dan lulus pada tahun 2004. Setelah itu, penulis melanjutkan pendidikan di SMP N 1 Ngemplak dan lulus tahun 2007. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SMK N 2 Yogyakarta jurusan Teknik Mesin dan menyelesaikan studi tingkat menengah pada tahun 2010 dan melanjutkan ke jenjang studi diploma tiga jurusan Teknik Mesin di Universitas Gadjah Mada hingga 2014. Selama menempuh jenjang diploma tiga, penulis mengambil bidang studi Manufaktur. Setelah lulus dari jenjang diploma tiga di Universitas Gadjah Mada, Pada tahun 2015 penulis melanjutkan dan menempuh pendidikan di Teknik Mesin FTI Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan mengambil bidang studi material pada laboratorium Metallurgi.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)