



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM 184835

# ANALISIS PENGARUH UKURAN PARTIKEL SiC TERHADAP KEKERASAN DAN KETAHANAN OKSIDASI DALAM PROSES PELAPISAN DENGAN METODE HVOF

I MADE KRISNA WIDYANATA  
NRP 02111645000065

Dosen Pembimbing  
Suwarno ST., M.Sc., PhD

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2019



**TUGAS AKHIR - TM 184835**

**ANALISIS PENGARUH UKURAN PARTIKEL SiC  
TERHADAP KEKERASAN DAN KETAHANAN  
OKSIDASI DALAM PROSES PELAPISAN DENGAN  
METODE HVOF**

**I MADE KRISNA WIDYANATA  
NRP 0211164500065**

**Dosen Pembimbing  
Suwarno ST., M.Sc., PhD**

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



**FINAL PROJECT - TM 184835**

# **ANALYSIS THE EFFECT OF SiC PARTICLE SIZES ON HARDNESS AND OXSIDATION RESISTANCE IN THE HVOF COATING PROCESS**

**I MADE KRISNA WIDYANATA  
NRP 02111645000065**

**Advisor  
Suwarno ST., M.Sc., PhD**

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

**ANALISIS PENGARUH UKURAN PARTIKEL  
TERHADAP KEKERASAN DAN KETAHANAN  
OKSIDASI DALAM PROSES PELAPISAN DENGAN  
METODE 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:

**I Made Krisna Widyanata**  
NRP. 0211164500065

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. **Suwarno, ST., M.Sc., PhD** (Pembimbing I)  
(NIP. 198005202005011003)
2. **Dr. Eng. Budi Prawara** (Pembimbing II)  
(NIP. 197205301997071001)
3. **Fahmi Mubarak, ST., M.Sc.** (Penguji I)  
(NIP. 197801152003121002)
4. **Ir. Hari Subiyanto, M.Sc.** (Penguji II)  
(NIP. 196006231988081002)
5. **Indra Sidharta, ST, M.Sc** (Penguji III)  
(NIP. 198006192006041004)

**SURABAYA**

**JANUARI, 2019**

# ANALISIS PENGARUH UKURAN PARTIKEL SiC TERHADAP KEKERASAN DAN KETAHANAN OKSIDASI DALAM PROSES PELAPISAN DENGAN METODE HVOF

Nama : I Made Krisna Widyanata  
NRP : 2116 105 065  
Dosen Pembimbing : Suwarno, ST., MSc., Ph.D

## Abstrak

Pada boiler yang menggunakan sistem *CFB*, Batubara yang sudah diperkecil ukuranya, dimasukkan dan dicampur dengan *limestone* dan pasir silica. Material bahan bakar tersebut kemudian didorong ke atas oleh udara yang bertekanan tinggi sehingga memudahkan pembakaran. Efek samping dari proses ini adalah terjadinya erosi pada *water wall tube* boiler dan pertikel erosi juga akan menempel pada *water wall tube* sehingga terjadi reaksi kimia *oxide scale*. Jika proses ini di biarkan maka *water wall tube* boiler akan mengalami penipisan yang pada akhirnya menyebabkan kebocoran pada *water wall tube*. Sehingga dibutuhkan material yang memiliki ketahanan terhadap keausan, abrasi dan oksidasi yang tinggi. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan pada boiler tube adalah dengan cara pelapisan menggunakan metode HVOF (*high velocity oxygen fuel*).

Pada penelitian ini pelapisan dilakukan pada tube baja A-192 dengan material pelapis NiCrBSi-30SiC dan variasi ukuran partikel SiC sebesar 50 $\mu$ m dan 37 $\mu$ m. Proses pelapisan dilakukan menggunakan peralatan HVOF dengan gas pembakaran yang digunakan adalah gas propane (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), gas oksigen (O<sub>2</sub>) dan gas pengangkut berupa nitrogen (N<sub>2</sub>). Metode pengujian yang digunakan pada penelitian ini adalah pengamatan struktur mikro, pengujian kekerasan mikro, pengujian siklus termal dan pengujian kekuatan adhesi pelapisan.

Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa Nilai kekerasan tertinggi sebesar 782 HV didapat pada specimen dengan ukuran partikel 37 $\mu$ m. Proses pelapisan pada material mampu mengurangi laju oksidasi temperature tinggi jika dibandingkan dengan material tanpa pelapisan. Struktur lapisan NiCrBSi-30SiC dengan ukuran partikel SiC 37 mikron memiliki struktur mikro yang lebih padat jika dibandingkan dengan ukuran partikel SiC yang lebih besar.

**Kata kunci : HVOF *coating*; ukuran partikel; NiCrBSi; SiC; *water wall tube; boiler; CFB***

***ANALYSIS THE EFFECT OF SiC PARTICLE SIZES ON  
HARDNESS AND OXIDATION RESISTANCE IN THE  
HVOF COATING PROCESS***

***Name*** : I Made Krisna Widyanata  
***NRP*** : 2116 105 065  
***Department / Faculty*** : *Mechanical Engineering /  
Faculty of Industrial Technology*  
***Advisor Lecturer*** : Suwarno, ST., MSc., Ph.D

**Abstract**

*In boilers that use a CFB system, coal which has been reduced in size, is inserted and mixed with limestone and silica sand. The fuel material is then pushed up by high-pressure air to help combustion process. The side effect of this process is the erosion of the boiler water wall tube and erosion particles will also stick to the water wall tube so that a chemical oxide reaction occurs. If this process is allowed, the boiler water wall tube will experience thinning which in turn will cause a leak in the water wall tube. So material is needed that has a high resistance to wear, abrasion and oxidation. One method that can be done to overcome the problems in the boiler tube is by coating using the HVOF (high velocity oxygen fuel) method.*

*In this research, coating was carried out on tube A-192 with NiCrBSi-30SiC coating material and SiC particle size variation of 50 $\mu$ m and 37 $\mu$ m. The coating process is carried out using HVOF devices with combustion gases used are propane gas (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), oxygen gas (O<sub>2</sub>) and transport gas in the form of nitrogen (N<sub>2</sub>). The test methods used in this research were microstructure observation, micro hardness testing, thermal cycle testing and coating adhesion strength testing.*

*From the results of this research it was found that the highest hardness value 782 HV was obtained in specimens with*

*smaller particle size. The coating process on the material is able to reduce the high temperature oxidation rate when compared with non-coating material. the microstructure of NiCrBSi-30SiC layer with a particle size of SiC 37 microns has a denser micro structure compared with greater particle size of SiC.*

***Keywords: HVOF coating; particle size; NiCrBSi; SiC; water wall tube; boiler; CFB***



## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala rahmat yang diberikan-Nya sehingga Tugas Akhir yang berjudul **“ANALISIS PENGARUH UKURAN PARTIKEL SiC TERHADAP KEKERASAN DAN KETAHANAN OKSIDASI DALAM PROSES PELAPISAN DENGAN METODE HVOF”** ini dapat penulis selesaikan. Tugas Akhir ini dibuat sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk memperoleh gelar Sarjana di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa penyusunan ini tidak akan berhasil tanpa bantuan, saran, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Suwarno, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dan bantuan sehingga penulis mampu mengerjakan dan menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Orang tua tercinta Bapak dan Ibu, serta kakak yang selalu memberikan doa, semangat dan dukungan kepada penulis.
3. Bapak Fahmi Mubarak, ST., MT., bapak Indra Sidharta, ST., MSc., dan Bapak Ir. Hari Subiyanto, M.Sc. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan kepada penulis.
4. Bapak Bambang Pramujati, S.T. M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Mesin FTI-ITS.
5. Ibu Vivien Suphandani, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Wali yang telah memberikan gambaran, motivasi dan bantuan dalam menempuh perkuliahan di Departemen Teknik Mesin FTI-ITS.

6. Seluruh dosen serta karyawan di Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS yang telah banyak sekali membantu penulis dalam hal akademis dan hal non akademis.
7. Seluruh Karyawan Laboratorium Metalurgi yang telah banyak membantu dalam melaksanakan pengujian dan masukan dalam melaksanakan penelitian tugas akhir ini.
8. Bapak Dr. Eng. Budi Prawara., selaku Kepala Pusat Penelitian Tenaga Listrik & Mekanika LIPI yang sekaligus sebagai pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak memberikan pengarahan serta bimbingan kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. Ibu Erie, Bapak Hendro, Bapak Titto, Ibu Yanti dan seluruh karyawan TELIMEK LIPI yang telah membantu dan memberikan ilmunya dalam proses coating HVOF ini.
10. Partner tugas akhir, Yorgie yang telah memberikan bantuan baik waktu, tenaga dan pikiran selama pengerjaan tugas akhir ini.
11. Mas Mustofa Hilmi yang telah banyak membantu memberikan saran dan ilmunya dalam mengerjakan tugas akhir ini.
12. Teman-teman Laboratorium Metalurgi atas segala bantuan dan suka dukanya.
13. Seluruh teman-teman Lintas Jalur angkatan 2016 yang selalu membantu dalam proses perkuliahan.
14. Teman-teman GEC (Baskara, Putra, Rere, Ladrian, Dito (gondrong), Doni dan Gustri) atas canda tawa dan semangat yang diberikan saat penulis merasa jenuh selama perkuliahan dan pengerjaan tugas akhir.
15. Seluruh keluarga besar NYAMA POLOS yang telah memberikan doa dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
16. Semua pihak lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, berkat keterlibatannya lah penulis dapat mencapai pencapaian sejauh ini.

Penulis menyadari bahwa pada Tugas Akhir ini masih terdapat beberapa kekurangan yang disebabkan oleh keterbatasan kemampuan diri dari penulis. Oleh karena itu dengan segala rasa hormat dan rendah hati penulis mohon masukan dan kritiknya, baik untuk penelitian Tugas Akhir ini ataupun untuk diri penulis sendiri. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan mahasiswa, khususnya mahasiswa S-1 Teknik Mesin ITS.

Surabaya, Desember 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

|   |      |
|---|------|
| Abstrak .....                             | i    |
| Abstract .....                            | iii  |
| KATA PENGANTAR .....                      | v    |
| DAFTAR ISI .....                          | ix   |
| DAFTAR GAMBAR .....                       | xi   |
| DAFTAR TABEL .....                        | xiii |
| BAB I .....                               | 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    |
| 2.1 Penelitian Terdahulu .....            | 5    |
| 2.2 Boiler .....                          | 7    |
| 2.3 Baja .....                            | 10   |
| 2.3.1 Baja Karbon A 192 .....             | 11   |
| 2.4 Coating .....                         | 12   |
| 2.4.1 Thermal Spray .....                 | 13   |
| 2.4.2 High Velocity Oxy-Fuel (HVOF) ..... | 15   |
| 2.5 Material Pelapis .....                | 17   |
| 2.5.1 Pengikat (Binder) .....             | 19   |
| 2.5.2 Pengeras (Reinforce) .....          | 20   |
| 2.6 Karakteristik Serbuk .....            | 21   |
| 2.6.1 Ukuran partikel .....               | 21   |
| 2.6.2 Distribusi ukuran .....             | 21   |
| 2.6.3 Morfologi serbuk .....              | 22   |
| 2.6.4 Metode Pembuatan .....              | 22   |
| 2.6.5 Kandungan Kadar Air .....           | 23   |
| 2.7 Pengecilan ukuran serbuk .....        | 24   |
| 2.8 Pengujian Mekanik Coating .....       | 25   |

|   |        |
|---|--------|
| 2.8.1 Fracture mechanics Test.....  | 26     |
| 2.8.2 Flattening Tes .....  | 27     |
| 2.8.3 Hardness dan Microhardness.....                                       | 28     |
| BAB III .....   | 29     |
| 3.1 Diagram Alir Penelitian.....  | 29     |
| 3.2 Spesimen Benda Uji.....   | 31     |
| 3.3 Pemilihan Material Pelapis.....   | 31     |
| 3.4 Proses Persiapan Material Pelapis .....                                 | 32     |
| 3.5 Persiapan Substrat.....   | 35     |
| 3.6 Pelapisan HVOF .....  | 37     |
| 3.7 Pengujian .....   | 42     |
| 3.7.1 Metalografi dan SEM.....  | 42     |
| 3.7.2 Kekerasan .....   | 42     |
| 3.7.3 Siklus Termal.....  | 44     |
| 3.7.4 Uji Tekan (Flattening Test) .....                                     | 45     |
| 4.1 Inspeksi Visual .....   | 51     |
| 4.2 Pengujian kekerasan.....  | 53     |
| 4.2.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan .....                                  | 53     |
| 4.2.2 Analisis dan Pembahasan Pengujian Kekerasan.....                      | 54     |
| 4.3 Pengujian Flattening.....   | 56     |
| 4.3.1 Hasil Pengujian Flattening .....                                      | 57     |
| 4.4 Pengujian Oksidasi Thermal .....  | 58     |
| 4.5 Pengamatan Struktur Mikro.....  | 62     |
| 4.5.1 Analisis Data Pengamatan Struktur Mikro NiCrBSi-30SiC 50 $\mu$ m..... | 63     |
| 4.5.2 Analisis Data Pengamatan Struktur Mikro NiCrBSi-30SiC 37 $\mu$ m..... | 67     |
| BAB V .....   | lxxi   |
| KESIMPULAN DAN SARAN .....  | lxxi   |
| 5.1 Kesimpulan .....  | lxxi   |
| 5.2 Saran.....  | lxxi   |
| DAFTAR PUSTAKA.....   | lxxiii |

## DAFTAR GAMBAR

|   |       |
|---|-------|
| Gambar 2. 1 boiler.....   | ..... |
| Gambar 2. 2 Circulating fluidized bed boiler (CFB).....   | ..... |
| Gambar 2. 3 skema dari thermal spray dan coating yang terbentuk pada substrate .....                      | ..... |
| Gambar 2. 4 Skema Proses Pelapisan menggunakan HVOF .....   | ..... |
| Gambar 2. 5 mikrostruktur HVOF dari NiCrBSi-30%SiC .....  | ..... |
| Gambar 2. 6 Serbuk pelapis .....  | ..... |
| Gambar 2. 7 Metode Ball mill.....   | ..... |
| Gambar 2. 8 four-point bending tes.....   | ..... |
| Gambar 2. 9 pengujian flattening .....  | ..... |
| Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian .....   | ..... |
| Gambar 3. 2 Spesimen tube.....  | ..... |
| Gambar 3. 3 Letak indentasi.....  | ..... |
| Gambar 4. 1 Serbuk SiC sebelum di ball mill .....   | ..... |
| Gambar 4. 2 Serbuk SiC setelah di ball mill .....   | ..... |
| Gambar 4. 3 serbuk yang diberi ukuran .....   | ..... |
| Gambar 4. 4 frekuensi ukuran serbuk .....   | ..... |
| Gambar 4. 5 Pergerakan gun saat pelapisan.....  | ..... |
| Gambar 4. 6 Foto Visual coating NiCrBSi-30SiC 50 $\mu\text{m}$ .....                                      | ..... |
| Gambar 4. 7 Visual coating NiCrBSi-30SiC 37 $\mu\text{m}$ .....   | ..... |
| Gambar 4. 8 lokasi indentasi specimen 50 $\mu\text{m}$ (kiri) dan specimen 37 $\mu\text{m}$ (kanan) ..... | ..... |
| Gambar 4. 9 Grafik hasil uji kekerasan mikro .....  | ..... |
| Gambar 4. 10 Spesimen flattening 50mikron.....  | ..... |
| Gambar 4. 11 Spesimen flattening 37mikron.....  | ..... |
| Gambar 4. 12 Grafik hasil uji Siklus Oksidasi Thermal .....   | ..... |
| Gambar 4. 13 tube A 192 .....   | ..... |
| Gambar 4. 14 spesimen 50 mikron sesudah dan sebelum oksidasi .....  | ..... |
| Gambar 4. 15 spesimen 37 mikron sesudah dan sebelum oksidasi .....  | ..... |
| Gambar 4. 16 Struktur Lapisan Coating dengan SiC 50 $\mu\text{m}$ .....                                   | ..... |
| Gambar 4. 17 Porositas .....  | ..... |
| Gambar 4. 18 Lokasi Mapping.....  | ..... |
| Gambar 4. 19 Hasil mapping.....   | ..... |

Gambar 4. 20 Hasil EDS 50 mikron.....  
Gambar 4. 21 Struktur lapisan coating dengan SiC 37  $\mu\text{m}$  .....  
Gambar 4. 22 Lokasi Mapping.....  
Gambar 4. 23 Hasil Mapping .....  
Gambar 4. 24 Hasil EDS 37 Mikron .....

**DAFTAR TABEL**

|  |       |
|--|-------|
| Tabel 2. 1 Komposisi kimia A 192.....              | ..... |
| Tabel 2. 2 Sifat mekanik.....                      | ..... |
| Tabel 2. 3 Jenis-jenis Thermal Spray .....         | ..... |
| Tabel 3. 1 Komposisi kimia Diamalloy 2001 .....    | ..... |
| Tabel 3. 2 Proses persiapan Material Pelapis ..... | ..... |
| Tabel 3. 3 Proses Persiapan Substrat.....          | ..... |
| Tabel 3. 4 Proses Pelapisan .....                  | ..... |
| Tabel 4. 1 Data Uji Kekerasan .....                | ..... |



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Boiler adalah salah satu komponen utama pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang berfungsi menghasilkan uap panas yang digunakan untuk menggerakkan turbin uap. Pada PLTU yang pembakarannya menggunakan batubara, dapat dibedakan menjadi beberapa yaitu PLTU dengan pembakaran batubara bubuk (*Pulverized Coal / PC Boiler*) dan PLTU dengan pembakaran batubara curah (*Circulating Fluidized Bed*).

Di dalam *CFB*, Batubara yang sudah di perkecil ukurannya, dimasukkan dan di letakkan di atas bed boiler yang biasanya bercampur dengan debu batubara, *limestone*, dan biasanya di campur dengan pasir silica. Material bahan bakar tersebut kemudian di campur (Turbulensi) dan didorong ke atas oleh udara yang bertekanan tinggi, sehingga memudahkan pembakaran batubara karena adanya gesekan antara *limestone*, pasir dan batubara.

Proses pembakaran di dalam *CFB coal fired boiler* di sertai dengan proses turbulensi bahan bakar pada temperatur 900° celcius, sebagai efek samping dari proses ini adalah terjadinya abrasi dan erosi pada wall tube boiler. Jika proses abrasi ini di biarkan maka wall tube boiler akan mengalami penipisan yang pada 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* dan dapat menurunkan kualitas material *water wall tube* sehingga mengakibatkan kebocoran.

Permasalahan ini adalah salah satu 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 berhenti bekerja. Sehingga dibutuhkan material yang memiliki ketahanan terhadap keausan, abrasi dan oksidasi yang tinggi.

Salah satu cara untuk meningkatkan ketahanan terhadap keausan, abrasi, dan oksidasi temperature tinggi adalah dengan teknik *hard coating* yaitu memberikan lapisan keras pada permukaan material dasar sehingga diharapkan waktu terjadi penipisan bisa diperpanjang. Adapun metode coating yang dipilih adalah HVOF (high velocity oxygen fuel).

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka perumusan masalah dalam penelitian ini dapat di tuliskan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh ukuran partikel 50 $\mu$ m dan 37 $\mu$ m pada 70NiCrBSi-30SiC terhadap nilai kekerasan pada proses pelapisan menggunakan HVOF.
2. Bagaimana ketahanan oksidasi dari ukuran partikel 50 $\mu$ m dan 37 $\mu$ m pada 70NiCrBSi-30SiC dari proses pelapisan menggunakan HVOF.
3. Bagaimana pengaruh ukuran partikel 50 $\mu$ m dan 37 $\mu$ m pada 70NiCrBSi-30SiC terhadap struktur mikro pada proses pelapisan menggunakan HVOF.

## **1.3 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini agar berjalan secara terfokus dan terarah maka diberikan batasan masalah sebagai berikut :

1. Material substrat yang digunakan adalah tube A 192 dan diasumsikan memiliki komposisi yang homogen.

2. Kondisi permukaan substrat sebelum dilakukan proses pelapisan dianggap bersih dan terbebas dari kontaminasi.
3. Parameter proses pelapisan seperti jarak penyemprotan, laju aliran dan tekanan gas dianggap konstan.
4. Kondisi lingkungan saat dilakukan proses pelapisan dianggap stabil.
5. Alat uji yang digunakan dianggap berfungsi dengan baik.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui nilai kekerasan dari hasil pelapisan menggunakan HVOF dengan variasi ukuran partikel  $50\mu\text{m}$  dan  $37\mu\text{m}$  pada  $70\text{NiCrBSi-30SiC}$ .
2. Untuk mengetahui ketahanan oksidasi lapisan yang dihasilkan dari proses pelapisan HVOF dengan variasi ukuran partikel  $50\mu\text{m}$  dan  $37\mu\text{m}$  pada  $70\text{NiCrBSi-30SiC}$ .
3. Untuk mengetahui struktur mikro dan karakteristik lapisan yang dihasilkan dari proses HVOF dengan variasi ukuran partikel  $50\mu\text{m}$  dan  $37\mu\text{m}$  pada  $70\text{NiCrBSi-30SiC}$ .

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Menambah pengetahuan baik penulis maupun pembaca tentang proses pelapisan khususnya pada proses pelapisan menggunakan HVOF.
2. Dapat digunakan sebagai referensi dalam menangani permasalahan keausan yang sering terjadi pada water wall tube boiler suatu pembangkit Listrik.

3. Dapat digunakan sebagai acuan untuk melakukan penelitian selanjutnya dalam bidang pelapisan menggunakan metode HVOF.

## **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 :

- Mustofa Hilmi. “Analisis Struktur Mikro, Nilai Kekerasan dan Ketahanan Oksidasi Campuran NiCrBSi-40SiC, NiCrBSi-40WC-Co dan Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-20NiCr Pada Proses Pelapisan HVOF” pada tahun 2018. Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa struktur mikro lapisan NiCrBSi-40SiC dan NiCrBSi-40WC-Co memiliki struktur lapisan yang padat dengan sedikit porositas, tidak ada retakan dan mempunyai persebaran karbida yang merata. Sedangkan pada lapisan Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-20NiCr terdapat banyak porositas yang disebabkan oleh unmelted particle. Nilai kekerasan tertinggi sebesar 859Hv didapat pada lapisan NiCrBSi-40WC-Co. Dan persentase pertumbuhan oksidasi terendah pada lapisan NiCrBSi-40SiC dan yang tertinggi pada substrat tanpa pelapisan.
- Dhio Dharu Nugroho. “Analisis Pengaruh Persentase SiC Pada Pelapis NiCrBSi-SiC Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan Dan Ketahanan Oksidasi Lapisan Pada Proses Pelapisan HVOF” pada tahun 2018. Jurnal ini mengatakan hasil pengujian struktur mikro dari lapisan coating sebagian besar didominasi oleh NiCr dengan bagian berwarna abu-abu terang. Persentase SiC pada penelitian ini tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai kekerasannya, nilai kekerasan yang didapat antara 649-753Hv. Dan dari data pengujian thermal oksidasi

didapatkan specimen dengan persentase 40% mengalami laju oksidasi lebih tinggi dibandingkan dengan specimen dengan persentasi 30% dan 20%.

- Ding Kunying, dkk. “*Effect of Feedstock Size on the Properties of WC-17Co Coating*” pada tahun 2016. Dalam jurnal ini Ding Kunying dkk meneliti tentang pengaruh dari ukuran *feedstock* terhadap kekerasan, porositas, ketahanan keausan abrasive, dan ketangguhan dari proses pelapisan menggunakan HVOF. Ukuran *feedstock* yang digunakan adalah WC-17Co dengan variasi ukuran partikel *fine* (-25+10 $\mu$ m), *medium* (-38+25 $\mu$ m), *coarse* (-53+38 $\mu$ m) dan *as-received* (-53+10 $\mu$ m). Hasil pada penelitian ini menunjukkan *feedstock powder* dengan ukuran partikel *fine* memiliki kecepatan dan temperature yang lebih tinggi selama proses pelapisan sehingga menghasilkan lapisan yang padat dan ikatan yang kuat. Kekerasan dari pelapisan WC-17Co meningkat dengan menurunnya ukuran *feedstock*. Pelapisan dengan partikel berukuran *fine* menghasilkan ketahanan aus yang paling baik dan porositas yang kecil. *Feedstock* dengan ukuran partikel *medium* dan *fine* dengan jarak distribusi dari 25 hingga 38  $\mu$ m menunjukkan sifat mekanik dan ketahanan aus yang baik.
- 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

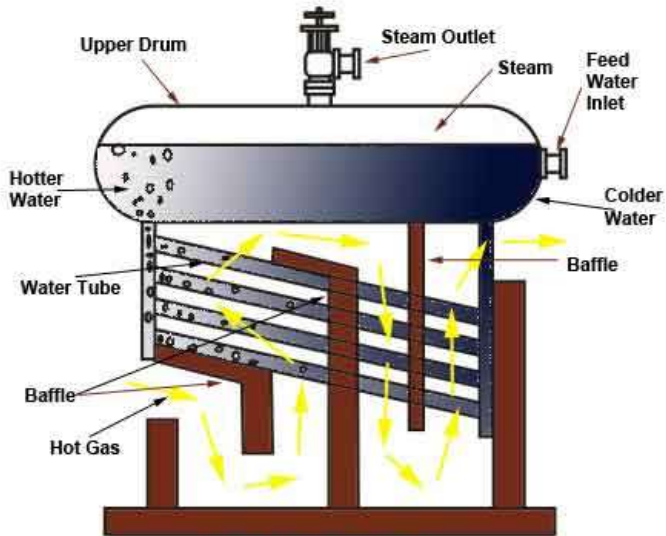
memanaskan material sampai temperature 900° C pada tungku, kemudian dilakukan penahanan selama 1 jam dalam tungku, kemudian didinginkan sampai temperature 27° C dalam tungku, selanjutnya penambahan berat material diukur. Siklus ini dilakukan pengulangan sebanyak 10 kali. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini adalah proses pelapisan pada material terbukti mengurangi laju oksidasi dari material.

- E. Martides, dkk, “The Influence of Particles Size and Composition Variation of NiCr-CrC(20NiCr) Metal Matrix Composites Coatings Properties on Boiler Tubes Application” pada tahun 2016. Pada jurnal ini E. Martides dkk meneliti tentang pengaruh komposisi dan ukuran partikel pada proses coating HVOF menggunakan serbuk NiCr-CrC(20NiCr) agar mendapatkan kondisi yang optimal untuk pengaplikasian pada boiler tube. Adapun pengujian yang dilakukan adalah microhardness, metallography dan ketahanan thermal shock. Variasi yang dilakukan adalah perbedaan ukuran partikel NiCr dengan mesh 140, 270 dan 400. Serta komposisi NiCr-CrC(20NiCr) 70 : 30 dan 60 : 40. Hasil paling bagus didapatkan pada NiCr dengan ukuran mesh 270 dan komposisi 60 : 40 karena memiliki nilai kekerasan paling tinggi (410 Hv) dan sedikit perubahan warna setelah thermal shock resistance dengan dua variasi media pendingin. Pada komposisi 70 : 30 nilai kekerasan akan menurun dengan mengecilnya ukuran partikel dari NiCr.

## 2.2 Boiler

Boiler adalah salah satu komponen utama pada Pembangkit Listrik yang berfungsi menghasilkan uap panas yang digunakan untuk menggerakkan turbin uap. Menurut metode pembakaran yang digunakan, *boiler* dibagi menjadi

tiga klasifikasi jenis, yaitu: *fixed bed combustion boiler*, *pulverized coal combustion boiler* (PCC), dan *circulating fluidized bed boiler* (CFB).



Gambar 2. 1 Boiler  
Sumber : 2.bp.blogspot.com

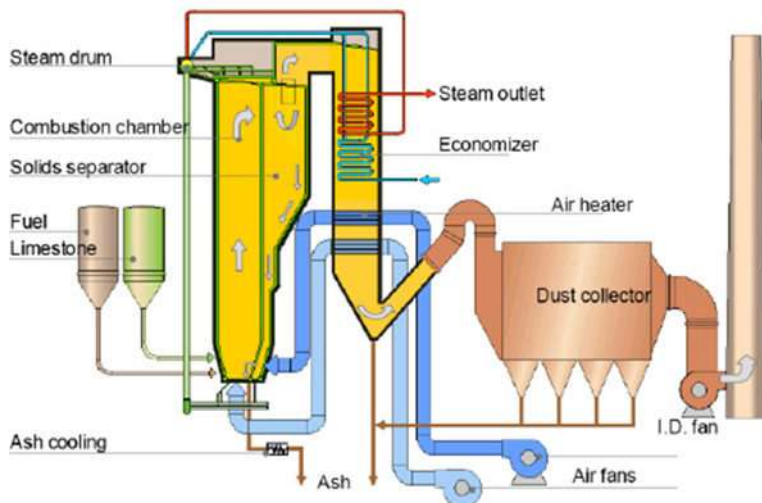
*Circulating fluidized bed boiler* (CFB) adalah alat untuk menghasilkan uap dengan membakar bahan bakar fosil dalam tungku yang dioperasikan di bawah kondisi hidrodinamik khusus: dimana batubara (diameter rata-rata 10 mm) dibakar diatas papan (*bed*) dan diberi hembusan udara dari sisi bawah.

Kondisi ini akan menghasilkan pembakaran bahan bakar yang lebih sempurna karena posisi batu bara selalu berubah dan terjadi sirkulasi batu bara yang belum habis terbakar dari tungku ke *cyclone* kemudian masuk ke *seal pot* dan kembali ke tungku.



Temperatur pembakaran pada boiler tipe CFB berkisar antara 800-900°C. Pada saat proses pembakaran yang disertai dengan penghambusan udara sering terjadi turbulensi yang mengakibatkan terjadinya tumbukan antara partikel *abrasive* berupa partikel batu bara yang tidak terbakar sempurna (*fly ashes*) yang disertai partikel karbon dengan permukaan *water wall tube*.

Tumbukan tersebut akan menyebabkan terjadinya abrasi dan oksidasi temperatur tinggi pada permukaan *water wall tube*. Pada saat terjadi tumbukan partikel *erosive* akan menempel pada permukaan *water wall tube* dan lama-kelamaan akan mengendap.



Gambar 2. 2 Circulating fluidized bed boiler (CFB)

Sumber : [www.zgindustrialboiler.com](http://www.zgindustrialboiler.com)

Jika kondisi tersebut berlangsung terus-menerus pada temperature tinggi maka akan terjadi reaksi kimia pada endapan, hal ini bisa menyebabkan terbentuknya *oxide scales* pada permukaan *water wall tube* yang akan berakibat pada

terjadinya degradasi atau penurunan kualitas material dan bisa mengakibatkan kebocoran.

Jika terjadi kebocoran pada *water wall tube*, sistem pada *boiler* akan berhenti bekerja serta akan membutuhkan biaya yang tinggi jika dilakukan perbaikan, sehingga dibutuhkan penelitian dan pengembangan sistem perlindungan abrasi dan oksidasi temperatur tinggi pada *water wall tube*. Salah satu cara yang bisa dilakukan untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan mengaplikasikan pelapisan dengan jenis pelapisan tahan aus dan oksidasi (*wear and oxidation resistant coatings*) yang memiliki konduktifitas termal yang baik, seperti *High Velocity Oxygen Fuel* (HVOF).

### 2.3 Baja

Baja adalah logam paduan, logam besi sebagai unsur dasar dengan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan unsur karbon dalam baja berkisar antara 0,2% hingga 2,1% berat sesuai grade-nya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal (*crystal lattice*) atom besi. Baja karbon ini dikenal sebagai baja hitam karena berwarna hitam, banyak digunakan untuk peralatan pertanian misalnya sabit dan cangkul. Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah titanium, krom (*chromium*), nikel, vanadium, cobalt dan tungsten (*wolfram*). Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya, berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*) (Anonimous A, 2012).

Menurut komposisi kimianya baja karbon dapat klasifikasikan menjadi tiga, yaitu

- Baja karbon rendah dengan kadar karbon 0,05% - 0,30% C, sifatnya mudah ditempa dan mudah di

kerjakan pada proses permesinan. Penggunaannya untuk 6 komposisi 0,05% - 0,20% C biasanya untuk bodi mobil, bangunan, pipa, rantai, paku keeling, sekrup, paku dan komposisi karbon 0,20% - 0,30% C digunakan untuk roda gigi, poros, baut, jembatan, bangunan.

- Baja karbon menengah dengan kadar karbon 0,30% - 0,60%, kekuatannya lebih tinggi dari pada baja karbon rendah. Sifatnya sulit untuk dibengkokkan, dilas, dipotong. Penggunaan untuk kadar karbon 0,30% - 0,40% untuk batang penghubung pada bagian automotif. Untuk kadar karbon 0,40% - 0,50% digunakan untuk rangka mobil, crankshafts, rails, ketel dan obeng. Untuk kadar karbon 0,50% - 0,60% digunakan untuk palu dan eretan pada mesin.
- Baja karbon tinggi dengan kandungan 0,60% - 1,50% C, kegunaannya yaitu untuk pembuatan obeng, palu tempa, meja pisau, rahang ragum, mata bor, alat potong, dan mata gergaji, baja ini untuk pembuatan baja perkakas. Sifatnya sulit dibengkokkan, dilas dan dipotong (Arifin dkk, 2008).

Sedangkan menurut kadar zat arangnya, baja dibedakan menjadi tiga kelompok utama baja bukan paduan yaitu baja dengan kandungan kurang dari 0,8% C (baja hypoeutectoid), himpunan ferrit dan perlit (bawah perlitis), baja dengan kandungan 0,8% C (baja eutectoid atau perlitis), terdiri atas perlit murni, dan baja dengan kandungan lebih dari 0,8% C (baja hypereutectoid), himpunan perlit dan sementit (atas perlitis) (Mulyadi, 2010).

### 2.3.1 Baja Karbon A 192

Pada penelitian ini material yang digunakan adalah tube baja karbon rendah tipe 192 yang mempunyai komposisi kimia dan sifat-sifat mekanik sebagai berikut :

Tabel 2. 1 Komposisi kimia A 192

| Material | Komposisi Kimia (%) |      |           |       |       |
|----------|---------------------|------|-----------|-------|-------|
|          | C                   | Si   | Mn        | P     | S     |
| A 192    | 0.06-0.18           | 0.25 | 0.27-0.63 | 0.035 | 0.035 |

Tabel 2. 2 Sifat mekanik

| Material | Sifat Mekanik  |                |            |           |
|----------|----------------|----------------|------------|-----------|
|          | Kekuatan Tarik | Kekuatan Luluh | Elongation | Kekerasan |
| A 192    | 325 MPa        | 180 MPa        | 35%        | 77 HRB    |

## 2.4 Coating

*Coating* adalah sebuah pelapisan yang diterapkan pada permukaan suatu benda dengan cairan atau serbuk, yang akan melekat secara kontinu pada logam yang akan dilindungi. Tujuan penerapan lapisan mungkin dekoratif, fungsional, atau keduanya.

Konsep dasar pada coating adalah membatasi pengaruh lingkungan dengan substrat sehingga dengan proses coating ini diharapkan dapat menambah umur pakai pada substrat tersebut. Sekarang ini sudah banyak jenis bahan pelapisan untuk melapisi substrat, salah satunya dengan pelapisan logam. Logam metalik adalah penghalang yang berkesinambungan antara permukaan logam dan lingkungan (Supiyani,2012). Tingkat proteksi dari pelapisan tergantung pada sistem keseluruhan dari pelapisan yang terdiri dari jenis pelapisan, substrat logam dan preparasi permukaan. Material coating yang ideal digunakan untuk melapisi adalah sebagai berikut:

1. Logam pelapis harus lebih tahan terhadap serangan lingkungan dibanding dengan logam yang dilindungi.
2. Logam pelapis tidak boleh memicu korosi setelah melapisi logam yang dilindungi.
3. Sifat mekanik dan fisik seperti kekuatan, ketahanan abrasi, ketahanan korosi, dan sifat termal harus

memenuhi kondisi operasi komponen yang bersangkutan.

4. Metode pelapisan harus sesuai dengan metode fabrikasi komponen.
5. Tebal pelapisan harus homogen dan tidak mengandung pori.

Secara umum coating dapat diklasifikasikan menjadi *vapor deposition*, *Chemical and electrochemical technique*, *Spraying*, *Roll-to-roll coating processes* dan *Physical coating processes*. Metode *Spraying* adalah metode pelapisan dimana prosesnya dengan cara disemprotkan. Pada metode *Spraying* ini terdapat beberapa jenis, salah satunya adalah Thermal Spray.

#### 2.4.1 Thermal Spray

Banyak sekali teknik pelapisan yang tersedia dan pemilihan teknik terbaik didasarkan pada beberapa persyaratan seperti ukuran, bentuk, serta sifat metalurgi material yang akan dilapisi (*substrat*). Salah satunya dengan proses thermal spray.

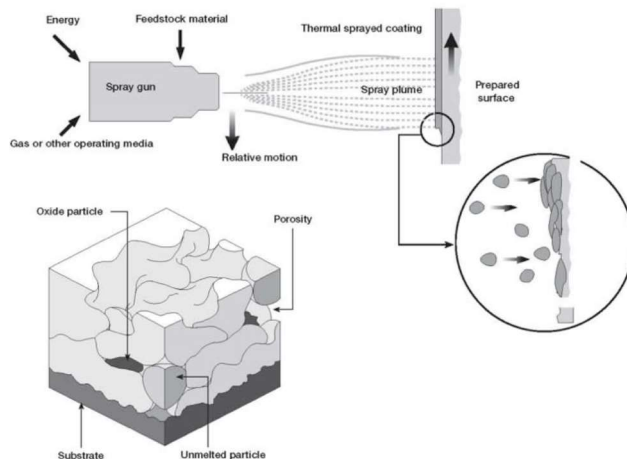
*Thermal spray* adalah proses dimana material pelapis dimasukkan ke dalam daerah panas (*heating zone*) dari daerah panas ini disemprotkan ke material *substrat*. Material pelapis dapat dipanaskan menggunakan listrik (*plasma atau arc*) atau proses kimia (nyala api). Berbagai jenis proses thermal spray yang dipakai di industri pelapisan diantaranya terlihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2. 3 Jenis-jenis Thermal Spray

| No | Jenis Thermal Spray |
|----|---------------------|
| 1  | Flame Spray         |
| 2  | Detonation Gun      |
| 3  | Electric Arc Spray  |
| 4  | Plasma Spray        |
| 5  | HVOF                |

Prinsip dasar dari semua proses Thermal Spray adalah sama, yaitu dengan menggunakan bahan powder atau kawat yang dialirkan melalui Spray Pistol, kemudian dipanaskan hingga meleleh atau halus, dan disemprotkan dengan kecepatan tinggi pada permukaan substrat untuk membentuk lapisan (*Coating*). Pelapisan adalah penambahan atau penempelan suatu material di atas permukaan material lain. Kerapatan Coating mempengaruhi tingkat kekerasannya. Sedangkan kerapatan Coating tergantung pada wujud material (padat/cair) pada saat menumbuk substrat dan kecepatan partikelnya.

Proses thermal spray telah banyak digunakan dalam berbagai sektor industri coating, terutama untuk melindungi komponen-komponen material substrat yang memerlukan tingkat kekerasan yang lebih baik.



Gambar 2. 3 skema dari thermal spray dan coating yang terbentuk pada substrate

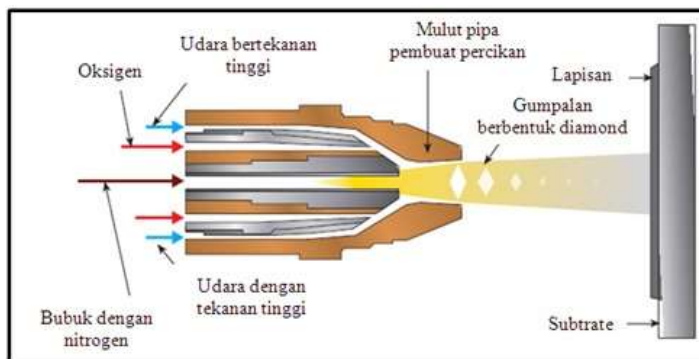
Sumber : Thesis Teguh Santoso

### 2.4.2 High Velocity Oxy-Fuel (HVOF)

Proses pelapisan *High Velocity oxy-Fuel* (HVOF) adalah proses penyemprotan dengan pencampuran oksigen dan bahan bakar seperti *propane*, *acetylene* atau *hydrogen* untuk menghasilkan nyala api yang bertekanan dengan kecepatan supersonic. Nyala api yang bertekanan ini melelehkan material pelapis dan mendorong cairan partikel ke material substrat.

Proses HVOF biasanya digunakan untuk material logam karena temperature yang lebih tinggi, dengan kombinasi kecepatan partikel yang tinggi pada saat tumbukan dengan substrat membuat lapisan yang dihasilkan padat dan melekat dengan baik dengan ikatan yang kuat ke substrat.

Terdapat dua jenis HVOF, yang pertama adalah HVOF liquid fuel yang mana menggunakan bahan bakar cair dan carbide jet spray (CJS) gun. Yang kedua adalah HVOF gas fuel dimana menggunakan bahan bakar gas dan diamond jet (DJ) gun. DJ gun menghasilkan temperature yang lebih tinggi dan kecepatan yang lebih rendah daripada CJS gun dan juga lebih cocok untuk *feedstock* yang partikelnya lebih kecil.



Gambar 2. 4 Skema Proses Pelapisan menggunakan HVOF

Sumber : <http://3.bp.blogspot.com>

Prinsip kerja pelapisan menggunakan *HVOF* adalah sebagai berikut. Gas-gas mudah terbakar bervolume tinggi seperti *hydrogen*, *propylene*, *acetylene*, dan *kerosene* dimasukkan kedalam ruang pembakaran. Dari proses pembakaran antara bahan bakar dengan oksigen dihasilkan nyala api atau *flame* yang kemudian dialirkan melewati *nozzle* sepanjang 8 sampai 30 cm (3 sampai 12 inci). Secara bersamaan serbuk partikel sebagai bahan pelapis (*feedstock materials*) diinjeksikan menggunakan gas pengangkut menuju *nozzle*. Volume aliran gas yang besar ditambahkan dengan temperature pembakaran yang tinggi membuat kecepatan gas yang keluar pada *nozzle* berkisaran pada 1525 – 1825 m/s (5000 – 6000 ft/s).

Terdapat dua perbedaan kelas pada peralatan HVOF, terbagi berdasarkan tekanan pada ruang pembakaran. Kelas yang pertama adalah *high velocity*, memiliki karakter tekanan pada ruang pembakaran melebihi 241 kPa (35 psi) dan *heat input* sebesar 527 MJ (500.000 Btu). Kelas yang kedua adalah *hypervelocity*, beroperasi pada kisaran 620 sampai 827 kPa (90 sampai 120 psi) dengan *heat input* ~1GJ (~1 juta Btu) dan biasanya menggunakan bahan bakar kerosin.

Karakteristik pelapisan menggunakan HVOF sebanding dengan pelapisan menggunakan detonation gun, terutama pada lapisan karbida dan oksida. Kerapatan lapisan penyemprotan yang dihasilkan, adhesi dan oksidasi juga lebih baik dibandingkan dengan menggunakan plasma berenergi tinggi. Porositas yang dihasilkan kurang dari 1%. HVOF memiliki kecepatan partikel yang lebih tinggi dan temperature partikel yang lebih rendah dibandingkan dengan *flame spray* konvensional dan plasma spray





Gambar 2. 5 mikrostruktur HVOF dari NiCrBSi-30%SiC  
Sumber : Tugas Akhir Dhio

## 2.5 Material Pelapis

Terdapat tiga tipe dasar yang dapat digunakan dalam *thermal spray* :

- Material fasa tunggal, seperti logam, paduan, intermetallics, keramik, dan polimer.
- Material komposit, seperti cermet ( $WC/Co$ ,  $Cr_3C_2/NiCr$ ,  $NiCrAlY/Al_2O_3$ , dll), pemerrkuat logam, dan pemerrkuat polimer.
- Material berlapis atau gradasi, disebut material gradien fungsional (FGM)

Tiga material dasar diatas akan lebih dijelaskan keuntungannya dan aplikasinya di bawah ini :

### A. Material Fasa Tunggal

- 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 infrastruktur 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  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{MgO}$ ; karbida seperti  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ ,  $\text{TiC}$ ,  $\text{Mo}_2\text{C}$ , dan  $\text{SiC}$ ; *nitride* seperti  $\text{TiN}$  dan  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . Bahan ini digunakan untuk memberikan ketahanan aus ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ ,  $\text{TiC}$ ,  $\text{Mo}_2\text{C}$ , dan  $\text{TiN}$ ), ketahanan terhadap suhu tinggi ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ , dan  $\text{MgO}$ ), isolasi listrik ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ , dan  $\text{MgO}$ ), dan ketahanan korosi. Keramik sangat cocok untuk *thermal spray* dengan metode *plasma*, karena temperature proses yang tinggi.
- **Intermetallics:** Seperti  $\text{TiAl}$ ,  $\text{Ti}_3\text{Al}$ ,  $\text{Ni}_3\text{Al}$ ,  $\text{NiAl}$ , dan  $\text{MoSi}_2$  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



Gambar 2. 6 Serbuk pelapis  
Sumber : [www.materials.sandvik](http://www.materials.sandvik)

## B. Komposit

Komposit partikulat, serat, dan komposit dengan reinforced *whisker* semuanya telah diproduksi dan digunakan dalam berbagai aplikasi. Partikel yang sudah diperkuat dengan camic seperti WC / Co, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> / 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.

## C. Material Gradien fungsional

Dikembangkan pada awal 1970an, FGM berkembang secara signifikan guna produksi kedepan untuk meningkatkan material dan peralatan yang penggunaannya pada gradient thermal yang lebar, material clad yang lebih murah untuk meningkatkan ketahanan korosi dan aus, dan meningkatkan struktur material elektronik seperti baterai, fuel cell dan peralatan energy thermoelectric. Penggunaan FGM dapat ditemukan pada komponen turbin, nossel rocket, reactor kimia turbin dan komponen pembakaran kritikal lainnya.

### 2.5.1 Pengikat (Binder)

Binder berfungsi sebagai pengikat antar komponen coating dan juga bertanggung jawab terhadap gaya adhesi coating terhadap substrat, menahan pigmen di posisinya

masing-masing, dan menjadi penghalang yang membatasi masuknya air, oksigen, dan ion-ion agresif ke permukaan logam.

Pelapisan Nickel-based digunakan pada pengaplikasian ketika ketahanan aus dikombinasikan dengan ketahanan oksidasi atau ketahanan korosi pada temperature tinggi diperlukan. Bubuk pelapis Ni biasanya memiliki ikatan Ni-B-Si dengan penambahan elemen paduan lainnya. Boron (B) memiliki pengaruh menurunkan titik leleh Ni. Penambahan Chromium (Cr) pada paduan akan menaikkan ketahanan oksidasi dan ketahanan korosi pada temperature tinggi dan menaikkan kekerasan pelapisan dengan bentukan fasa yang keras. Silikon (Si) ditambahkan untuk meningkatkan sifat *self-fluxing*.

### **2.5.2 Pengeras (Reinforce)**

Material pengeras yang digunakan untuk bahan campuran coating ini adalah Silikon karbida atau juga dikenal dengan *carborundum* dengan rumus molekul SiC. Penggunaan silikon karbida dalam industri karena sifat mekaniknya yang sangat baik, konduktivitas listrik dan termal tinggi, ketahanan terhadap oksidasi kimia sangat baik, dan SiC berpotensi untuk fungsi keramik atau semikonduktor temperatur tinggi.

Butiran silikon karbida merupakan salah satu diantara keramik yang sangat keras. Silikon karbida dengan struktur tetrahedra dari karbon dan atom silikon dengan ikatan yang kuat dalam kisi kristal. Hal ini menghasilkan bahan yang sangat keras dan kuat. Di udara, silikon karbida membentuk oksida pelindung pada 1100°C dan dapat digunakan mencapai 1700°C. Jika dibandingkan dengan material keramik lain, material SiC memiliki kekerasan yang tinggi namun berat jenisnya lebih ringan dibandingkan keramik dari alumina.

## 2.6 Karakteristik Serbuk

Beberapa karakter dari serbuk membuat sesuai atau tidak sesuai untuk proses pemakanan yang sama. Idealnya serbuk harus bebas mengalir, distribusinya merata, dan terbebas dari ukuran partikel kecil yang tidak diinginkan. Ukuran partikel kecil biasanya disebut “*satellites*” karena mereka menempel pada partikel yang lebih besar. Situasi yang ideal jarang terjadi, sehingga hal ini perlu di ketahui karakteristik dari serbuk yang membuat dapat digunakan untuk pelapisan. Beberapa karakteristik penting serbuk adalah :

- Ukuran partikel serbuk
- Distribusi ukuran partikel
- Morfologi
- Metode pembuatan
- Kandungan kadar Air

### 2.6.1 Ukuran partikel

Ukuran partikel biasanya ditunjukkan dengan batas atas dan bawah dari distribusi ukuran serbuk, selalu digunakan untuk menspesifikkan serbuk. Hal ini harus di pahami bahwa biasanya limit ditetapkan dengan 90% dan 10% dari distribusi. Sebagai contoh pada serbuk plasma spray akan dituliskan seperti -325 mesh, +10 $\mu$ m (10 hingga 44  $\mu$ m). Serbuk ini dapat artikan memiliki minimum 80% dari partikel antara 10 dan 44  $\mu$ m.

### 2.6.2 Distribusi ukuran

Distribusi ukuran dapat diartikan perekat serbuk. Rata-rata ukuran partikel dan kemiringan distribusi juga menjadi parameter yang mempengaruhi. Biasanya serbuk yang bagus adalah *monomodal* (distribusi normal, hanya memiliki satu bukit pada kurva) dan tidak miring (perbedaan 50% dan rata-rata ukuran partikel) melebihi batas layak.

Perbedaan dalam kemiringan bubuk dari satu lot ke yang lain akan mempengaruhi sifat pelapisan. Semua

parameter penyemprotan dipertimbangkan, jika hanya ukuran partikel yang berubah, maka lintasan serbuk yang melalui jet juga akan berubah, yang pada gilirannya akan mengubah waktu / temperatur aliran serbuk. Sekali lagi, karena distribusi ukuran bergeser, penyimpangan pemakaian serbuk akan terjadi.

### **2.6.3 Morfologi serbuk**

Morfologi serbuk, atau bentuk, harus terkait erat dengan metode pembuatan. Variasi proses manufaktur dapat mempengaruhi perubahan morfologi partikel. Morfologi mempengaruhi feedability, densitas, sprayability, partikel-partikel yang tidak meleleh dalam pelapisan, porositas, dan sebagainya. Serbuk-serbuk yang mengandung air adalah salah satu contoh dari fenomena ini, di mana morfologi dapat berbentuk dari bola yang hampir sempurna hingga bentuk yang sangat tidak beraturan dan berbelit-belit, tergantung pada parameter proses manufaktur. Partikel yang berbentuk tidak beraturan tidak semudah partikel yang berbentuk bulat atau sama (partikel dengan dimensi yang sama di setiap arah), karena mereka lebih mudah menyatu. Karena bentuk bola memiliki rasio permukaan-luas-terhadap-volume paling rendah dari setiap geometri, bentuk yang tidak seperti bola dapat menyerap lebih banyak air permukaan daripada bola. Serbuk-serbuk yang di-atomisasi gas biasanya berbentuk bola dan oleh karena itu biasanya mengalir dengan sangat baik.

### **2.6.4 Metode Pembuatan**

Berbagai metode manufaktur dapat digunakan untuk membuat jenis serbuk tertentu. Setiap metode menghasilkan karakteristik serbuk unik dalam hal morfologi, feedability, densitas, ukuran butir, dan sebagainya. Setiap metode manufaktur, untuk ukuran dan komposisi partikel tertentu, juga akan menghasilkan karakteristik pelapisan yang berbeda. Perbedaan-perbedaan ini mungkin signifikan atau mungkin tidak.

Serbuk pelapis juga dapat direkayasa sebagai campuran fase dalam bentuk partikel yang dicampur. Penggumpalan serbuk cenderung menjadikan paling mudah rapuh, sering retak pada saat tekanan penyemprotan, penanganan, *feeding*, dan pengiriman ke nozzle. Fraktur partikel-partikel ini meningkatkan persentase volume serbuk halus, yang mengurangi kemampuan mengalir dan dapat menyebabkan masalah *spitting* pada *plasma gun*. Hal ini dapat mempengaruhi kualitas pelapisan.

### **2.6.5 Kandungan Kadar Air**

kelembaban yang diserap (permukaan) dalam serbuk adalah salah satu aspek yang paling signifikan dan sering diabaikan dari *powder feeding*, tetapi salah satu yang paling sederhana untuk dikontrol. Material serbuk memiliki luas permukaan spesifik yang sangat tinggi dan dapat mempertahankan atau menyerap sejumlah besar kelembaban permukaan. Untuk mengurangi masalah ini dan menghilangkan sumber signifikan dari tidak konsistennya material serbuk, sangat disarankan prosedur pengeringan serbuk dilakukan. Serbuk harus ditempatkan pada oven yang dipanaskan untuk beberapa jam sebelum dilakukan pelapisan.

Umumnya serbuk ditempatkan pada wadah dengan tutup yang di longgarkan atau tanpa menggunakan penutup. Waktu dan temperature bervariasi dalam industry, tetapi seluruh serbuk harus di keringkan paling tidak 8 jam sebelum dilakukan pelapisan, lebih baik sedikit diatas titik didih air, 100°C. serbuk yang lebih halus harus dipanaskan lebih lama karena *high surface-area-to-volume* rasio. Rasio ini meningkat secara eksponensial dengan menurunnya ukuran serbuk, seperti serbuk yang lebih halus dapat menahan secara signifikan kadar air lebih daripada serbuk yang kasar. Penggunaan vacum oven lebih efektif daripada oven biasa.

## 2.7 Pengecilan ukuran serbuk

Terdapat beberapa metode untuk mengecilkan ukuran serbuk, diantaranya adalah crushing dan milling. Tujuan dari crushing adalah untuk menghancurkan partikel yang besar menjadi lebih kecil menggunakan energy mekanik. Proses ini biasanya digunakan untuk keramik yang getas, karena logam akan mengalami deformasi plastis daripada hancur. Bahan baku dengan kemurnian tinggi dapat dibentuk dengan melelehkan raw material pada tungku. Hal ini disebut material cor yang kemudian dapat hancurkan untuk membentuk serbuk “cast-and-crushed”. Variasi dari serbuk “cast-and-crushed” adalah untuk membentuk serbuk melalui proses yang disebut self-propagation high-temperature synthesis (SHS). Metode SHS ini bergantung pada kemampuan dari reaksi high exothermic untuk menjadi self-sustaining dan efisien.

Crushing diikuti dengan milling. Keramik dan beberapa logam dapat dikecilkan ukurannya melalui mechanical impact dan deformasi pada proses pengurangan. Proses crushing menggunakan peralatan seperti hammer mill, stamping mill, jaw crusher, dan gyratory crusher. Tahap penghancuran selalu diikuti dengan teknik yg lebih halus yaitu milling, yang mampu mengontrol ukuran partikel.

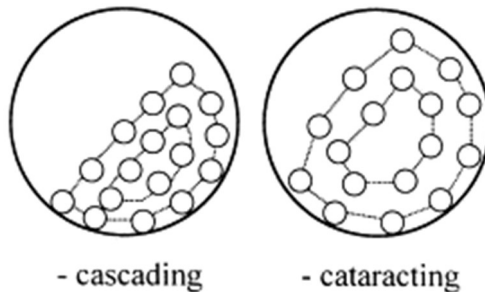
Mesin milling termasuk rod mill dan ball mill. Perhatian harus diberikan untuk memastikan bahwa media penggilingan tidak terlalu mengkontaminasi material yang sedang dikecilkan ukurannya. Medium milling biasanya spesifik gravity nya tinggi. Seperti contoh , alumina, baja, zirconia, dan mullite adalah yang sering digunakan, meskipun *cemented carbide* kadang-kadang digunakan di mana kontaminasi harus dijaga seminimal mungkin.

Rod mills menggiling partikel besar (lebih dari  $15\mu\text{m}$ ) lebih efisien daripada ball mill. Ball mill menggiling semua partikel ke tingkat yang sama, menghasilkan distribusi ukuran yang lebih bervariasi. Kecepatan dari rod mill atau ball mill cukup penting berkaitan dengan umur peralatan dan efisiensi



proses. Berdasarkan kecepatan putaran mill terdapat dua mekanisme penggerusan yaitu

- **Cascading**  
Putaran mill relative rendah, muatan akan bergerak naik tidak begitu tinggi dan setelah mencapai titik kesetimbangan muatan segera kembali menggelincir atau menggelinding di atas muatan lain yang sedang bergerak ke atas. Pada mekanisme ini pengecilan ukuran terjadi akibat gaya abrasi/attrition dan shear. Produk yang dihasilkan dengan mekanisme ini adalah sangat halus.
- **Cataracting**  
Putaran mill cukup tinggi, muatan ikut berputar dan bergerak naik relative tinggi dengan titik kesetimbangan yang tinggi pula. Setelah kesetimbangannya tercapai, muatan akan jatuh bebas ke dasar mill. Pada mekanisme ini pengecilan ukuran terjadi akibat pengaruh gaya impact dan compressi. Produk yang di hasilkan berukuran relative kasar.



Gambar 2. 7 Metode Ball mill

## 2.8 Pengujian Mekanik Coating

Pelapisan menggunakan Thermal spray biasanya digunakan untuk mengatasi keausan. Keausan adalah proses yang sangat rumit yang tergantung pada hal-hal berikut seperti

Input parameter. Meliputi : beban, temperatur, kecepatan, waktu. Proses parameter seperti : materials in contact, lubricant, lingkungan, Geometry contact, surface preparation, operation procedure. Dan Output parameter seperti : gesekan, Noise, Vibration dan keausan mass or volume.

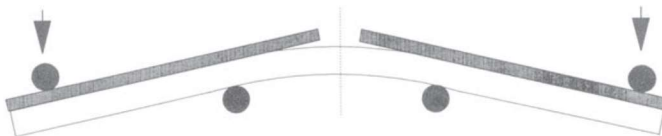
Keausan sangat sulit untuk di karakteristikkan. Kebalikan dari itu kekerasan atau mikrostruktur relative mudah untuk diukur tetapi properties ini tidak selalu membantu dalam memprediksi aspek mechanical coating. Tensile adhesion test (TAT) biasanya digunakan untuk mengetahui karakter pelekatan coating pada substrat.

Prinsip metode digunakan untuk menguji pelapisan menggunakan thermal spray sebagai berikut

- Tensile adhesion test (TAT). Dikenal dengan nama ‘pull-off’ method
- Pengujian berdasarkan Fracture mechanics, termasuk double cantilever beam (DCB) metode, bending tes dan indentasi tes
- Metode lain seperti peel test, scratch tes dan ‘laser-shock’ tes.

### 2.8.1 Fracture mechanics Test

Pengujian ikatan dikembangkan berdasarkan mekanika patahan. Menggunakan metode double-cantilever beam (DCB). DCB digunakan untuk menentukan energy regang kritis. Four-point bending tes juga dapat digunakan untuk mengukur adhesi.



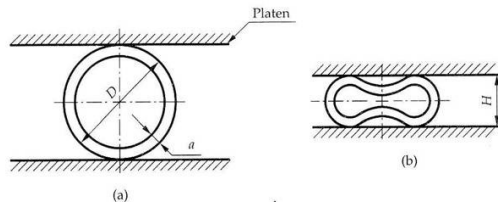
Gambar 2. 8 four-point bending tes

Sumber : Science and engineering of thermal spray Coating

Energy yang dilepaskan dihitung dengan membandingkan total energy regangan sebelum dan sesudah perambatan yang diamati pada perpindahan beban.

### 2.8.2 Flattening Tes

Pengujian flattening biasanya digunakan pada specimen yang dipotong dari tube atau pipa dan dilakukan dengan menekan specimen hingga rata menggunakan dua buah plat. Gagal tidaknya pengujian flattening tube ini digunakan untuk menentukan apakah tube akan patah saat ditekan hingga datar.



Gambar 2. 9 pengujian flattening

Sumber : <http://me.aut.ac.ir>

Pada prinsipnya Flattening tes ini termasuk dalam fracture tes dan pengujian ini digunakan untuk menguji kekuatan ikatan pelapisan. Pengujian ini dilakukan pada tube yang di coating dan dilakukan pengujian flattening untuk mengetahui kekuatan ikatan pelapisan pada coating tube. Perhitungan untuk mencapai jarak antara kedua tube (H) adalah sebagai berikut

$$H = \frac{(1+e)t}{e+t/D} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana : H = jarak antara plat flattening (mm)  
 t = tebal tube (mm)  
 D = diameter luar tube (mm)  
 e = deformation per unit length

- 0.07 untuk medium carbon steel ( 0.19% C atau lebih)
- 0.08 untuk ferritic alloy
- 0.09 untuk austenitic steel dan low carbon steel (0.18% C atau kurang)

### 2.8.3 Hardness dan Microhardness

Pengujian kekerasan didasari prinsip penetrasi dari intan pada permukaan dari material uji. Intan memiliki berbagai bentuk seperti berikut :

- Belah ketupat – pada Vickers tes
- Layang-layang – pada knoop tes
- Segitiga – pada berkovich pyramid

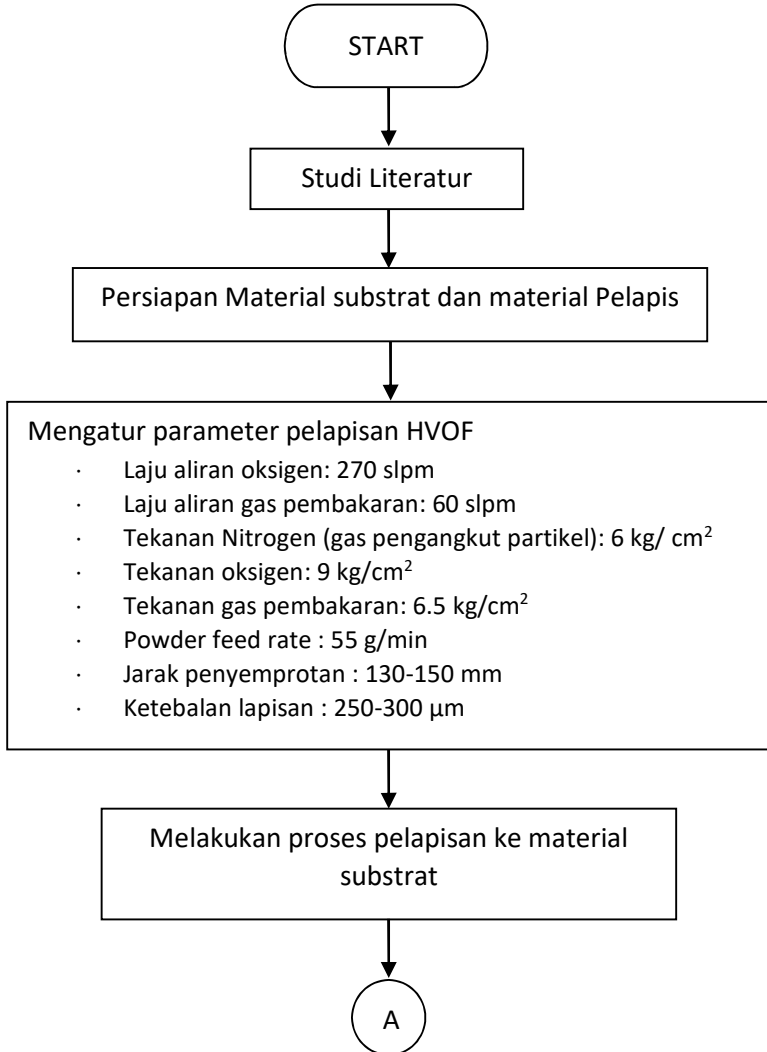
Specimen yang akan dilakukan uji kekerasan harus polish metallography. Kekerasan dinyatakan sebagai rasio dari beban ke area indentasi. Untuk pengujian Vickers, kekerasan dapat dinyatakan melalui hubungan berikut :

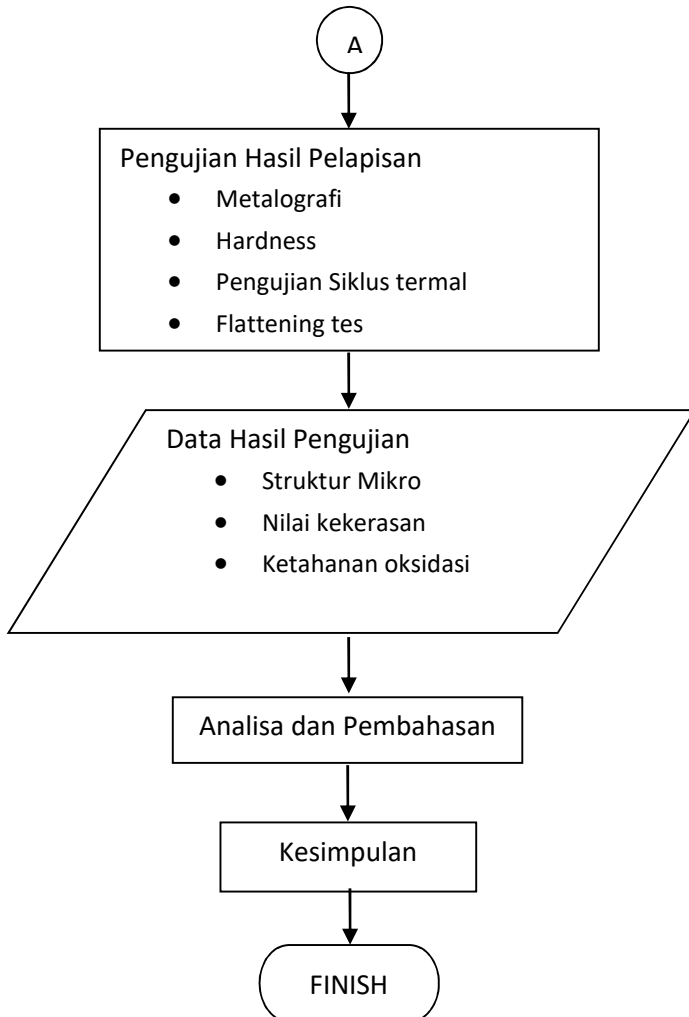
$$HV = \frac{1.8544 F}{d^2}$$

Kekerasan Vickers dilambangkan dengan HV. F dalam kgf dan d adalah panjang diagonal indentasi dalam mm. pada praktiknya pembebanan memiliki kisaran F = 0.1 hingga 50N. Biasanya istilah *microhardness* digunakan jika pembebanan (F) dibawah dari 10N dan *Hardness* digunakan jika pembebanan lebih besar.

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

### 3.2 Spesimen Benda Uji

Pada penelitian ini specimen yang digunakan sebagai substrat adalah tube A 192 dengan diameter luar 60 mm dengan ketebalan 6 mm. Material benda uji di potong terlebih dahulu menyesuaikan dengan dimensi specimen pengujian. Adapun panjang specimen untuk pengujian flattening tes adalah 80 mm, panjang untuk pengujian metalografi dan kekerasan adalah 10 mm, dan untuk pengujian siklus termal sepanjang 20 mm.



Gambar 3. 2 Spesimen tube

### 3.3 Pemilihan Material Pelapis

Pada penelitian ini digunakan 1 bahan pelapis yaitu 70%NiCrBSi-30%SiC dengan variasi pada ukuran partikel SiC. NiCrBSi (Diamalloy 2001, Oerlikon Metco, Switzerland). Material ini mempunyai distribusi ukuran partikel sebesar  $-45+15 \mu\text{m}$ . Material ini akan digunakan sebagai *binder* dari material penguat (*reinforce particle*) berupa SiC yang memiliki ukuran karbida primer sebesar  $\pm 50$

um yang akan divariasikan. Detail komposisi kimia dari material Diamalloy 2001 dapat dilihat pada table


Tabel 3. 1 Komposisi kimia Diamalloy 2001

| Weight Percent |         |    |     |    |   |    |
|----------------|---------|----|-----|----|---|----|
| Product        | Ni      | Cr | B   | Si | C | Fe |
| Diamalloy 2001 | Balance | 17 | 3.5 | 4  | 1 | 4  |



### 3.4 Proses Persiapan Material Pelapis




Tahapan yang dilakukan pada proses persiapan bahan pelapis adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 2 Proses persiapan Material Pelapis

| No | Peralatan dan Tahapan Proses Persiapan Material Pelapis | Gambar Peralatan dan Proses  |
|----|---|--|
| 1  | Menyiapkan material pelapis berupa NiCrBSi dan SiC.     |  |





|   |  |   |
|---|--|---|
| 2 | <p>Kecilkan ukuran partikel SiC dari ukuran 50<math>\mu</math>m menjadi 37 <math>\mu</math>m dengan alat Ball Mill selama 8 jam untuk sekali proses.</p>   |  |
| 3 | <p>Pisahkan ukuran butir SiC yang telah dikecilkan menggunakan mesin Mechanical Sieve Shaker agar mendapatkan ukuran butir yang sesuai. Ukuran mesh yang digunakan adalah mesh 400 dengan ukuran lubang 37<math>\mu</math>m.</p> |  |



|   |  |  |
|---|--|--|
| 4 | Lakukan proses penimbangan material pelapis sesuai dengan komposisi yang ditentukan yaitu 70NiCrBSi-30SiC dengan variasi ukuran butir SiC sebesar 50 $\mu$ m dan 37 $\mu$ m. |   |
| 5 | Lakukan proses pencampuran dengan menggunakan mesin mechanical alloying selama 8 jam.  |   |
| 6 | Setelah material pelapis tercampur dengan sempurna simpan pada wadah yang kedap udara agar serbuk partikel tidak terkontaminasi.   |  |

### 3.5 Persiapan Substrat

Terdapat beberapa tahapan untuk mempersiapkan material substrat. Dalam mempersiapkan material substrat ini hal yang paling penting adalah proses pembersihan dan pengasaran permukaan karena tanpa proses ini material pelapis tidak akan menempel dengan baik. Adapun proses persiapannya sebagai berikut :

Tabel 3. 3 Proses Persiapan Substrat



| No | Peralatan dan Tahapan Proses Persiapan Substrat   | Gambar Peralatan dan Proses  |
|----|---|--|
| 1  | Menyiapkan material substrat berupa carbon steel tube A 192 sesuai dengan spesifikasi boiler. |   |
| 2  | Material substrat dipotong menjadi beberapa ukuran untuk mempermudah dalam proses pengujian.  |  |




|   |   |  |
|---|---|--|
| 3 | <p>Melakukan pengelasan titik pada material substrat yang telah dipotong untuk mempermudah proses pelapisan.</p>  |  Two cylindrical metal components, possibly parts of a substrate, are shown side-by-side. They are dark brown and appear to be made of steel. At the bottom of each cylinder, there are several dark, circular spots, which are the result of spot welding. The components are resting on a grey, textured surface. |
| 4 | <p>Lakukan proses pembersihan material substrat dari oli, cat atau kotoran yang menempel pada permukaan substrat. Selanjutnya dilakukan proses pengasaran permukaan dengan cara abrasive grit blasting menggunakan pratikel mikro berupa serbuk alumina agar mempunyai daya ikat yang kuat.</p> |  A green abrasive grit blasting machine is shown. It has a rectangular body with two large circular ports on the front. The machine is mounted on a stand and has various hoses and connections attached to it. The background is a plain wall.   |


### 3.6 Pelapisan HVOF




Setelah tahap persiapan material pelapis dan material substrat selesai, tahap selanjutnya yang dilakukan pada proses HVOF ini adalah sebagai berikut

Tabel 3. 4 Proses Pelapisan



| No | Proses Pelapisan   | Gambar Proses  |
|----|--|--|
| 1  | Tahap pertama adalah melakukan pengukuran ketebalan awal material substrat   |   |
| 2  | Lakukan proses pengecaman material substrat agar pada saat proses pelapisan substrat tidak berpindah karena tingginya tekanan gas yang dihasilkan oleh penyemprot HVOF |  |

|   |   |  |
|---|---|--|
| 3 | <p>Masukkan serbuk pelapis kedalam powder feeder dengan jumlah serbuk yang disesuaikan dengan luasan substrat</p>                   |   |
| 4 | <p>Sambungkan gas pembakar (gas propane), oksigen dan gas pengangkut partikel (gas nitrogen) kedalam sprayer gun dan buka katup</p> |   |
| 5 | <p>Aktifkan konsol HVOF dengan menekan tombol reset dan dilanjutkan menekan tombol power on yang terdapat pada panel control</p>    |  |

|   |   |   |
|---|---|---|
| 6 | <p>Melakukan pengaturan laju aliran gas pembakar sebesar 60 slpm dengan tekanan sebesar <math>6\text{kg/cm}^2</math>, oksigen sebesar 270 slpm dengan tekanan sebesar <math>8\text{kg/cm}^2</math> dan gas pengangkut partikel dengan tekanan sebesar <math>5\text{kg/cm}^2</math> dengan menggunakan pressure gauge dan flow meter</p> |  |
| 7 | <p>Kemudian melakukan pengaturan laju aliran serbuk pelapis dari powder feeder menuju HVOF gun dan lakukan pengaturan laju aliran udara bertekanan yang digunakan sebagai pendingin HVOF gun melalui panel control</p>  |   |

|    |   |  |
|----|---|--|
| 8  | Nyalakan flame pada HVOF gun  |   |
| 9  | Mengalirkan serbuk partikel dengan cara membuka katup pengatur pada HVOF gun  |   |
| 10 | Melakukan proses pelapisan dengan jarak 130-150mm dan jaga jarak untuk tetap konstan. Proses pelapisan dilakukan pada sebagian bidang permukaan |  |



|    |   |  |
|----|---|--|
| 11 | <p>Jika temperature permukaan substrat sampai 150-200°C hentikan sementara proses pelapisan. Dan untuk mempercepat proses pendinginan dapat dilakukan menyemprotkan udara bertekanan pada permukaan substrat. Kemudian lanjutkan proses pelapisan hingga mencapai ketebalan yang diinginkan</p> |   |
| 12 | <p>Setelah proses pelapisan selesai, lakukan proses pengukuran ketebalan di beberapa titik</p>  |  |
| 13 | <p>Jika ketebalan telah</p>   |  |

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | sesuai dapat dilakukan proses fusing, yaitu melakukan penyemprotan flame pada permukaan lapisan |  |
|--|---|--|

### 3.7 Pengujian

Untuk mendapatkan data-data dari penelitian ini dilakukan empat pengujian yaitu pengujian metalografi dan SEM, pengujian kekerasan, pengujian siklus termal dan pengujian Flattening tes.

#### 3.7.1 Metalografi dan SEM

Pengamatan metalografi dengan menggunakan mikroskop optik dilakukan untuk mendapatkan hasil visual dari struktur mikro lapisan. Proses persiapan spesimen dan prosedur metalografi mengikuti standar ASTM E1920-03. Peralatan yang digunakan pada pengujian ini diantaranya adalah:

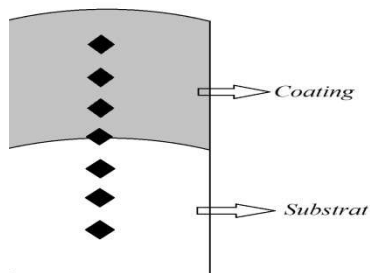
1. Mesin *grinding* dan *polishing*.
2. Kertas amplas 240, 500, 1000, 1500 dan 2000.
3. Kain beludru.
4. *Scanning electron microscope*.
5. Mikroskop optic

#### 3.7.2 Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui dan membandingkan nilai kekerasan material pada bagian *substrat* dengan permukaan hasil pelapisan. Peralatan yang digunakan pada pengujian ini adalah *microhardness tester*. Pengujian kekerasan pada penelitian ini mengikuti standar ASTM E384-11E1 dengan prosedur pengujian sebagai berikut:

1. Spesimen uji berupa Tube A 192 dipotong menggunakan mesin potong dengan dimensi dan arah pemotongan sesuai.
2. Selanjutnya dilakukan proses persiapan awal specimen berupa proses *polishing*, dengan cara menggosok permukaan specimen menggunakan kertas gosok grit 240-2000 menggunakan mesin polishing.
3. Spesimen diletakkan pada alat uji kekerasan mikro dan dilakukan pengujian.
4. Dilakukan indentasi sebanyak tujuh titik pada permukaan specimen dan dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali agar didapatkan nilai kekerasan rata-rata. Posisi indentasi pengujian kekerasan terletak pada material substrat, lapisan coating dan *interface* dengan jarak masing-masing indentasi 100  $\mu\text{m}$ . Pada pengujian ini penekanan indenter dilakukan secara perlahan tanpa adanya impak atau benturan dan dilakukan penahanan selama 10 detik. Nilai pembebanan yang digunakan adalah sebesar 0.5 kgf (4.903 N).
5. Setelah gaya tekan dilepaskan kemudian dilakukan pencatatan dan perhitungan nilai HV dengan persamaan sebagai berikut:

Microhardness Test 
$$H = \frac{1.8544 F}{d^2}$$



Gambar 3. 3 Letak indentasi

### 3.7.3 Siklus Termal

Pengujian siklus termal dilakukan untuk mengetahui ketahanan oksidasi dari masing-masing lapisan serta mengetahui perbandingan laju oksidasi temperatur tinggi dari material yang telah dilapisi dengan material tanpa pelapisan. Pengujian dilakukan dengan menghitung persentase penambahan berat yang terjadi pada spesimen setelah mengalami satu siklus pengujian. Terjadinya penambahan berat pada spesimen dikarenakan oleh munculnya *oxide scale* atau metal oxide pada permukaan spesimen dikarenakan terjadi reaksi antara permukaan spesimen dengan oksigen pada temperatur tinggi. Prosedur pengujian yang digunakan pada pengujian siklus termal ini adalah sebagai berikut :

1. Spesimen dipoles terlebih dahulu agar didapatkan kondisi reaksi yang sama sebelum mengalami proses pengujian.
2. Meletakkan spesimen kedalam cawan porselen, kemudian mengukur berat total awal dari cawan porselen dan spesimen.
3. Memasukkan cawan porselen kedalam tungku pemanas pada kondisi temperatur ruang.
4. Dilakukan pemanasan sampai temperatur 900°C dengan laju pemanasan sebesar 200°C/jam atau 4 jam pemanasan.
5. Dilakukan penahanan pada temperatur 900°C di dalam tungku pemanas selama 1 jam.
6. Dilakukan pendinginan sampai temperatur ruang di dalam tungku pemanas (pendinginan *furnace*).
7. Mengeluarkan cawan porselen dari tungku pemanas setelah mencapai temperatur ruang.
8. Mengukur berat total dari cawan porselen dan spesimen setelah mengalami proses pengujian siklus termal. Sampai dengan tahap ini satu siklus pengujian telah selesai dilakukan.

9. Mengulangi prosedur pengujian 1 sampai 8 selama 6 kali

#### **3.7.4 Uji Tekan (Flattening Test)**

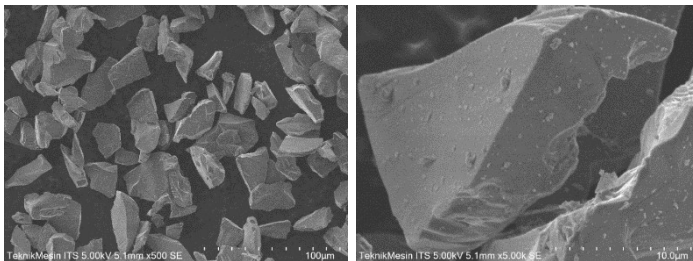
Pengujian tekan ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan ikatan dari masing-masing lapisan. Pengujian Flattening tes ini mengikuti standart ASTM A450. Adapun prosedur pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. Lakukan proses penghitungan jarak akhir antara plat flattening (H) menggunakan rumus (1) .
2. Letakkan material tube yang telah di coating diantara dua plat
3. Posisikan paterial yang telah di coating pada posisi 90°.
4. Lakukan proses pembebanan pada tube hingga jarak akhir plat sesuai dengan perhitungan (H).
5. Lakukan proses analisa pada hasil lapisan coating, ukur berapa panjang retakan yang terjadi dan bagaimana retakan yang terjadi.

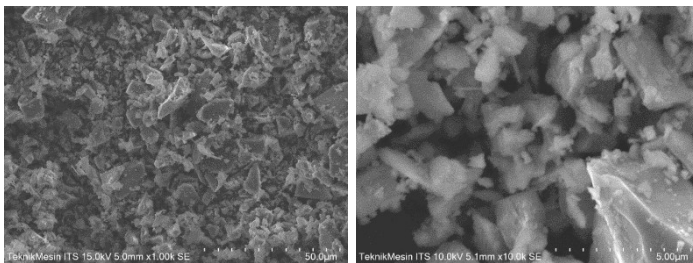


## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Pada percobaan ini, efek dari perbedaan ukuran serbuk SiC akan diteliti apakah memiliki efek pada hasil coating menggunakan proses HVOF. Terdapat dua perbedaan ukuran serbuk SiC yang pertama memiliki ukuran serbuk sebesar 50 mikron dan yang kedua serbuk tersebut dilakukan proses ball mill untuk mendapatkan ukuran serbuk yang lebih kecil dari 37 mikron. Proses pengecilan ukuran serbuk menggunakan ball mill ini dilakukan selama 8 jam dengan kecepatan 263rpm. Setelah proses ball mill ini dilakukan, dilanjutkan dengan proses pemisahan serbuk menggunakan alat mechanical sieve dengan ukuran mesh 400 yang memiliki luasan lubang sebesar 37 mikron. Berikut ini adalah gambar serbuk SiC sebelum dan sesudah proses ball mill.



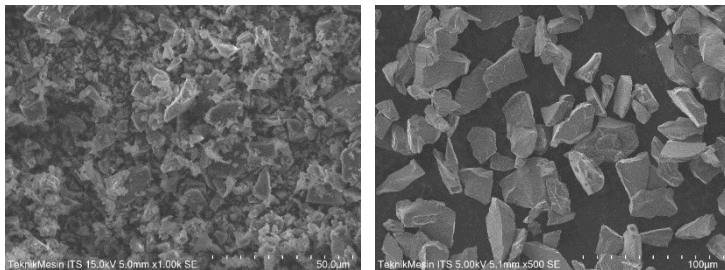
Gambar 4. 1 Serbuk SiC sebelum di ball mill



Gambar 4. 2 Serbuk SiC setelah di ball mill

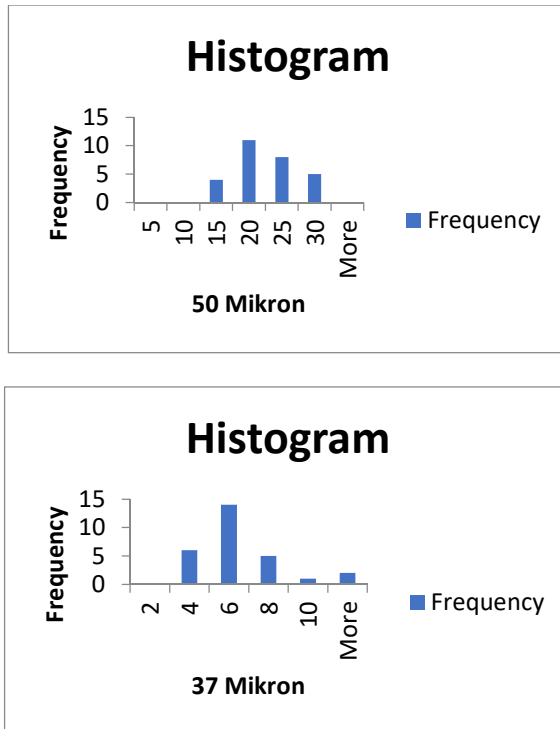
Dari gambar serbuk diatas dapat dilihat bahwa proses ball mill berhasil mengecilkan ukuran serbuk SiC, tetapi morfologi serbuk yang telah dilakukan proses ball mill mengalami perubahan menjadi lebih tidak beraturan (*irregularly shaped*) akibat dari tumbukan serbuk dengan bola-bola pada ball mill. Perubahan morfologi ini dapat mempengaruhi *feedability* dan *sprayability* pada saat dilakukan proses pelapisan HVOF karena morfologi serbuk yang baik adalah berbentuk bola atau spherical.

Untuk mengetahui ukuran serbuk SiC lebih pasti, maka dilakukan pengukuran ukuran serbuk menggunakan alat SEM dan menggunakan *software* ImageJ. Setelah ukuran didapatkan, dilanjutkan dengan mengukur rata-rata serbuk tersebut. Untuk mengetahui cara pengukuran dapat dilihat pada lampiran. Adapun data hasil pengukuran tersebut adalah sebagai berikut :



Gambar 4. 3 serbuk yang diberi ukuran





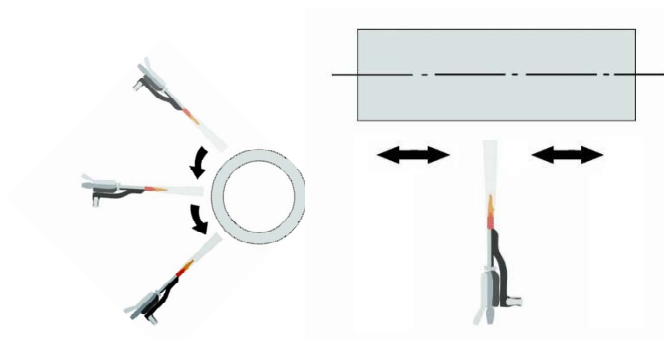
Gambar 4. 4 frekuensi ukuran serbuk

Dari perhitungan yang dilakukan, dapat dilihat bahwa untuk serbuk SiC sebelum di ball mill memiliki frekuensi ukuran terbanyak pada 20 mikron dan untuk serbuk yang telah di ball mill memiliki frekuensi ukuran terbanyak pada 6 mikron. Semakin kecilnya serbuk dapat mengisi celah pada lapisan, tetapi juga mengakibatkan berhamburnya serbuk saat dilakukan proses pelapisan karena kecilnya ukuran serbuk saat dilakukan proses pelapisan akan terbang keluar jalur pelapisan sehingga tidak menumbuk substrat.

Pada proses pelapisan menggunakan HVOF ini, langkah pertama yang dilakukan adalah memastikan semua

gas yang diperlukan tersedia dan telah tersambung ke Gun. Saat semua peralatan telah disiapkan dan terpasang pada posisinya (serbuk pelapis, gas propane, oksigen, gas nitrogen, substrat) dilanjutkan dengan menyalakan mesin HVOF. Langkah selanjutnya adalah membuka laju aliran gas oksigen dan propan. Setelah laju gas keluar dari nozzle dilanjutkan dengan memantikkan api agar terjadi proses pembakaran (proses pemantikan api ini menggunakan korek api). Kemudian dilakukan proses pemanasan substrat hingga temperature  $80^{\circ}\text{C}$  menggunakan gun. Setelah temperature substrat mencapai  $80^{\circ}\text{C}$ , buka katup powder feeder pada gun dan memulai proses pelapisan.

Pergerakan gun pada saat pelapisan ini dilakukan secara horizontal. Dimuali dari bagian atas, tengah dan bawah. Saat proses penyemprotan selesai, dinginkan material substrat dengan cara mengalirkan gas nitrogen yang diarahkan ke material coating. Setelah material cukup dingin, dilakukan proses pengukuran ketebalan di beberapa titik untuk mengetahui penambahan ketebalan setelah dilakukan proses coating.



Gambar 4. 5 Pergerakan gun saat pelapisan

Jika dirasa ketebalan coating sudah cukup, maka dilanjutkan dengan mengganti serbuk yang baru (mengganti dengan serbuk NiCrBSi-SiC) hingga ketebalan tertentu. Jika ketebalan coating belum sesuai, maka dilanjutkan proses yang sama hingga ketebalan coating dirasa sudah cukup.

Setelah proses coating menggunakan HVOF pada tube A 192 dilakukan, dilanjutkan dengan pengujian dan pengumpulan data. Hasil yang didapatkan dari pengujian adalah data struktur mikro, nilai kekerasan, data siklus termal dan data kekuatan adhesi.

#### 4.1 Inspeksi Visual



Gambar 4. 6 Foto Visual coating NiCrBSi-30SiC 50  $\mu\text{m}$

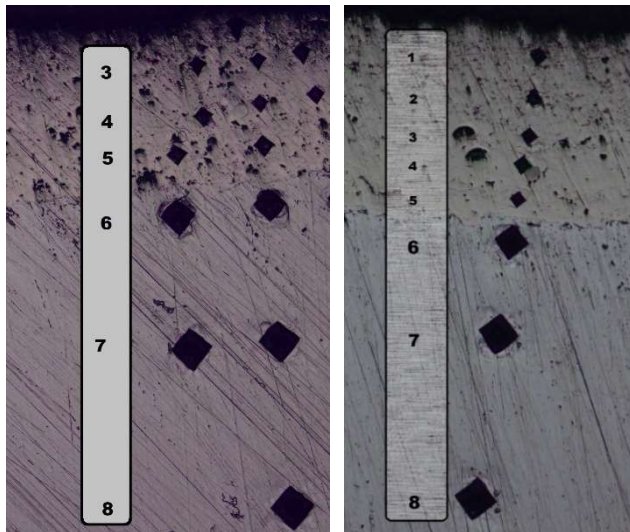


Gambar 4. 7 Visual coating NiCrBSi-30SiC 37  $\mu\text{m}$

Dari pengamatan secara visual, hasil kedua variasi coating tersebut memiliki hasil yang bagus. Hal ini dapat dilihat dari tidak adanya retakan pada interface coating dengan substrat dan pada lapisan terluar coating. Hanya saja terdapat sedikit cacat pada specimen dengan ukuran SiC 37  $\mu\text{m}$ , ini dapat terjadi karena saat melepaskan specimen tidak dilakukan dengan hati-hati sehingga terjadi cacat hasil coating sedikit terkelupas. Secara keseluruhan hasil coating menunjukkan bahwa proses dilakukan dengan baik dan benar sehingga secara visual tidak terjadi keretakan pada permukaan coating.

## 4.2 Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan pada tiap specimen menggunakan metode uji kekerasan mikro. Lokasi indentasi pada permukaan specimen ditunjukkan pada gambar berikut ini



Gambar 4. 8 lokasi indentasi specimen 50µm (kiri) dan specimen 37µm (kanan)

### 4.2.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan

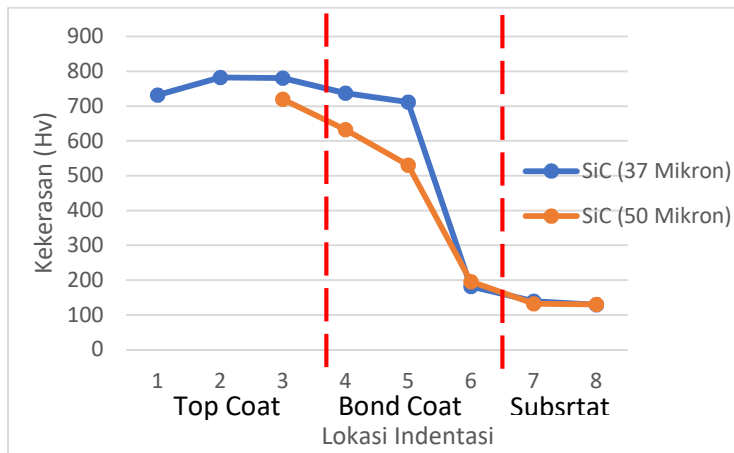
Data hasil pengujian kekerasan dituangkan pada tabel berikut ini :

Tabel 4. 1 Data Uji Kekerasan

| Posisi Indentasi | Spesimen NiCrBSi-30SiC |                | Keterangan   |
|------------------|------------------------|----------------|--------------|
|                  | SiC 50 $\mu$ m         | SiC 37 $\mu$ m |              |
|                  | HV                     | HV             |              |
| 1                | -                      | 732            | Top Coating  |
| 2                | -                      | 782            |              |
| 3                | 720                    | 781            |              |
| 4                | 632                    | 737            | Bond Coating |
| 5                | 530                    | 712            |              |
| 6                | 195                    | 182            | Substrat     |
| 7                | 132                    | 139            |              |
| 8                | 131                    | 129            |              |

#### 4.2.2 Analisis dan Pembahasan Pengujian Kekerasan

Dari data pengujian tersebut dibuat grafik kekerasan permukaan spesimen yang dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 4. 9 Grafik hasil uji kekerasan mikro

Data nilai kekerasan dari specimen ditunjukkan pada tabel 4.1 Yang menunjukkan nilai kekerasan pada substrat dan lapisan coating dengan profil potongan penampang memanjang. Terdapat perbedaan jumlah indentasi pada kedua specimen ini dikarenakan ketebalan coating yang berbeda. Pada grafik menunjukkan perbandingan antara jarak dan posisi indentasi dengan nilai kekerasan. Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa pada setiap specimen mengalami kenaikan nilai kekerasan yang signifikan mulai dari batas substrat sampai dengan lapisan coating. Nilai kekerasan pada substrat berkisar antara 125-140 HV. Nilai kekerasan mulai meningkat pada daerah batas antara substrat dan lapisan. Hal ini dapat dilihat dari grafik bahwa nilai kekerasan pada interface meningkat hingga berkisaran pada 180-200 HV.

Pada specimen dengan ukuran SiC yang lebih besar nilai kekerasan bond coat berada antara 530-632 Hv, sedangkan nilai kekerasan pada top coat 720 Hv. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan serbuk SiC dapat meningkatkan nilai kekerasan. Sedangkan pada specimen dengan ukuran SiC yang lebih kecil nilai kekerasan bond coat berada antara 712-737 Hv, dan nilai kekerasan top coat berada antara 732-782 Hv. Pada penelitian ini perbedaan variasi terletak pada bagian top coat. Nilai kekerasan tertinggi adalah 782 Hv didapatkan pada specimen dengan ukuran SiC yang lebih kecil pada posisi indentasi ke 2, ini bisa disebabkan karena pada posisi indentasi ini tepat pada daerah kromium karbida ( $\text{Cr}_3\text{C}_2$ ) yang memiliki nilai kekerasan lebih tinggi. Dan pada specimen dengan ukuran SiC yang lebih kecil memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dapat disebabkan karena lapisan coating dengan ukuran SiC yang lebih kecil memiliki lapisan yang lebih padat sehingga memiliki nilai kekerasan yang tinggi.

Dengan penambahan serbuk SiC akan menghasilkan karbida yang mempunyai nilai kekerasan tinggi sehingga akan meningkatkan ketahanan aus dari lapisan. Paduan Cr dan C

akan membentuk chromium carbide ( $\text{Cr}_3\text{C}_2$ ) yang akan menghasilkan lapisan yang memiliki nilai kekerasan tinggi. Perbedaan ukuran serbuk SiC pada hasil nilai kekerasan tidak memiliki perbedaan yang signifikan, tetapi nilai kekerasan dengan ukuran SiC yang lebih kecil memiliki nilai yang lebih tinggi. Hal ini dapat disebabkan karena serbuk SiC lebih menempel pada binder dan menghasilkan lapisan lebih padat.

### 4.3 Pengujian Flattening

Pengujian Flattening test dilakukan untuk mengetahui kekuatan lekat coating dengan substrat. Pengujian ini dilakukan dengan menekan tube hingga ketinggian tertentu. Adapun perhitungan pada pengujian flattening ini adalah sebagai berikut :

$$H = \frac{(1+e)t}{e+t/D}$$

$$H = \frac{(1+0.09)5}{0.09+5/60}$$

$$H = 31.5 \text{ mm}$$

Dimana : H = jarak antara plat flattening (mm)

t = tebal tube (mm)

D = diameter luar tube (mm)

e = deformation per unit length

0.09 untuk austenitic steel dan low carbon steel  
(0.18% C atau kurang)



### 4.3.1 Hasil Pengujian Flattening



Gambar 4. 10 Spesimen flattening 50mikron

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa ikatan yang terjadi antara substrat dan material tidak mengikat secara baik karena pada bagian bawah lapisan coating terlepas secara keseluruhan. Ini dapat di sebabkan oleh beberapa hal seperti proses roughning dengan menggunakan grit blasting pada permukaan substrat kurang berhasil, adanya gas yang terjebak antara substrat dan lapisan sehingga menurunkan daya lekat, preheat pada substrat kurang maksimal, dan masih adanya kotoran pada permukaan substrat seperti minyak dan lain-lain sehingga serbuk NiCrBSi tidak melekat secara sempurna pada substrat. Tidak melelehnya serbuk secara sempurna juga dapat mempengaruhi kekuatan adhesi pada proses pelapisan ini.



Gambar 4. 11 Spesimen flattening 37mikron

Pada hasil coating spesimen dengan ukuran SiC 37 $\mu$ m dapat dilihat bahwa retak yang terjadi setelah proses flattening lebih banyak daripada spesimen dengan ukuran SiC 50 $\mu$ m, ini dapat disebabkan karena spesimen yang ukuran SiC lebih kecil memiliki ketebalan yang lebih daripada spesimen dengan ukuran SiC 50 $\mu$ m yaitu hingga mencapai 400-450 mikron dan kekeransan yang lebih tinggi juga menyebabkan lapisan akan menjadi lebih getas.

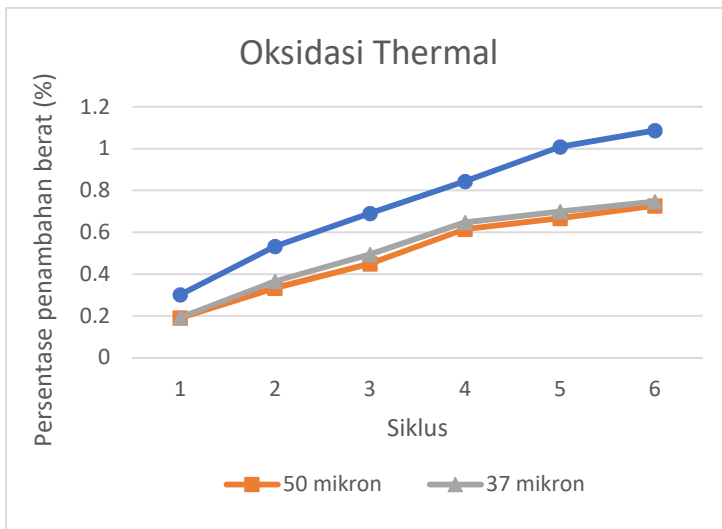
#### 4.4 Pengujian Oksidasi Thermal

Dari data hasil pengujian siklus thermal sebanyak enam kali siklus didapatkan persentase penambahan berat sebagai berikut :

Tabel 4. 2 Persentase penambahan berat

| Siklus | Persentase Penambahan Berat (%) |                  |               |
|--------|---------------------------------|------------------|---------------|
|        | 50 $\mu\text{m}$                | 37 $\mu\text{m}$ | Tanpa Coating |
| 0      | 0                               | 0                | 0             |
| 1      | 0.190500931                     | 0.192504125      | 0.30179007    |
| 2      | 0.333376629                     | 0.365364972      | 0.53330026    |
| 3      | 0.450274927                     | 0.495010607      | 0.690396461   |
| 4      | 0.614798459                     | 0.648228176      | 0.843358551   |
| 5      | 0.666753258                     | 0.699300699      | 1.008722973   |
| 6      | 0.727367191                     | 0.746444567      | 1.087271074   |

Dari data penambahan berat yang didapatkan, kemudian dibuat grafik siklus thermal yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 12 Grafik hasil uji Siklus Oksidasi Thermal

Dari gambar 4.12 pada sumbu y menunjukkan persentase penambahan berat, sedangkan pada sumbu x adalah jumlah siklus atau proses oksidasi thermal yang dilakukan. Dapat diketahui bahwa persentase penambahan berat (terbentuknya *oxide scale*) yang disebabkan karena oksidasi temperature tinggi pada material baja karbon rendah tanpa mengalami proses pelapisan merupakan yang paling tinggi yaitu mencapai 0.3% pada siklus pertama dan cenderung mengalami peningkatan sebesar 0.15-0.23% pada setiap siklus seiring dengan bertambahnya siklus pengujian yang dilakukan. Hal ini sesuai dengan sifat baja karbon rendah yaitu tidak tahan terhadap oksidasi temperature tinggi. Sedangkan untuk specimen yang mengalami proses coating, prosentasi penambahan berat yang muncul relative lebih rendah yaitu berkisar antara 0.04-0.17%. Hal ini dapat diartikan bahwa proses pelapisan pada salah satu sisi permukaan material telah mampu mengurangi laju oksidasi temperatur tinggi jika dibandingkan dengan material asli tanpa mengalami pelapisan.



Gambar 4. 13 tube A 192

Komposisi serbuk coating juga memiliki pengaruh terhadap ketahanan oksidasi. Matrik nikel (Ni) merupakan

bagian yang paling banyak pada lapisan coating memiliki ketahanan oksidasi yang cukup baik. Nikel mulai teroksidasi pada temperature 500°C. Selain meningkatkan kekerasan lapisan dengan pembentukan fasa keras, komposisi Cr juga mampu meningkatkan ketahanan oksidasi dan ketahanan korosi pada suhu tinggi. Pada temperaatur 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.



Gambar 4. 14 spesimen 50 mikron sesudah dan sebelum oksidasi

Penambahan SiC juga akan meingkatkan temperature oksidasi. Silicon memiliki temperature oksidasi yang tinggi yaitu sekitar 1080°C. Silicon akan membentuk lapisan  $SiO_2$  tipis yang akan melindungi coating dari oksidasi. Dari hasil pengujian ini dapat dilihat bahwa perbedaan ukuran partikel SiC tidak berpengaruh secara signifikan terhadap laju oksidasi.

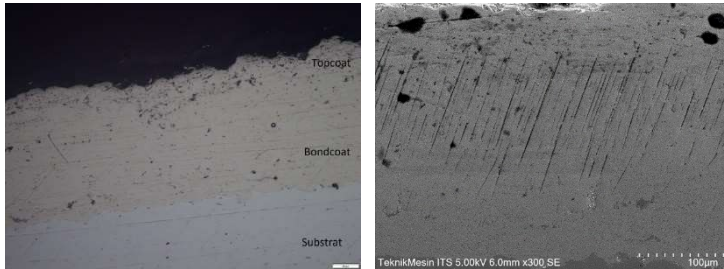


Gambar 4. 15 spesimen 37 mikron sesudah dan sebelum oksidasi

#### **4.5 Pengamatan Struktur Mikro**

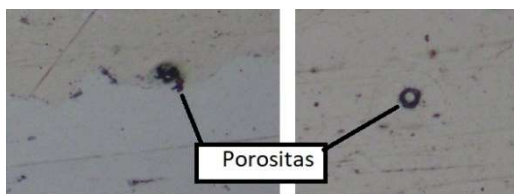
Dari hasil pengamatan metalografi didapatkan foto struktur mikro lapisan pada daerah penampang. Foto struktur mikro specimen dengan ukuran SiC 50 mikron dapat dilihat pada gambar 4.16 dan ukuran specimen dengan ukuran partikel SiC 37 mikron pada gambar 4.21

#### 4.5.1 Analisis Data Pengamatan Struktur Mikro NiCrBSi-30SiC 50 $\mu$ m



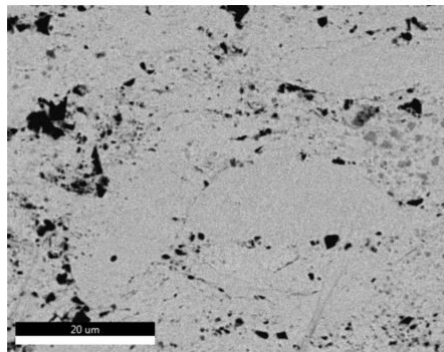
Gambar 4. 16 Struktur Lapisan Coating dengan SiC 50  $\mu$ m

Dari pengamatan struktur mikro pada specimen NiCrBSi-30SiC dengan ukuran partikel SiC 50 mikron dapat dilihat bahwa ketebalan total lapisan yang didapat adalah sekitar 250-290 $\mu$ m. Pada coating ini terdapat dua lapisan yaitu bond coat berupa NiCrBSi setebal kurang lebih 200  $\mu$ m dan top coat berupa NiCrBSi-30SiC dengan tebal 50 sampai 90  $\mu$ m. Terdapat beberapa porositas yang tersebar pada lapisan. Porositas ini kemungkinan besar disebabkan oleh *entapped unmelted particle* SiC yang kemudian terkelupas pada saat proses grinding dan polishing yang menyebabkan *voids*. Tetapi secara umum dapat dilihat bahwa lapisan telah mengalami struktur yang padat. Hal ini dikarenakan lapisan telah mengalami proses fusi dimana hasil dari proses fusi adalah pemadatan lapisan serta menutupnya sebagian porositas yang muncul selama proses pelapisan.



Gambar 4. 17 Porositas

Pada daerah interface antara lapisan substart dan bondcoat dapat dilihat terdapat porositas. Adanya porositas ini dapat disebabkan karena serbuk belum meleleh dengan baik saat keluar melewati nozzle sehingga pada saat serbuk mencapai substrat tidak dalam kondisi leleh dan menyebabkan serbuk tidak dapat mengisi bagian substrat dengan baik, pre-heat substrat yang kurang maksimal juga dapat menyebabkan material tidak menempel pada substrat dan tidak dilakukan pre-heat pada serbuk sehingga kandungan air pada serbuk berubah menjadi uap air dan terjadi terperangkapnya gas pada lapisan. Dari hasil pengamatan struktur mikro dan pengujian flattening tes yang mana hasil coating terlepas secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa ikatan kurang berhasil dan serbuk NiCrBSi tidak melekat dengan baik.

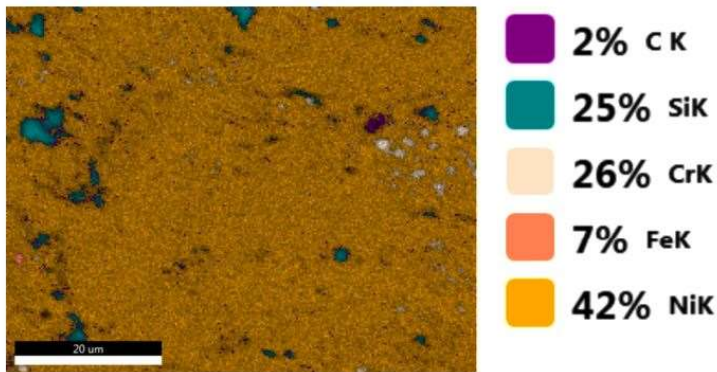


Gambar 4. 18 Lokasi Mapping

Mapping adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui unsur yang terkandung pada hasil coating. Proses mapping yang dilakukan ini berada pada lapisan atas coating (top coat). Adapun persentase yang didapatkan dari hasil mapping ini adalah Ni sebesar 42%, Serbuk pelapis Ni biasanya memiliki ikatan Ni-B-Si dengan penambahan elemen

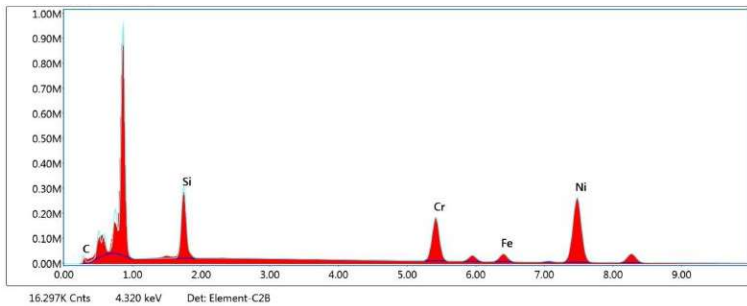


paduan lainnya. Boron (B) akan menurunkan titik leleh dari Ni dan akan hilang pada saat proses spraying. Nickel (Ni) digunakan pada pengaplikasian ketika ketahanan aus dikombinasikan dengan ketahanan oksidasi atau ketahanan korosi pada temperature tinggi diperlukan. Cr sebesar 26%, Chromium (Cr) akan menaikkan ketahanan oksidasi dan ketahanan korosi pada temperature tinggi dan menaikkan kekerasan pelapisan dengan bentukan fasa yang keras. Si sebesar 25%, Silikon (Si) ditambahkan untuk meningkatkan sifat *self-fluxing*. Fe sebesar 7% dan C sebesar 2%.



Gambar 4. 19 Hasil mapping

Dari data diatas dapat dilihat persentase berat dari masing-masing unsur. Hasil coating didominasi oleh Ni yang memiliki persentase berat sebesar 67,09%. Ini sesuai dengan sifat dari serbuk Diamalloy 2001 yang merupakan Nickel based. Persentase berat Cr dan Fe sebesar 17,77% dan 4,72%. Persentase berat Si dan C sebesar 8,02% dan 2,4%. Persentase Si dan C ini lebih besar dari persentase berat pada komposisi kimia Diamalloy 2001 karena adanya pencampuran serbuk SiC sehingga persentase bertambah.

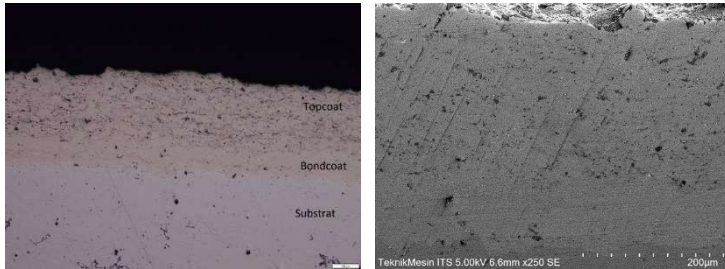


**Smart Quant Results**

| Element | Weight % | Atomic % | Net Int. | Error % | Kratio | Z      | A      | F      |
|---------|----------|----------|----------|---------|--------|--------|--------|--------|
| C K     | 2.40     | 9.73     | 106.24   | 9.75    | 0.0055 | 1.3135 | 0.1756 | 1.0000 |
| Si K    | 8.02     | 13.90    | 1587.51  | 6.09    | 0.0490 | 1.1441 | 0.5326 | 1.0021 |
| Cr K    | 17.77    | 16.64    | 1527.60  | 2.44    | 0.1810 | 0.9719 | 0.9868 | 1.0617 |
| Fe K    | 4.72     | 4.12     | 293.49   | 3.28    | 0.0490 | 0.9667 | 0.9748 | 1.1015 |
| Ni K    | 67.09    | 55.62    | 2619.42  | 2.80    | 0.6464 | 0.9758 | 0.9844 | 1.0030 |

Gambar 4. 20 Hasil EDS 50 mikron

#### 4.5.2 Analisis Data Pengamatan Struktur Mikro NiCrBSi-30SiC 37 $\mu$ m



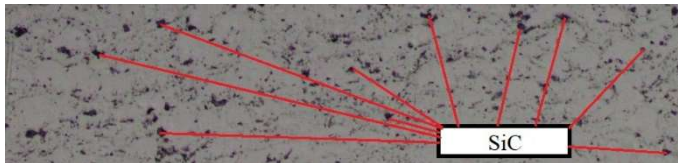
Gambar 4. 21 Struktur lapisan coating dengan SiC 37  $\mu$ m

Dari pengamatan struktur mikro pada specimen (NiCrBSi-30SiC) dengan ukuran partikel SiC sebesar 37 Mikron dapat dilihat bahwa ketebalan lapisan didapat sekitar 400-450 mikro meter dengan ketebalan bondcoat sekitar 110-150 mikron dan top coat 200-300 mikron. Terdapat beberapa porositas pada lapisan coating. Adapun penyebab terjadinya porositas pada hal ini diantaranya adalah

Tidak dilakukan proses pre heating pada material pelapis yang sudah disimpan lama sehingga dimungkinkan terdapat kandungan air pada material dikarenakan kelembaban. Sehingga pada saat dilakukan penyemprotan, air yang terkandung pada material pelapis berubah fasa menjadi uap air dan terjadi gas trapping pada struktur lapisan. Dan untuk material yang memiliki ukuran partikel lebih kecil proses pemanasan material harus lebih lama. Hamburnya serbuk SiC karena ukuran yang terlalu kecil sehingga keluar dari lintasan juga dapat mempengaruhi terjadinya porositas pada proses pelapisan ini.

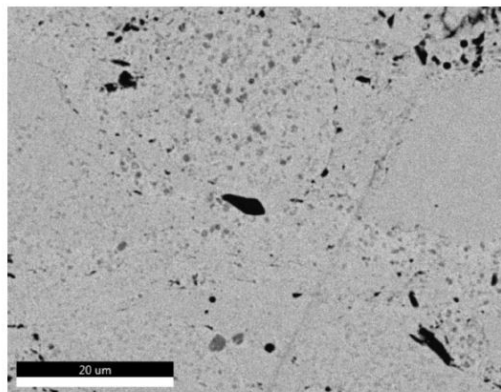
Dapat dilihat bahwa lapisan dengan ukuran partikel SiC yang lebih kecil ini menghasilkan lapisan yang lebih padat dengan sedikit porositas karena ukuran partikel yang kecil dapat mengisi ruang yang lebih kecil. Sehingga dapat

meningkatkan nilai kekerasan lapisan coating tersebut. Sedangkan pada bagian top coat terdapat banyak bintang-bintik hitam dimungkinkan hal tersebut adalah SiC.



Gambar 4. 22 Persebaran SiC

Pada daerah interface antara lapisan substart dan bondcoat dapat dilihat bahwa ikatan yang terjadi sangat baik menunjukkan bahwa ikatan mekanik (*mechanical bonding*) dan tidak terlihat adanya cracking. Jika dilihat dari struktur ikatannya yang saling mengikat (*interlocking*) antara lapisan dan substrat dapat disimpulkan bahwa proses roughning dengan menggunakan grit blasting pada permukaan substrat telah berhasil. Hasil dari ikatan yang baik ini juga membuktikan bahwa binder NiCrBSi telah mampu melekat dengan baik sebagaimana mestinya.



Gambar 4. 23 Lokasi Mapping

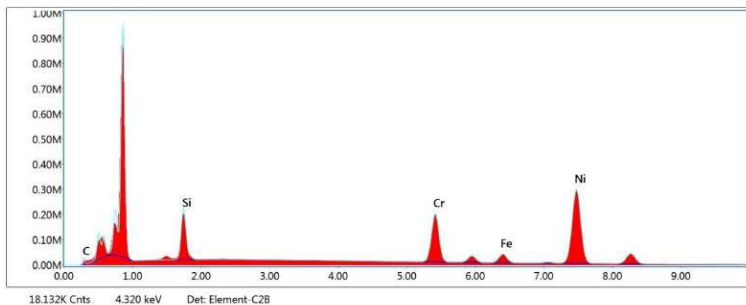
Mapping adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui unsur yang terkandung pada hasil coating. Proses mapping yang dilakukan ini berada pada lapisan atas coating (top coat). Adapun persentase yang didapatkan dari hasil mapping ini adalah Ni sebesar 46%, Serbuk pelapis Ni biasanya memiliki ikatan Ni-B-Si dengan penambahan elemen paduan lainnya. Boron (B) akan menurunkan titik leleh dari Ni dan akan hilang pada saat proses spraying. Nickel (Ni) digunakan pada pengaplikasian ketika ketahanan aus dikombinasikan dengan ketahanan oksidasi atau ketahanan korosi pada temperature tinggi diperlukan. Cr sebesar 27%, Chromium (Cr) akan menaikkan ketahanan oksidasi dan ketahanan korosi pada temperature tinggi dan menaikkan kekerasan pelapisan dengan bentukan fasa yang keras. Si sebesar 19%, Silikon (Si) ditambahkan untuk meningkatkan sifat *self-fluxing*. Fe sebesar 7% dan C sebesar 1%.



Gambar 4. 24 Hasil Mapping

Dari data diatas dapat dilihat persentase berat dari masing-masing unsur. Hasil coating didominasi oleh Ni yang memiliki persentase berat sebesar 70,09%. Ini sesuai dengan sifat dari serbuk Diamalloy yang merupakan Nikel based.

Persentase berat Cr dan Fe sebesar 17,98% dan 4,77%. Persentase berat Si dan C sebesar 5,36% dan 1,79%. Persentase Si dan C ini lebih sedikit jika dibandingkan dengan specimen yang menggunakan serbuk SiC lebih besar. Hal ini dapat disebabkan karena pada saat proses spraying serbuk SiC berhamburan tidak menuju substrat sehingga kadar SiC lebih sedikit.



#### Smart Quant Results

| Element | Weight % | Atomic % | Net Int. | Error % | Kratio | Z      | A      | F      |
|---------|----------|----------|----------|---------|--------|--------|--------|--------|
| C K     | 1.79     | 7.60     | 82.59    | 9.73    | 0.0043 | 1.3216 | 0.1812 | 1.0000 |
| SiK     | 5.36     | 9.72     | 1049.13  | 6.21    | 0.0323 | 1.1514 | 0.5212 | 1.0022 |
| CrK     | 17.98    | 17.59    | 1563.11  | 2.44    | 0.1845 | 0.9788 | 0.9869 | 1.0625 |
| FeK     | 4.77     | 4.35     | 300.17   | 3.28    | 0.0500 | 0.9737 | 0.9745 | 1.1028 |
| NIK     | 70.09    | 60.74    | 2765.10  | 2.79    | 0.6800 | 0.9833 | 0.9842 | 1.0026 |

Gambar 4. 25 Hasil EDS 37 Mikron

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang didapat dari penelitian analisis pengaruh ukuran partikel SiC sebesar 50 $\mu$ m dan 37 $\mu$ m dalam proses pelapisan dengan metode HVOF adalah :

1. Pengecilan ukuran serbuk SiC dapat meningkatkan nilai kekerasan dari lapisan. Nilai kekerasan lapisan dengan ukuran partikel SiC 37  $\mu$ m dapat mencapai 782 Hv.
2. Dari data hasil pengujian thermal oksidasi dapat disimpulkan bahwa proses coating terbukti dapat menurunkan laju oksidasi.
3. Lapisan coating NiCrBSi-30SiC dengan ukuran serbuk SiC 37 $\mu$ m memiliki lapisan yang lebih padat dan sedikit porositas. Hal ini dikarenakan ukuran serbuk yang lebih kecil lebih dapat mengisi seluruh ruang pada saat proses pelapisan.

#### **5.2 Saran**

Beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Melakukan proses pre-heating pada material pelapis yang telah lama disimpan sebelum proses pelapisan. Hal ini penting dilakukan untuk menghindari munculnya porositas pada lapisan.
2. Menggunakan prosedur penyemprotan otomatis menggunakan bantuan lengan robot pada proses *spraying* agar didapatkan hasil yang seragam dari sisi ketebalan lapisan maupun kualitas lapisan.
3. Pada penggunaan perbedaan ukuran partikel SiC sebaiknya membeli dari produsen agar mendapatkan serbuk yang lebih baik dan menghasilkan lapisan yang lebih baik pula.





## DAFTAR PUSTAKA

- Pawlowski L, “*The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings*”, Second Edition, France, 2008.
- Davis J.R, Davis & Associates, “*Handbook of Thermal Spray Technology*”, 2004
- Mustofa Hilmi, “ANALISIS STRUKTUR MIKRO, NILAI KEKERASAN DAN KETAHANAN OKSIDASI CAMPURAN NiCrBSi-40SiC, NiCrBSi-40WC-Co DAN Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-20NiCr PADA PROSES PELAPISAN HVOF”, 2018
- Dhio Dharu N. “ANALISIS PENGARUH PERSENTASE SiC PADA PELAPIS NiCrBSi-SiC TERHADAP STRUKTUR MIKRO, KEKERASAN DAN KETAHANAN OKSIDASI LAPISAN PADA PROSES PELAPISAN HVOF”, 2018
- Simamora, Sartika M.S, 2013. Pembuatan Silikon Karbida (SiC) dari Pasir Silika (SiO<sub>2</sub>) dan Karbon (C) dengan Kapasitas 30.000 Ton/Tahun, Teknik Kimia USU,
- Diani Yan. 2017. “Application of Thermal Spray Techniques for Combatting High Temperature Corrosion of WTE Superheater Tubes”.
- Teguh Santoso. 2008. “PENGARUH MIKROSTRUKTUR TERHADAP KEKERASAN PADA LAPISAN WC-17%Co BERBAHAN BUBUK JK 7117 DAN JK 7184 HASIL TEKNIK HVOF DENGAN VARIASI TEKANAN  $\frac{C}{H/O}$  ”.
- M.R. Ramesh, S. Prakash, S.K. Nath, Pawan Kumar Sapra, and N. Krishnamurthy. September 2011. “Evaluation of Thermocyclic Oxidation Behavior of HVOF-Sprayed NiCrFeSiB Coatings on Boiler Tube Steels”. Journal of Thermal Spray Technology 992-Volume 20.
- Putu Ditha P. 2017. “PENGARUH TEKANAN GAS TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN MORFOLOGI LAPISAN COATING PENCAMPURAN FeCrBMnSi

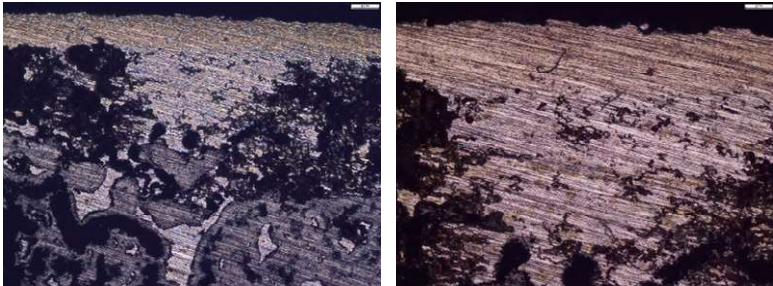
DAN Ni-Al PADA BAJA AISI 4140 DENGAN METODE TWIN WIRE ARC SPRAY”.

- E. Martides, B. Prawara, H. Ardy, E. Junianto, and B. Priyono. 2016. “THE INFLUENCE OF PARTICLE SIZE AND COMPOSITION VARIATION OF NiCr-CrC(20NiCr) METAL MATRIX COMPOSITES COATING PROPERTIES ON BOILER TUBES APPLICATION”.
- P. Y. Hou. 2010. “Oxidation of Metals and Alloys”. Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley, USA.

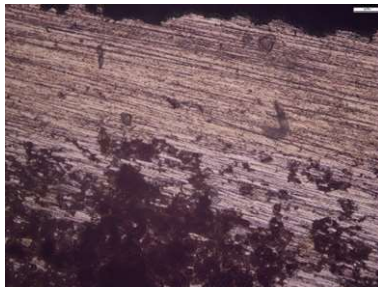
## LAMPIRAN

### Thermal Oksidasi

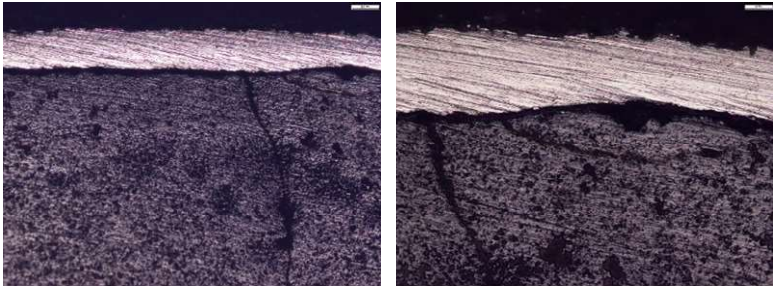
Setelah dilakukan siklus oksidasi thermal sebanyak 6 kali siklus, kemudian dilakukan foto mikroskop guna melihat hasil oksidasi pada spesimen. Sebelum dilakukan foto mikroskop, spesimen dilakukan proses grinding. Sebagian lapisan oksidasi ada yang terlepas ada yang masih menempel pada spesimen.



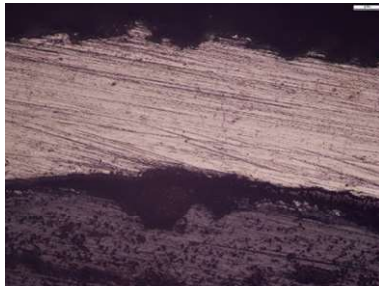
SiC 37 $\mu$ m perbesaran 5x (kiri) dan perbesaran 10x (kanan)



SiC 37 $\mu$ m perbesaran 20x



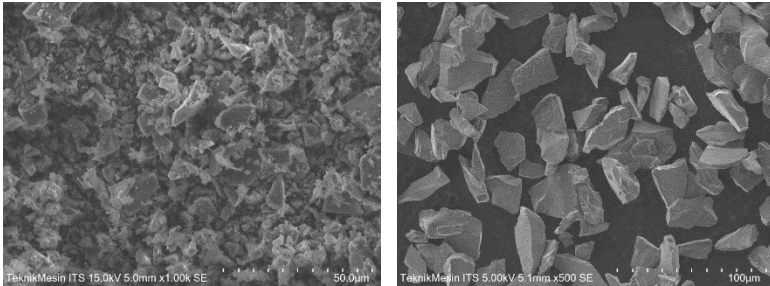
SiC 50 $\mu$ m perbesaran 5x (kiri) dan perbesaran 10x (kanan)



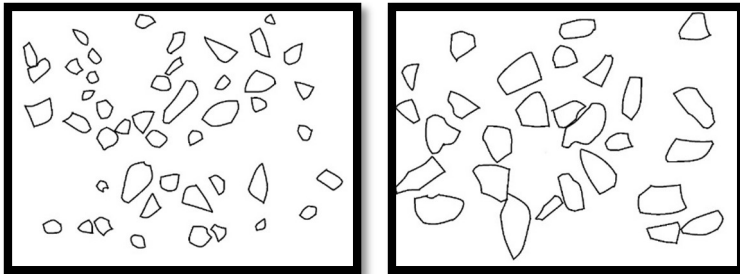
SiC 50 $\mu$ m perbesaran 20x

## Mengukur Partikel SiC

Serbuk SiC di foto menggunakan Sem hingga terlihat morfologi dan luas partikelnya

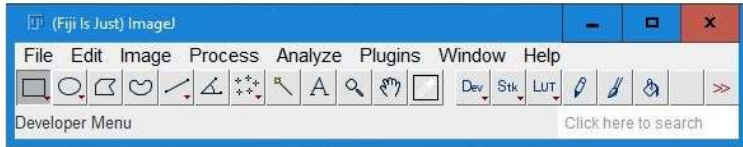


Gambar SiC 37 dan 50  $\mu\text{m}$  menggunakan SEM

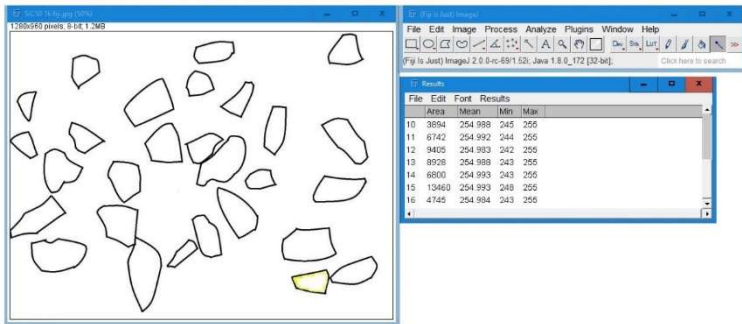


Gambar SiC 37 dan 50  $\mu\text{m}$  yang telah di blok luasan areanya

Menggunakan software *ImageJ* untuk mengukur luas area dari setiap partikel



Gambar Software ImageJ



Gambar Proses pengukuran luas menggunakan software ImageJ

Setelah didapatkan data luas area partikel, kemudian dilakukan penghitungan diameter dengan rumus luas lingkaran pada Ms. excel.

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

Sehingga

$$d = \sqrt{A \cdot \frac{4}{\pi}}$$

Tabel ukuran serbuk SiC

| d SiC 50 $\mu$ m |         | d SiC 37 $\mu$ m |         |
|------------------|---------|------------------|---------|
| 17.4315          | 18.2179 | 5.42605          | 5.14243 |
| 11.8159          | 15.8065 | 6.45711          | 4.51099 |
| 13.6421          | 17.5362 | 8.39206          | 11.1149 |
| 23.079           | 26.8758 | 5.11324          | 5.77685 |
| 16.4989          | 24.1026 | 3.96047          | 4.39789 |
| 22.5181          | 19.8691 | 4.50972          | 6.0194  |
| 26.845           | 12.0783 | 6.48781          | 5.91726 |
| 24.6254          | 14.2357 | 4.09629          | 6.43973 |
| 22.042           | 19.4636 | 3.91616          | 4.99388 |
| 28.7562          | 18.9823 | 3.53923          | 5.4728  |
| 22.9854          | 23.2587 | 3.08272          | 3.95886 |
| 26.3833          | 22.3123 | 5.55746          | 5.59982 |
| 15.3527          | 27.1117 | 6.7371           | 10.13   |

Setelah didapatkan data ukuran serbuk SiC, kemudian dilakukan analisa data pada Ms. Excel menggunakan histogram.

## BIODATA PENULIS



**I MADE KRISNA WIDYANATA**, anak kedua dari dua bersaudara ini adalah putra dari pasangan bapak Ir. I Wayan Widana dan ibu Ir. Ni Ketut Kurniati. Lahir di Gresik pada tanggal 08 Desember 1994. Penulis telah menempuh pendidikan formal antara lain : SDN Sidokumpul 2 Gresik (2001-2007), SMPN 2 Gresik (2007-2010), SMAN 1 Gresik (2010-2013), D3 Teknik Mesin FTI-ITS Surabaya dengan mengambil bidang studi

Manufaktur (2013-2016). Penulis juga sempat melaksanakan Kerja Praktek di PT. Barata Indonesia di Gresik. Setelah lulus jenjang pendidikan Diploma Teknik Mesin, penulis melanjutkan pendidikan S-1 di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2016. Di departemen Teknik Mesin ITS penulis mengambil konsentrasi di bidang studi Metallurgi.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail [kwidyanata@gmail.com](mailto:kwidyanata@gmail.com)