

**PENGARUH MIKROSTRUKTUR TERHADAP KEKERASAN PADA
LAPISAN WC-17%Co BERBAHAN BUBUK JK 7117 DAN JK 7184 HASIL
TEKNIK HVOF DENGAN VARIASI TEKANAN C_3H_8/O_2**



TESIS

**TEGUH SANTOSO
6305220424**

**PROGRAM PASCASARJANA FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS INDONESIA
DEPOK
2008**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH MIKROSTRUKTUR TERHADAP KEKERASAN PADA
LAPISAN WC-17%Co BERBAHAN BUBUK JK 7117 DAN JK 7184 HASIL
TEKNIK HVOF DENGAN VARIASI TEKANAN C_3H_8/O_2**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat utama memperoleh gelar Magister Sains

**TEGUH SANTOSO
6305220424**

**Kekhususan Fisika Murni Dan Terapan
Program Studi Pascasarjana
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Indonesia
Depok, 2008**

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Teguh Santoso
NPM : 6305220424
Program Studi : Magister Fisika
Judul Tesis : Pengaruh Mikrostruktur Terhadap Kekerasan pada Lapisan WC-17%Co Berbahan Bubuk JK 7117 dan JK 7184 Hasil Teknik HVOF (*High Velocity Oxy - Fuel*) dengan Variasi Tekanan C_3H_8/O_2

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Studi Magister Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Dr. rer.nat. Kebamoto :

Pembimbing 2 : Dr. Muhammad Hikam :

Penguji : Dr. Bambang Soegijono :

Penguji : Dr. Budhy Kurniawan :

Penguji : Dr. Agus Salam :

Mengetahui
Ketua Program Studi Magister Fisika
FMIPA UI

Dr. Dedi Suyanto
NIP:130 935 271

Tanggal Lulus : **26 April 2008**

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia-Nya sehingga penulisan tesis ini dapat kami selesaikan dengan judul **“Pengaruh Mikrostruktur Terhadap Kekerasan pada Lapisan WC-17%Co Berbahan Bubuk JK 7117 dan JK 7184 Hasil Teknik HVOF dengan Variasi Tekanan C_3H_8/O_2 ”** Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi banyak orang dan khususnya bagi penulis.

Tesis ini merupakan tugas akhir dari rangkaian perjalanan panjang penulis selama mengikuti perkuliahan di Universitas Indonesia dan ditulis untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai gelar kesarjanaan. Dalam setiap penyelesaian tugas tentunya ada kendala yang harus dilalui, demikian juga halnya dengan penyelesaian tugas akhir ini saya menemui halangan secara pribadi antara lain kesibukan pekerjaan kantor sehari-hari, namun berkat bantuan serta bimbingan semua pihak, tugas akhir ini dapat diselesaikan.

Pada kesempatan ini, kami menghaturkan banyak terimakasih atas bantuannya, khususnya kepada:

1. Bapak Dr. rer.nat Kebamoto selaku pembimbing I dalam pengerjaan tugas ini. Beliau sangat membantu banyak tanpa kenal lelah dalam melahirkan gagasan dan ide-ide dalam pengerjaan penelitian ini.
2. Bapak Dr.M.Hikam selaku pembimbing II dalam pengerjaan tugas ini. Beliau banyak mengajarkan filsafat hidup yang sederhana penuh makna.
3. Bapak Dr. Dedi Suyanto selaku Ketua Program Studi Pasca Sarjana Fisika FMIPA, Universitas Indonesia.
4. Bapak Trisna, General Manager, PT.Teknokrafindo Asia yang telah memberi izin untuk dapat melakukan penelitian di workshopnya.
5. Bapak Sidik Latuconsina, Manager Produksi, PT. Teknokrafindo Asia atas bantuan teknis selama pengambilan sampel penelitian.
6. Bapak Zaenal & Bpk.Wisnu atas bantuannya dalam preparasi sampel uji.
7. Bapak Dr.Yunus Daud dosen Geofisik yang selalu memberi support.
8. Buat Sahabatku *Hendro n Rho* yang ikut direpotkan terima kasih banyak.
9. Teman-teman *S-2 UI* senasib & *‘wong pitu cs’* yang telah banyak memberi inspirasiku : *Agus Santosa, Sentot Imam Suwarji, Agustinus Arif Sartono, Aries Resdhian, Dermawan Saragih Santoso, dan Moh. Manan.*
10. Terima kasih tak hingga buat Kedua Orang tua, Isteri dan Anak-anakku yang selalu memberi dukungan penuh sampai bisa lulus.
11. Semua sivitas dan pimpinan *SMPN32* yang memberi waktu untuk kuliah.
12. Karya ini aku persembahkan buat ketiga anak-anakku *tersayang Nabila Zalfatetania, Haikal Aufateta & Labana Kaulikateta serta isteri ‘Tati.J’*

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu masukan berupa kritik dan saran sangat diharapkan untuk pengembangan penulisan yang lebih baik lagi.

Depok , 26 April 2008
Penulis

**LEMBAR PERNYATAAN PERSUTUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Teguh Santoso
NPM : 6305220424
Program Studi : Magister Fisika
Fakultas : Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Tesis

Demi Pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif** (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

PENGARUH MIKROSTRUKTUR TERHADAP KEKERASAN PADA LAPISAN WC-17%Co BERBAHAN BUBUK JK 7117 DAN JK 7184 HASIL TEKNIK HVOF (*HIGH VELOCITY OXYGEN FUEL*) DENGAN VARIASI TEKANAN C₃H₈/O₂

Beserta perangkat yang ada (bila diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengolahnya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini menjadi tanggung jawab saya pribadi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 26 April 2008
Yang menyatakan,

(Teguh Santoso)

ABSTRAK

Nama : Teguh Santoso
Program Studi : Pasca Sarjana Fisika
Judul : Pengaruh Mikrostruktur Terhadap Kekerasan pada Lapisan WC-17%Co Berbahan Bubuk JK7117 dan JK7184 Hasil Teknik HVOF dengan Variasi Tekanan C_3H_8/O_2

Telah dilakukan sintesis dan karakterisasi lapisan dari bahan dasar bubuk JK 7117 dan JK 7184 dengan menggunakan Metode High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) Thermal Spray Coating. Hasil pengukuran dengan difraksi sinar-x (XRD) menunjukkan bahwa lapisan dari JK 7117 Powder memiliki dua fasa, yaitu fasa Tungsten Carbida (WC), dan fasa Cobalt (Co) yang disebut dengan lapisan WC/Co. Sedangkan lapisan dari JK 7184 Powder memiliki tiga fasa, yaitu fasa Chromium Cobalt (CrCo), fasa Tungsten Carbida (WC) dan fasa Cobalt (Co) yang disebut dengan lapisan WC/CrCo/Co. Hasil foto dengan scanning electron microscope (SEM) lapisan WC/Co menunjukkan bahwa butir-butir kristal memiliki dua bentuk warna yang sangat kontras, sedangkan lapisan WC/CrCo/Co memiliki tiga bentuk warna yang sangat kontras. Analisis mikrostruktur lapisan menunjukkan bahwa variasi tekanan oksigen dan tekanan propana menghasilkan rasio ukuran diameter grain yang bervariasi. Kekerasan tertinggi pada lapisan WC/Co diperoleh dengan komposisi optimum rasio ukuran diameter grain WC/Co=12 sedangkan lapisan WC/CrCo/Co pada rasio ukuran diameter grain Co/CrCo=3. Jadi disimpulkan bahwa rasio ukuran diameter grain WC/Co=12 dan Co/CrCo=3 merupakan komposisi rasio ukuran diameter grain yang paling optimum untuk mendapatkan nilai kekerasan yang paling tinggi pada kedua lapisan ini dengan menggunakan metode High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) Thermal Spray Coating.

Kata kunci : HVOF, mikrostruktur, rasio ukuran diameter grain, kekerasan

ABSTRACT

Name : Teguh Santoso
Study Programe : Magister of Physics
Title : Influence of Microstructure on the Hardness at Coating WC-17%Co by Using HVOF Method with Various of C₃H₈/O₂ Pressure

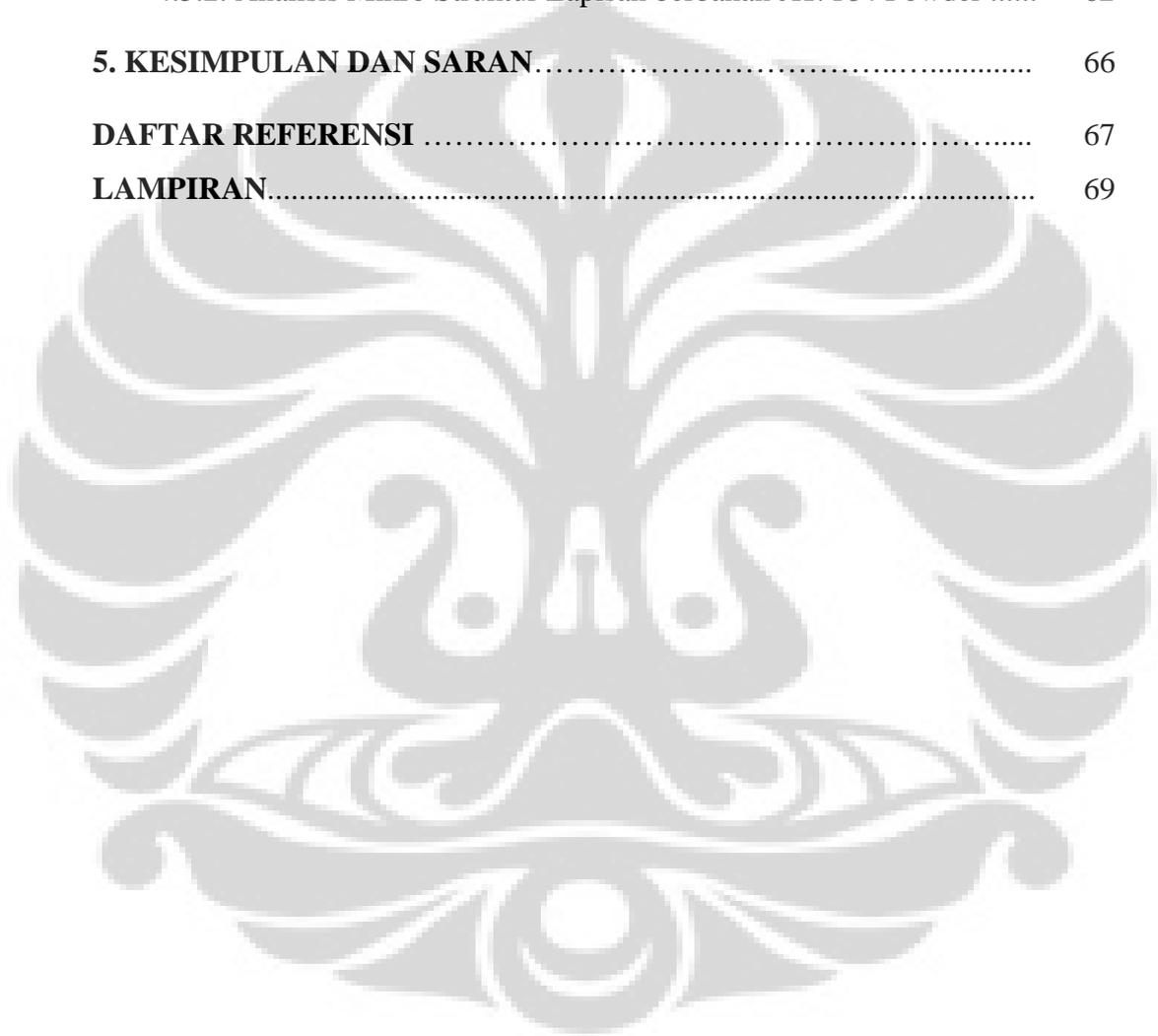
Synthesis and characterization of coat from the elementary materials of JK 7117 and JK 7184 powder by using High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) Thermal Spray Coating Method with various of C₃H₈/O₂ pressure have been performed. The result of x-ray diffraction measurement (XRD) indicate that the coat from JK 7117 powder have double phases, that are Tungsten Carbide phase (WC), and Cobalt phase (Co), and then namely WC/Co coat. And the coats from JK 7184 powder have triple phases, i.e. Chromium Cobalt phase (CrCo), Tungsten Carbide phase (WC), and Cobalt phase (Co), and then namely WC/CrCo/Co coat. The mass fraction of Chromium Cobalt phase increase and Tungsten Carbide phase decrease, while the mass fraction of Cobalt not change (constant) with increasing of pressure ratio of propane and oxygen. The result of photo with the scanning electron microscope (SEM) showed that the particles have two color form for WC/Co coat and three color for WC/CrCo/Co. The analysis of microstructure show that the various of propane and oxygen pressure result the ratio of different grain diameter size. And the result of hardness measurement indicate that the highest hardness of coat have the ratio of grain diameter size WC/Co = 12 and Co/CrCo = 3 for WC/Co coat and WC/CrCo/Co coat, respectively. We concluded that the ratio of WC/Co = 12 for WC/Co coat and Co/CrCo = 3 for WC/CrCo/Co coat represent the most optimum ratio composition of diameter grain size to get highest hardness value at this coat by using High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) Thermal Spray Coating method.

Keyword : HVOF, microstructure, diameter ratio of grain size, hardness.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Metoda Penelitian.....	2
1.4 Pembatasan Masalah.....	2
1.5 Terminologi.....	2
2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Thermal Spray	4
2.1.1 Pemanasan listrik	6
2.1.1.1 Proses busur listrik (<i>Electrical Arc Pprocess</i>).....	6
2.1.1.2 Proses busur plasma (<i>Plasma Arc Pprocess</i>).....	7
2.1.1.3 Proses semprot plasma tekanan rendah.....	8
2.1.2 Pemanasan Pijar	8
2.1.2.1 Proses penyemprotan pijar(<i>flame spraying process</i>)	8
2.1.2.2 Proses semprot dan Fusi	9
2.1.2.3 Proses HVOF (<i>HVOF thermal spray process</i>).....	9
2.2 Ukuran Butir	11
2.3 Detektor Elektron	13
3. METODE PENELITIAN	15
3.1 Langkah Penelitian	15
3.2 Proses penelitian.....	15
3.2.1 Persiapan pembuatan sampel penelitian.....	15
3.2.1.1 Preparasi Lapisan dari Bahan JK 7117 Powder	15
3.2.1.2 Preparasi Lapisan dari Bahan JK 7184 Powder	17
3.2.2 Bahan pelapis Tungsten Carbide dan Cobalt	17
3.2.3 Mikroskop Optik	18
3.2.4 SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>)	19
3.2.5 EDX (<i>Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i>).....	20
3.2.5.1 Karakteristik Sinar-X.....	20
3.2.5.2 Nomenklatur	21
3.2.5.3 Spektrum Sinar-X	21
3.2.6 Microhardness Vickers	23
3.3 Diagram Alur Penelitian	25

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN	26
4.1. Hasil Preparasi Lapisan	26
4.2. Karakterisasi mikrostruktur dengan SEM dan EDX	28
4.2.1 Analisis Morfologi Lapisan dari Bahan JK 7117 Powder.....	37
4.2.2 Analisis Morfologi Lapisan dari Bahan JK 7184 Powder.....	47
4.3. Perhitungan ukuran kristalit dengan Formula Debye – Shcerrer.....	55
4.4. Karakterisasi Kekerasan	57
4.5. Pembahasan Hasil Penelitian	59
4.5.1. Analisis Mikro Struktur Lapisan berbahan JK7117 Powder	59
4.5.2. Analisis Mikro Struktur Lapisan berbahan JK7184 Powder	62
5. KESIMPULAN DAN SARAN	66
DAFTAR REFERENSI	67
LAMPIRAN	69



DAFTAR TABEL

	Hal	
Tabel 2.1	Jenis proses thermal spray untuk industri	4
Tabel 2.2	Perbandingan Jenis-jenis thermal spray dan sifat-sifatnya	4
Tabel 2.3	Beberapa jenis paduan bahan pelapis WC-Co pada HVOF	5
Tabel 4.1	Unsur-unsur yang terkandung di dalam bahan dasar lapisan	26
Tabel 4.2	Kondisi preparasi awal lapisan dengan metode HVOF	27
Tabel 4.3	Data ketebalan lapisan berdasarkan rasio tekanan Oxygen terhadap tekanan Propana	32
Tabel 4.4	Besarnya unsur-unsur yang terkandung di dalam lapisan	36
Tabel 4.5	Besarnya unsur-unsur yang terkandung di dalam lapisan	39
Tabel 4.6	Hasil perhitungan ukuran grain	56
Tabel 4.7	Perbandingan ukuran grain untuk bahan JK7117 Powder	56
Tabel 4.8	Perbandingan ukuran grain untuk bahan JK7184 Powder	57
Tabel 4.9	Hasil pengukuran kekerasan untuk bahan JK7117 Powder	58
Tabel 4.10	Hasil pengukuran kekerasan untuk bahan JK7184 Powder	58

DAFTAR GAMBAR

		Hal
Gambar 2.1	Beberapa bagian teknik pelapisan deposisi [Bushan, Gupta – 1991]	6
Gambar 2.2	Skema dari proses pemanasan busur listrik	7
Gambar 2.3	Skema dari proses pemanasan busur plasma	7
Gambar 2.4	Skema proses penyemprotan plasma tekanan rendah	8
Gambar 2.5	Penampang suluh semprot pijar tipe kawat	9
Gambar 2.6	HVOF jenis suluh detonasi (<i>detonation gun</i>)	10
Gambar 2.7	HVOF jenis pembakaran kontinyu (<i>continuous combustion</i>)	11
Gambar 2.8	Grafik hubungan ukuran butir terhadap kekerasan	12
Gambar 2.9	Perbandingan Variabel-variabel mikrostruktur dari material fasa tunggal	12
Gambar 2.10	Foto SEM dengan detektor <i>Secondary Elektron</i>	13
Gambar 2.11	Foto SEM dengan detektor <i>Backscattered Elektron</i>	14
Gambar 3.1	Substrat untuk pembuatan sampel	15
Gambar 3.2	Substrat yang sudah diblasting	16
Gambar 3.3	Tebal kekasaran substrat setelah diblasting	16
Gambar 3.4	Proses pelapisan pada substrat	17
Gambar 3.5	Komponen prinsip dari mikroskop optik pantul	19
Gambar 3.6	Skema dasar <i>Scanning elektron microscope (SEM)</i>	20
Gambar 3.7	Kulit atom dan tingkat-tingkat transisi	21
Gambar 3.8	Spektrum sinar-x dari beberapa unsur sebagai hasil EDX	22
Gambar 3.9	Foto perangkat SEM, CMPFA Metalurgi UI	23
Gambar 3.10	Skema perhitungan <i>hardness</i> .	23
Gambar 3.11	Diagram alur penelitian	25
Gambar 4.1	Hasil preparasi lapisan sampel dengan foto microscope optik	27
Gambar 4.2	Foto microscope optik dari lapisan pada perbesaran 500x	28
Gambar 4.3	Foto microscope optik dari substrat	28

Gambar 4.4	Foto SEM perbesaran 500x untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 5,1	29
Gambar 4.5	Foto SEM perbesaran 1000x untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 5,8	30
Gambar 4.6	Foto SEM perbesaran 700x tekanan Oxygen terhadap Propana 6.0	30
Gambar 4.7	Foto SEM pada perbesaran 1200x untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,3	31
Gambar 4.8	SEM pada perbesaran 500x untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,7	31
Gambar 4.9	Foto SEM pada perbesaran 1000x untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 5,1	32
Gambar 4.10	Foto SEM pada perbesaran 1500x untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 5,9	33
Gambar 4.11	Foto SEM pada perbesaran 1200x untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 5,9	33
Gambar 4.12	Foto SEM pada perbesaran 1500x untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6.3	34
Gambar 4.13	Foto SEM pada perbesaran 1500x untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,7	34
Gambar 4.14	Foto SEM <i>Backscattered Elektrons</i> perbesaran 500x pada lapisan dengan komposisi rasio tekanan Oxygen/Propana 5.1	35
Gambar 4.15	Hasil analisis EDX komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap tekanan Propana 5.1	36
Gambar 4.16	Foto SEM di Batan dengan perbesaran 500x	37
Gambar 4.17	Grafik kandungan unsur vs %berat unsur hasil foto SEM	38
Gambar 4.18	Hasil analisis EDX komposisi rasio tekanan Oxygen/ Propana 5.1	38
Gambar 4.19	Hasil analisis fraksi massa komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 5.1	39
Gambar 4.20	Foto SEM <i>Backscattered Elektrons</i> perbesaran 500x pada lapisan dengan komposisi rasio tekanan Oxygen/Propana 5.9	40
Gambar 4.21	Grafik kandungan unsur vs %berat unsur hasil foto SEM dengan <i>Backscattered Elektrons</i> untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 5.9	40
Gambar 4.22	Hasil analisis fraksi massa untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 5,9	41

Gambar 4.23	Foto SEM <i>Backscattered Elektrons</i> perbesaran 500x pada lapisan dengan komposisi rasio tekanan Oxygen/Propana 6.0	42
Gambar 4.24	Grafik kandungan unsur vs %berat unsur hasil foto SEM dengan <i>Backscattered Elektrons</i> untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6.0	42
Gambar 4.25	Hasil analisis fraksi massa untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,0	43
Gambar 4.26	Foto SEM <i>Backscattered Elektrons</i> perbesaran 500x pada lapisan dengan komposisi rasio tekanan Oxygen/Propana 6.3	44
Gambar 4.27	Grafik kandungan unsur vs %berat unsur hasil foto SEM dengan <i>Backscattered Elektrons</i> untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6.3	44
Gambar 4.28	Hasil analisis fraksi massa untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,3	45
Gambar 4.29	Foto SEM <i>Backscattered Elektrons</i> perbesaran 500x pada lapisan dengan komposisi rasio tekanan Oxygen/Propana 6.7	46
Gambar 4.30	Grafik kandungan unsur vs % berat unsur hasil foto SEM dengan <i>Backscattered Elektrons</i> untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6.7	46
Gambar 4.31	Hasil analisis fraksi massa komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,7	47
Gambar 4.32	Foto SEM <i>Backscattered Elektrons</i> perbesaran 500x pada lapisan dengan komposisi rasio tekanan Oxygen/Propana 5.9	48
Gambar 4.33	Foto SEM dengan pebesaran 500x untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 5,9	48
Gambar 4.34	Hasil analisis fraksi massa untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 5,9	49
Gambar 4.35	Foto SEM <i>Backscattered Elektrons</i> perbesaran 500x pada lapisan dengan komposisi rasio tekanan Oxygen/Propana 6,0	50
Gambar 4.36	Foto SEM dengan pebesaran 500x untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,0	50
Gambar 4.37	Hasil analisis fraksi massa untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6.0	51
Gambar 4.38	Foto SEM <i>Backscattered Elektrons</i> perbesaran 500x pada lapisan dengan komposisi rasio tekanan Oxygen/Propana 6.3	52
Gambar 4.39	Foto SEM pada perbesaran 500x untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,3	52

Gambar 4.40	Hasil analisis fraksi massa untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6.3	53
Gambar 4.41	Foto SEM pada perbesaran 500x untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,7	54
Gambar 4.42	Foto SEM pada perbesaran 500x untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,7	54
Gambar 4.43	Hasil analisis fraksi massa untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6.7	55
Gambar 4.44	Fraksi massa pada lapisan dari bahan JK 7117 Powder	59
Gambar 4.45	Kerapatan atom pada fasa WC dan Co	60
Gambar 4.46	Kurva kekerasan terhadap rasio diameter grain	60
Gambar 4.47	Kurva kekerasan terhadap ukuran diameter grain Co	61
Gambar 4.48	Fraksi massa pada lapisan dari bahan JK 7184 Powder pada rasio diameter grain Co terhadap CrCo 3,75	62
Gambar 4.49	Kandungan % Fraksi massa Cobalt cenderung tetap pada lapisan dari bahan JK 7184 powder untuk rasio diameter grain Co terhadap CrCo.	63
Gambar 4.50	Kerapatan atom dan volume unit sel pada fasa CrCo	63
Gambar 4.51	Kerapatan atom dan volume unit sel pada fasa WC	64
Gambar 4.52	Kerapatan atom dan volume unit sel pada fasa Co	64

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Tuntutan kebutuhan industri telah banyak mempengaruhi perkembangan teknologi, salah satunya adalah pelapisan permukaan bahan (*coating*). Pelapisan dimaksudkan untuk melindungi permukaan material terhadap lingkungan yang mungkin menyebabkan korosi dan reaksi lain yang merusak, melindungi permukaan dari keausan akibat interaksi antara dua permukaan, memperbaiki sifat fisik dan mekanik dari material yang dilapisi dan tidak kalah pentingnya juga untuk meningkatkan tampilan permukaan [1]. Perubahan fasa dan perubahan ukuran diameter butir dapat dimodifikasi sesuai dengan keinginan dan akan mempengaruhi sifat material terutama kekerasan menjadi lebih baik [2-3].

Dengan mengubah struktur tentunya bertujuan untuk memperoleh sifat material atau barang industri yang jauh lebih unggul dan berkualitas dari yang ada saat ini. Sifat-sifat pada pembentukan mikrostruktur dari bahan material yang dihasilkan, diperoleh dari komposisi kimia, pengontrolan energi reaksi dan pengontrolan tekanan pada proses pengolahannya. Salah satu teknik yang digunakan untuk proses *coating* material yaitu dengan thermal spray HVOF berbahan bubuk JK7117 dan JK7184 WC-17%Co [4-5]. Tiga aspek yang dilakukan dalam pembentukan mikrostruktur : Pertama mengidentifikasi tiap tahap kristalografi yang dihasilkan pada pembentukan material. Kedua, morphology dari fasa ukuran material, distribusi dan pembentukan di dalamnya. Ketiga, komposisi kimia dan selanjutnya penentuan skala mikrostruktur [6].

1.2. Tujuan penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan :

Mengetahui sejauh mana pengaruh mikrostruktur dari lapisan WC-17%Co *HVOF thermal spray* berbahan bubuk JK 7117 dan JK 7184 dengan variasi tekanan C_3H_8 dan tekanan O_2 terhadap kekerasan lapisan.

1.3. Metode penelitian

Dalam melaksanakan penelitian ini, metode yang digunakan adalah :

1. Pembuatan sampel dilakukan dari pekerjaan proses pelapisan WC-17%Co bahan JK 7117 dan JK 7184 Powder menggunakan *HVOF thermal spray* di PT.Teknokraftindo Asia, Jakarta.
2. Membuat sampel berdasarkan variasi tekanan C_3H_8 dan tekanan O_2 .
3. Melakukan pemeriksaan ukuran butir struktur permukaan sampel dengan menggunakan mikroskop optik.
4. Melakukan pemeriksaan distribusi dan komposisi partikel yang terjadi dengan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*).
5. Melakukan pemeriksaan jenis unsur sampel dengan menggunakan EDX (*Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*).
6. Melakukan Uji Kekerasan dengan *Vickers Hardness tester*.

1.4. Batasan masalah

Pada penelitian ini yang dilakukan adalah hanya menentukan pengaruh rasio tekanan *Oxygen* dan tekanan *Propana* paling optimal terhadap terbentuknya mikrostruktur dengan tingkat kekerasan terbaik, dari proses pelapisan WC-17%Co tehnik *HVOF thermal spray*.

1.5. Hipotesa

Dengan melakukan variasi rasio tekanan *Oxygen* dan tekanan *Propana* paling optimal, pada proses pelapisan WC-17%Co dengan menggunakan thermal spray *HVOF* berbahan bubuk JK 7117 dan JK 7184 akan diperoleh mikrostruktur yang memiliki tingkat kekerasan terbaik.

1.6. Terminologi

Untuk memberikan keseragaman istilah dalam penyelesaian penelitian ini perlu disampaikan terminologi yang digunakan yaitu :

- ◆ Butir (grain): kumpulan beberapa kristal dengan arah tertentu.
- ◆ Partikel: kumpulan dari butir-butir, yang membentuk kesatuan dengan sifat fisis dan kimia tertentu..

- ◆ Nanopartikel: suatu partikel dengan ukuran 1nm–100 nm.
- ◆ Substrat : adalah base metal, yaitu metal yang dijadikan landasan bagi menempelnya lapisan.
- ◆ SEM dan EDX : Untuk mengetahui struktur mikro, komposisi pembentuk material dan persentasi kandungan unsurnya.
- ◆ Mikrostruktur : sifat fisis material pada skala mikrometer (μm).
- ◆ Tekanan C_3H_8 = Tekanan Propana.
- ◆ Tekanan O_2 = Tekanan Oxygen.



2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. 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*. Berbagai jenis proses thermal spray yang dipakai di industri pelapisan diantaranya terlihat pada Tabel 2.1 dan perbandingan jenis-jenis thermal spray berdasarkan proses dan sifat-sifatnya ditunjukkan dalam Tabel 2.2 berikut :

Tabel 2. 1 : Jenis proses thermal spray untuk industri [7-10]

No	Beberapa Jenis Proses Thermal Spray
1.	Combustion Wire Thermal Spray Process
2.	Combustion Powder Thermal Spray Process
3.	Arc Wire Thermal Spray Process
4.	Plasma Thermal Spray Process
5.	HVOF Thermal Spray Process
6.	Plasma Flame Theory
7.	Cold Spray Coating Process

Tabel 2. 2 : Perbandingan jenis-jenis thermal spray dan sifat-sifatnya[10]

Jenis Thermal Spray	Kecepatan Partikel (m/s)	Adhesi (MPa)	Oksida (%)	Porositas (%)	Laju Endapan (kg/jam)	Tebal Lapisan (mm)
Flame	40	<8	10-15	10-15	1-10	0.2-10
Arc	100	10-30	10-20	5-10	6-60	0.2-10
Plasma	200-300	20-70	1-3	5-10	1-5	0.2-2
HVOF	600-1000	70>	1-2	1-2	1-5	0.2-2

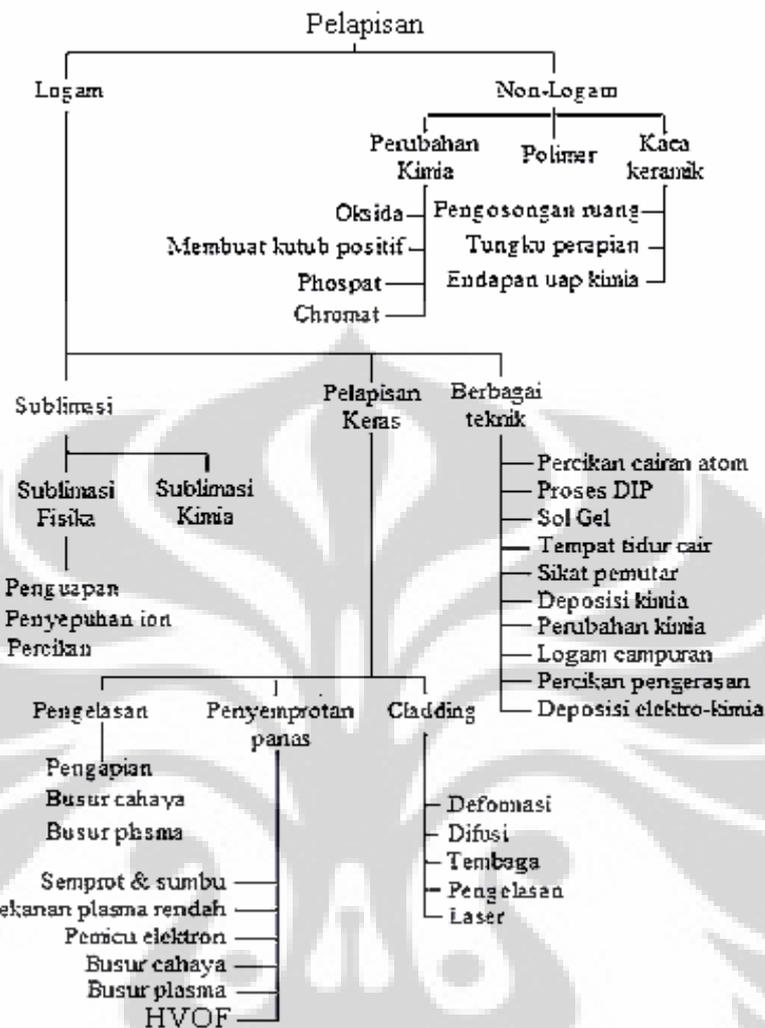
Untuk jenis thermal spray hvof ini terlihat mempunyai spesifikasi yang lebih unggul dibanding dengan yang lainnya, diantaranya hvof mempunyai kecepatan partikel antara 600-1000 m/s, adhesinya >70Mpa, kandungan oksida logam relatif kecil 1-2% sedang laju endapan 1-5 kg/jam dan menghasilkan ketebalan lapisan antara 0.2mm-2mm. Bahan pelapis tehnik HVOF dapat dipadu pada Tabel 2.3 :

Tabel 2.3 : Beberapa jenis paduan bahan pelapis WC-Co pada HVOF[11]

Paduan Bahan Pelapis HVOF	Komposisi %Berat Atom	Ukuran Partikel [x] (μm)
WC6Co	6%CoWC94%	45 < x < 175
WC12Co	12%CoWC88%	15 < x < 45
WC17Co	17%CoWC83%	15 < x < 45
WC20Co	20%Co80% WC	11 < x < 53
WC10Co4Cr	10%Co4%Cr WC86%	15 < x < 45
Cr3C2-25NiCr	75%Cr3C2 25%NiCr	15 < x < 45

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 [12].

Proses thermal spray telah banyak dimanfaatkan dalam semua sektor industri coating dan pemotongan, terutama untuk melindungi komponen-komponen material substrat. Untuk itu diperlukan pelapisan yang memiliki tingkat kekerasan lebih baik. Teknik pelapisan yang ada sekarang dapat dilihat pada Gambar 2.1



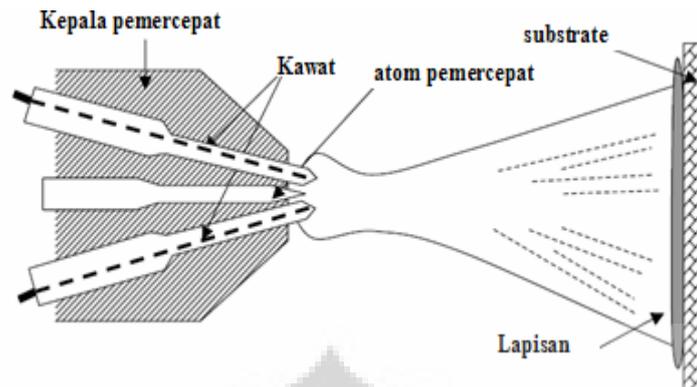
Gambar 2.1: Beberapa bagian teknik pelapisan deposisi [Bushan,Gupta –1991] Energi thermal yang digunakan untuk mencairkan material pelapis dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu *pemanasan listrik* dan *pemanasan pijar*. [13]

2.1.1. Pemanasan listrik

Terdapat tiga jenis proses dimana pemanasan listrik digunakan untuk mencairkan material pelapis yaitu :

2.1.1.1. Proses busur listrik (*Electrical Arc Process*) [13]

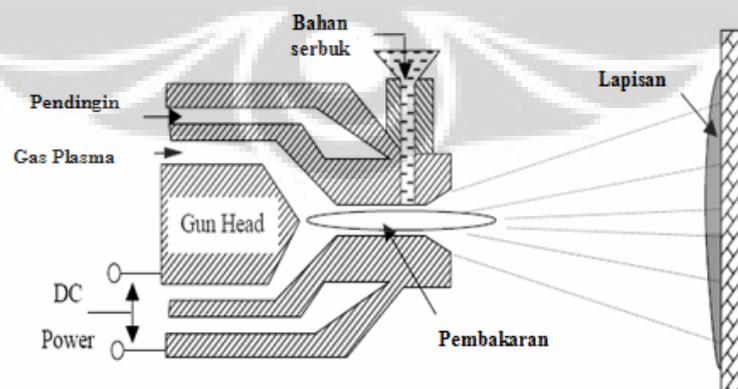
Busur listrik menyembrotkan/menyemburkan deposit material dalam bentuk kawat pada bermacam-macam material substrat. Motor menggerakkan dua kawat bermuatan listrik dengan beda potensial antara 18 volt sampai 40 volt melalui suluh (gun) menuju ujung temu pada kepala suluh, busur listrik menciptakan suhu melebihi 6000 °C, seperti terlihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Skema dari proses pemanasan busur listrik, udara yang bertekanan mengatomisasi material pelapis yang sudah cair dan menembakkannya pada permukaan material substrat. Relatif hanya material konduktor saja yang dapat digunakan untuk proses ini.

2.1.1.2. Proses Busur Plasma (*Plasma Arc Process*)

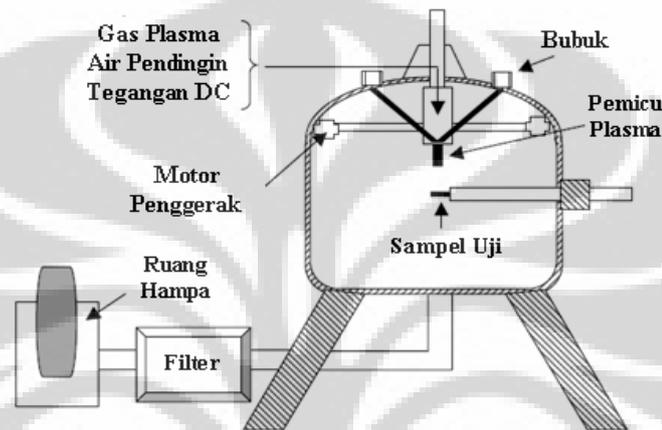
Pada proses penyemprotan busur plasma, energi termal/panas dari busur listrik (biasanya beroperasi pada 40 kW atau 80 kW) bersama dengan suatu gas pembentuk plasma, baik nitrogen atau argon, digunakan untuk mencairkan dan menembakkan material pelapis dengan kecepatan tinggi ($\sim 600\text{m/s}$) pada material yang akan dilapisi (*substrat*). Tujuan utama dari sistem ini adalah untuk menghasilkan suhu tinggi yang mencapai $16.000\text{ }^{\circ}\text{C}$ untuk menempelkan (*deposisi*) material dengan temperatur leleh yang tinggi. Material pelapis biasanya dalam bentuk bubuk dan memerlukan gas pembawa untuk memasukkan bubuk ke dalam ruang pembakaran, seperti terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 : Skema dari proses pemanasan busur plasma. Karena semprotan yang keras dari masing-masing partikel, kekuatan ikat yang tinggi bisa didapatkan pada pelapisan.

2.1.1.3. Proses Semprot Plasma Tekanan Rendah (*Low Pressure Plasma Spraying Process*)

Proses ini seringkali dikenal dengan proses penyemprotan plasma vakum, karena proses ini adalah proses penyemprotan plasma konvensional yang dilingkupi oleh tangki vakum. Karena itu suhu plasma dan sampel uji dipertahankan pada kondisi atmosfer sekitar 7 kPa, sebagaimana terlihat pada Gambar 2. 4



Gambar 2. 4 : Skema proses penyemprotan plasma tekanan rendah. Kegunaan tabung vakum mempunyai dua tujuan, untuk membatasi pembentukan oksida yang berkaitan dengan penyemprotan terbuka, dan kedua untuk melindungi material berbahaya keluar.

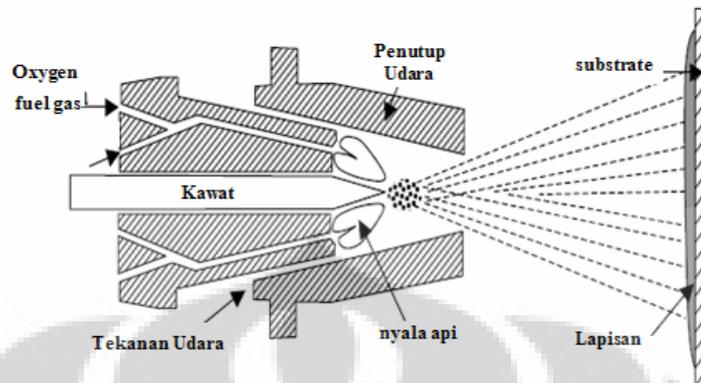
2.1.2. Pemanasan Pijar

Pada proses pemanasan pijar, material pelapis dilewatkan melalui ruang bakar dimana material tersebut mencair. Aliran gas penyebab pembakaran berekspansi dengan cepat dikarenakan efek pemanasan peletupan/peledakan (*explosive*). Dengan demikian menyebabkan terlemparnya partikel keluar ruang bakar menuju substrat. Ada tiga jenis proses penting dimana pembakaran digunakan untuk mencairkan material pelapis [13], yaitu:

2.1.2.1. Proses Penyemprotan Pijar (*Flame Spraying Process*)

Sumber panas diberikan oleh pembakaran untuk mencairkan material dapat berbentuk kawat ataupun bubuk. Pada kasus kawat dan batang, pengarah mekanis mendorong material pelapis ke dalam ruang pembakaran dimana pijaran

mencairkan dan mendorong partikel dalam bentuk semprotan seperti ditunjukkan pada Gambar 2. 5



Gambar 2. 5. Penampang suluh semprot pijar tipe kawat. Sumber panas diberikan oleh pembakaran untuk mencairkan material dapat berbentuk kawat ataupun bubuk

2.1.2.2. Proses Semprot dan Fusi (*Spray and Fuse Process*)

Proses spray dan fuse merupakan modifikasi dari proses semprot pijar tipe bubuk yang dibicarakan sebelumnya. Proses ini merupakan kombinasi dari dua tahap, dimana material pelapis pertama disemprotkan dengan suluh semprot pijar dan segera setelah penyemprotan dilakukan proses fusi dengan obor oxy-acetylene, panas induksi atau perlakuan panas pada tungku (yang biasanya di bawah tekanan atmosfer yang diturunkan atau vakum). Suhu fusi cukup tinggi, bisa sampai 13.000°C , menghasilkan pelapisan yang lebih tebal sampai dengan 2mm tetapi kekerasan tinggi. Keuntungan dari proses ini adalah menghasilkan mikrostruktur yang padat dan kekuatan ikat partikel yang tinggi antara pelapis dan substrat. Kerugian utama adalah tingginya suhu yang dialami substrat selama tahap proses fusi.

2.1.2.3. Proses HVOF (*High Velocity Oxy-Fuel Thermal Spray Process*)

High Velocity Oxy-Fuel (HVOF) thermal spray adalah suatu proses yang menghasilkan lapisan metal yang sangat rapat dengan sifat-sifat fisik dapat melebihi kekerasan lapisan chrome (HCP) [4].

Sifat-sifat fisik itu meliputi :

- ◆ wear resistance (tahan dalam pemakaian),
- ◆ corrosion resistance (tahan aus),

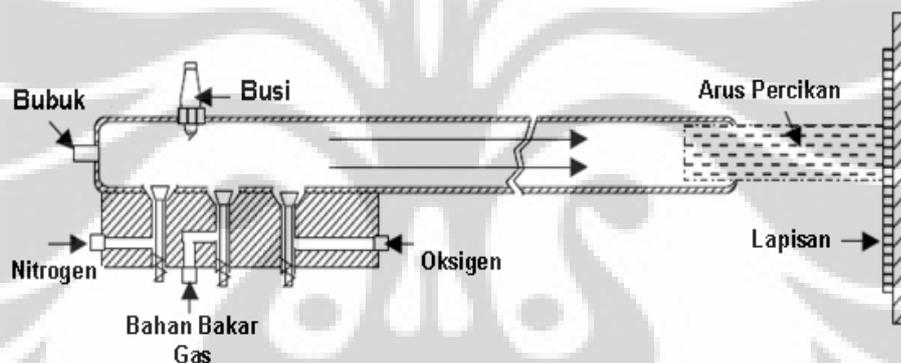
- ◆ kandungan oksida, stress dan porositasnya rendah
- ◆ kekuatan ikatan dengan substrat tinggi
- ◆ lapisan halus dengan ukuran mikrostrukturnya kecil
- ◆ Keras, padat dengan ketahanan terhadap abrasi, erosi dan geseran yang tinggi.

Proses semprot termal HVOF (*High Velocity Oxy-Fuel*) adalah bentuk lain dari proses semprot pijar, tetapi hanya menggunakan bubuk sebagai material pelapis.

Terdapat dua jenis proses HVOF yaitu jenis [10]:

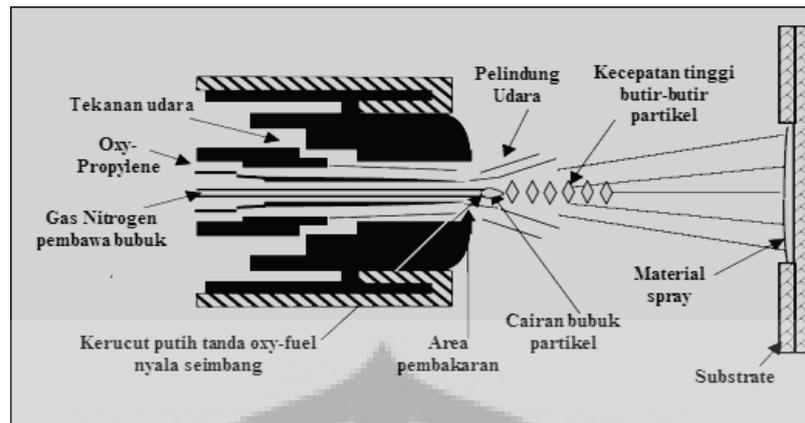
1. Suluh detonasi (*detonation gun*) dan
2. Jenis pembakaran kontinyu (*continuous combustion*).

Skema dari kedua jenis ini dapat dilihat pada Gambar 2.6 dan pada Gambar 2.7



Gambar 2.6 : HVOF jenis suluh detonasi (*detonation gun*). Pada proses HVOF jenis *detonation gun*, suatu pancaran flame powder temperatur tinggi digunakan untuk melarutkan dan menghamburkan bahan material dengan cara dimasukkan ke dalam ruang bakar.

Bahan bakar dan oxygen tercampur dalam ruang bakar. Kemudian di dalam ruang bakar terjadi proses peleburan serbuk metal yang dipercepat dengan kecepatan tetap yang dibawa oleh gas argon bertekanan membawa serbuk metal yang lebur dengan kecepatan yang sangat tinggi 2000m/s menuju permukaan substrat. Serbuk metal tersedia dalam banyak campuran meliputi: cobalt, nickel, nichrome, inconel, chrome carbide, dan tungsten carbide. Secara umum proses ini hanya akan menghasilkan tick film.



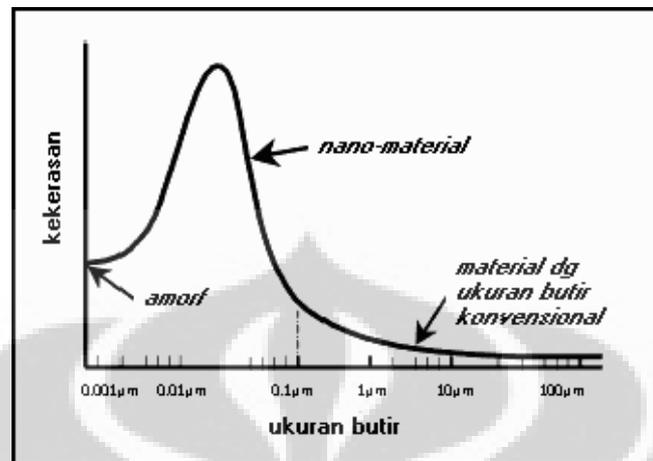
Gambar 2. 7: HVOF jenis pembakaran kontinyu (*Continuous Combustion*)

Perbedaan antara kedua jenis ini adalah penggunaan bahan bakar gas dan sistem pendingin yang berbeda, dan pada jenis suluh detonasi pembakaran dipertahankan pada interval waktu pemantikan yang digunakan untuk peletupan campuran gas dan partikel. Pada tugas yang dilakukan ini, untuk mensintesa bubuk yang dilepaskan dari suluh pada pengerjaan pelapisan atau pengelasan peralatan industri. digunakan peralatan HVOF jenis suluh detonasi (*detonation gun*). Secara umum, thermal spray digunakan untuk menghasilkan perlindungan dan meningkatkan mutu lapisan pada permukaan material terhadap lingkungan yang menyebabkan korosi dan reaksi lain yang merusak.

2.2. Ukuran Butir

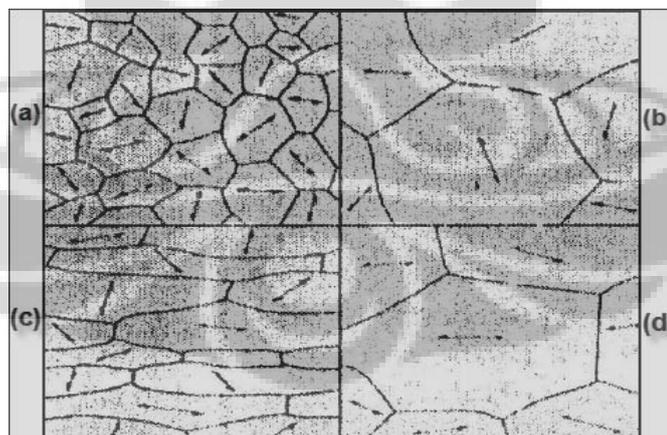
Mikrostruktur dari material-material berfasa tunggal dapat diubah dengan melakukan pengaturan ukuran, bentuk, dan orientasi dari butir-butirnya. Tetapi hal ini tidaklah selalu benar, karena bentuk dan ukuran butir merupakan hasil dari pertumbuhan butir dan bergantung pada orientasi kristalin dari butir ketika terjadi pertumbuhan. Dari banyaknya butir logam-logam berfasa tunggal hanya sedikit yang berbentuk bulat, karena butir harus mengisi seluruh ruang dan meminimalkan daerah batas butir. Butir pada logam pada umumnya berorientasi acak. Karena sifat dari butiran logam mengisi seluruh ruang dan meminimalkan daerah batas butir, maka terdapat hubungan antara ukuran butir dengan kekerasan, jika ukuran butir diperkecil terjadi penurunan kekerasan karena tergelincirnya butiran logam (*grain boundary sliding*) terlihat pada Gambar 2.8

Untuk mengatasi masalah ini maka dibuatlah material dari pencampuran fasa Amorf dan fasa Kristal.



Gambar 2.8 : Grafik hubungan ukuran butir terhadap kekerasan menunjukkan adanya penurunan kekerasan setelah ukuran butir diperkecil karena *grain boundary sliding*[14]

Daerah Batas butir mempengaruhi perilaku material poli kristalin seperti difusi, nukleasi, kekuatan, korosi, dan lain-lain. Walaupun demikian besar butir juga penting karena berbanding terbalik dengan batas butir [15]. Struktur dari material mikro dan nano berfasa tunggal dapat diubah dengan mengatur ukuran, bentuk dan orientasi butir-butirnya, seperti pada Gambar 2. 9



Gambar 2. 9 : Perbandingan Variabel-variabel mikrostruktur dari material fasa tunggal

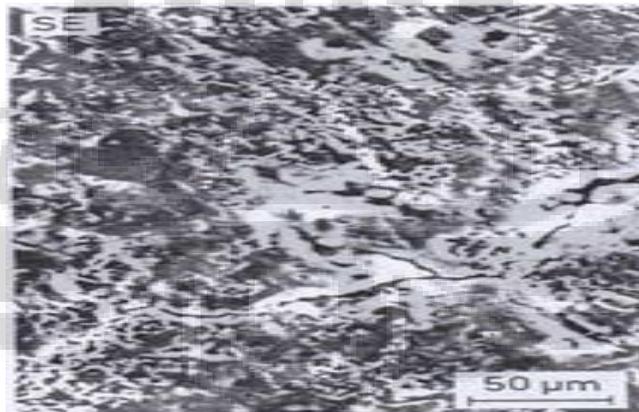
- (a) versus (b) : ukuran atau besar butir
- (a) versus (c) : bentuk butir
- (b) versus (d) : orientasi yang diutamakan

Namun bentuk dan ukuran butir merupakan hasil pertumbuhan butir. Bentuk butir umumnya bergantung pada orientasi kristalin dari butir ketika terjadi pertumbuhan butir. Ukuran butir biasanya disebutkan sebagai *diameter grain* dari butir tersebut dengan menganggap butiran itu berupa bola.

2.3. Detektor elektron sekunder dan elektron terpantul pada SEM

Signal SEM yang sangat penting adalah elektron sekunder dan elektron terpantul karena kedua signal ini bervariasi sebagai akibat dari perbedaan topografi permukaan manakala berkas elektron tersebut menyapu permukaan sampel. Emisi elektron sekunder terkungkung pada volume di sekitar permukaan dimana berkas elektron menumbuk, sehingga memberikan bayangan dengan resolusi yang relatif tinggi. Penampakan tiga dimensi dari bayangan yang diperoleh berasal dari kedalaman yang besar yang ditembus oleh medan SEM seperti juga efek bayangan dari elektron sekunder.

Elektron sekunder ini memiliki energi kecil, elektron-elektron dapat terlepas dari sampel tetapi hanya dapat dideteksi bila mereka diproduksi di permukaan. Elektron sekunder ini sensitif terhadap topografi sampel. Contoh gambar yang dihasilkan dari detektor elektron sekunder, terlihat pada Gambar 2.10 :



Gambar 2. 10: Foto SEM dengan detektor *Secondary Elektron*, yang energi Elektronnya di bawah 50 eV berasal dari ikatan yang lemah dan dapat ditolak atau dikeluarkan dengan hanya beberapa eV disebut sebagai elektron sekunder, gambar hanya terlihat topography permukaan.

Karena alasan sensitivitas topografi inilah maka bayangan yang dihasilkan dari elektron sekunder sangat mudah diinterpretasikan secara visual karena gambar

yang dihasilkan sama dengan lokasinya, itulah sebabnya lekuk-lekuk permukaan benda/sampel dapat dilihat dengan SEM.

Jika nomor atom dalam sampel semakin besar maka besar gaya pantulan inti positifnya lebih besar sehingga elektron terpantul ini dapat memberikan juga informasi tentang komposisi sampel, contoh gambar yang dihasilkan dari *backscattered elektron* untuk Al dan Cu-Ni pada Gambar 2.11 :



Gambar 2. 11: Foto SEM dengan detektor *Backscattered Elektron*, pada hasil elektron terpantul bagian yang *terang* dengan nomer atom tinggi adalah Al dan bagian yang *gelap* dengan nomor atom rendah adalah Cu-Ni.

Elektron terpantul lebih energik dibandingkan dengan elektron sekunder meskipun sudah terpendam di dalam sampel masih dapat dipantulkan, oleh karena itu bila dibandingkan dengan elektron sekunder, signal elektron terpantul tidak dapat memberikan informasi tentang topografi sampel dan juga resolusi ruang pada sampel. Namun terdapat keuntungan sebagai kompensasi antara satu sama yang lain.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Langkah Penelitian

Dalam melaksanakan penelitian ini, metode yang digunakan adalah :

1. Pengambilan sampel dilakukan dari pekerjaan pabrik pelapisan di PT. Teknokrafindo Asia, Jakarta.
2. Membuat kombinasi variasi tekanan C_3H_8 dan tekanan O_2 .
3. Melakukan pemeriksaan struktur permukaan sampel dengan menggunakan mikroskop optic.
4. Melakukan pemeriksaan distribusi dan komposisi partikel yang terjadi dengan menggunakan SEM (*Scanning Elektron Microscopy*).
5. Melakukan pemeriksaan jenis unsur sampel dengan menggunakan EDX (*Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*).

3.2. Proses penelitian

3.2.1. Persiapan pembuatan sampel penelitian

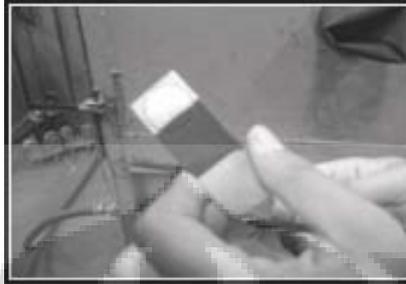
3.2.1.1. Preparasi Lapisan dari Bahan JK 7117 Powder

Sampel yang diambil untuk penelitian ini adalah dari proses pelapisan pada substrat yang sudah tersedia disiapkan 5 buah sampel A dan 4 buah sampel B sesuai perlakuan variasi tekanan yang sudah diatur , seperti pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 : Substrat untuk pembuatan sampel diberi kode A1, A2, A3, A4 dan A5 selanjutnya akan dilapisi dengan WC-17%Co HVOF thermal spray, dengan variasi tekanan C_3H_8 dan tekanan O_2 .

Untuk mendapatkan ikatan antar permukaan yang kuat sebelum dilapisi terlebih dahulu diblasting sehingga pada saat proses pelapisan WC-17%Co dapat menempel dengan baik terlihat pada Gambar 3. 2:



Gambar 3. 2: Substrat diblasting dengan tujuan untuk memperoleh ikatan antar permukaan yang kuat sebelum pelapisan

Tebal kekasaran hasil blasting diukur seperti pada Gambar 3. 3 di bawah ini



Gambar 3. 3 : Tebal kekasaran hasil blasting Substrat diukur dengan alat Raughness dalam mm, tujuannya supaya lapisan dapat menempel dan masuk ke pori-pori bahan.

Setelah semua proses blasting selesai sampel dijepit pada holder HVOF. Selanjutnya proses pelapisan (*coating*) thermal spray HVOF dengan variasi tekanan Propana dan tekanan Oxygen dijalankan pada jarak tembak tertentu. Pembuatan sampel dilakukan dari pekerjaan coating dengan hvof thermal spray di PT. Teknokraftindo Asia, Jakarta, skema seperti pada Gambar 3. 4:



Gambar 3. 4 : Proses pelapisan pada substrat. Substrat siap dicoating setelah semua proses blasting selesai sampel dijepit pada holder selanjutnya dicoating HVOF thermal spray pada jarak tembak tertentu.

3.2.1.2. Preparasi Lapisan dari Bahan JK 7184 Powder

Proses preparasi pada bahan ini sama dengan bahan JK 7117 powder. Dan sampel yang telah disiapkan diberi nama sebagai berikut : B1, B2, B3, dan B4 yang berturut-turut dengan komposisi rasio tekanan Propana dan tekanan Oxygen adalah 1 : 5,9 ; 1 : 6,0 ; 1 : 6,3 dan 1 : 6,7.

3.2.2. Bahan pelapis Tungsten Carbide dan Cobalt

Dipilihnya bahan pelapis dari tungsten, dikarenakan tungsten memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan bahan metal yang lain, khususnya untuk keperluan ini. Tungsten, lambang unsur W nama lain Wolfram adalah unsur metal yang memiliki titik lebur tinggi dibandingkan dengan metal lain, yaitu pada suhu sekita 3422°C dan menguap pada suhu sekitar 5555°C [6]. Penggunaan utama dari tungsten adalah sebagai filament pada lampu, penghantar dalam alat-alat pemanas, produksi alat-alat keras, alat pemotong baja, mata bor dan lain-lain. Juga digunakan sebagai target dalam tabung x-ray.

Bahan Cobalt dikenal mempunyai fasa allotropic yaitu hcp (*hexagonal close packed*) dan fcc (*face center cubic*) baik secara teori [17] maupun eksperimen [18], dimana fasa Co_hcp lebih stabil pada suhu rendah sampai suhu ruang sedangkan fasa Co_fcc lebih stabil pada suhu tinggi [19].

Untuk dapat membuat material yang tahan terhadap korosi dan memiliki kekuatan dan ketangguhan dapat dibuat dengan melakukan pencampuran metal-metal

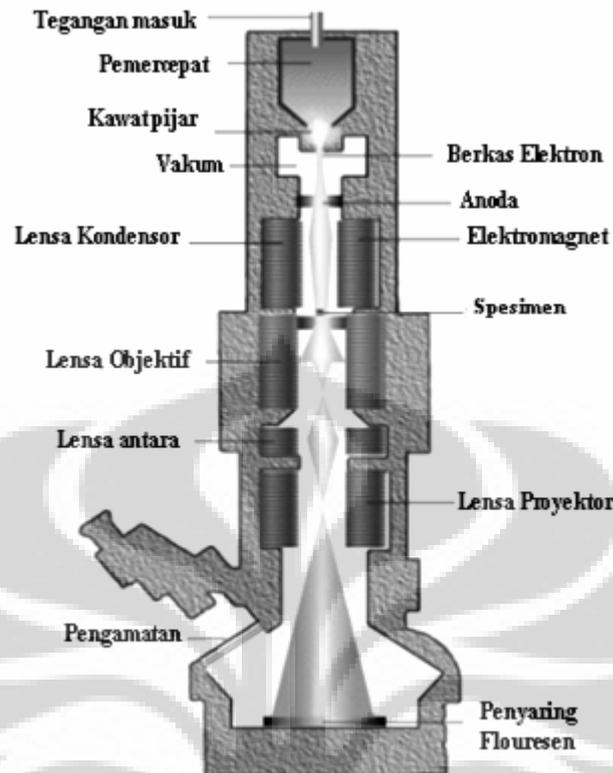
Cobalt-Nikel-Chromium-Molybdenum dan Titanium [20]. Campuran Nikel seperti Monel dan campuran Cobalt seperti Stellite mempunyai sifat kimia yang baik dan tahan terhadap pengikisan. Sebagian besar campuran Cobalt dan Chromium juga memiliki keistimewaan sifat kimia hubungannya dengan pencampuran. Karena sifat pasif Chromium, campuran Cobalt dan Chromium sebagian besar lambat dalam mengisi rongga, setelah ditambahkan Titanium campuran jadi sangat baik [21]. Tetapi berhasil tidaknya pencampuran metal bergantung pada perlakuan penuh terhadap material-material dan dengan melakukan kombinasi yang tepat juga mempengaruhi karakteristik dari material tersebut.

3.2.3. Mikroskop Optik

Mikroskop Optik adalah suatu peralatan dasar yang banyak digunakan untuk mengamati dan memahami morfologis dan karakteristik mikrostruktur. Dalam ilmu pengetahuan mikroskop optik digunakan untuk melakukan pemeriksaan material benda uji sebelum dilakukan SEM (*Scanning elektron microscope*) setelah dilakukan *mounting, grinding, polishing dan etching*. Peralatan Mikroskop optik memiliki tiga sistem terpisah, masing-masing dinamakan : [3]

- a. Sistem yang berfungsi untuk memperjelas (*illuminating system*)
- b. Langkah specimen (*specimen stage*) dan
- c. Sistem untuk menggambarkan benda (*imaging system*)

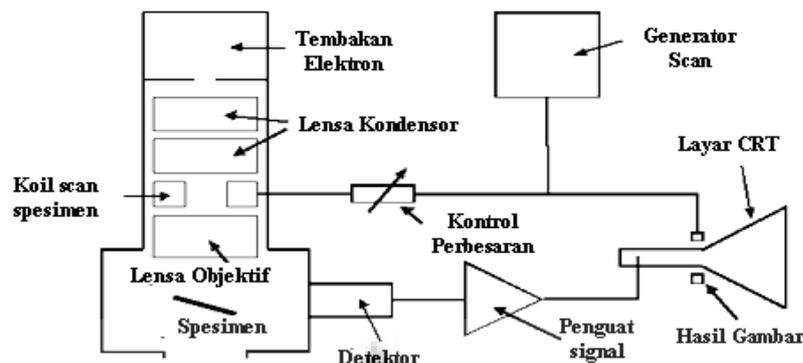
Dapat digambarkan skemanya sebagai berikut Gambar 3. 5:



Gambar 3. 5 : Komponen prinsip dari mikroskop optik pantul dan hubungan geometris satu dengan lainnya.

3.2.4. SEM (*Scanning Electron Microscope*)

SEM adalah sebuah instrumen yang teliti dibanding mikroskop optik dipadukan dengan EDX (*Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*) sehingga dapat digunakan untuk memeriksa, observasi, dan karakterisasi struktur terkecil benda-benda padat dari material organik maupun anorganik yang heterogen serta permukaan bahan dengan skala micrometer bahkan sampai sub-mikrometer yang menggunakan sumber medan emisi (*e field-emission source*) dan mempunyai resolusi gambar 1,5 nm, sehingga kita dapat menentukan sifat dari bahan yang diuji baik sifat fisis, kimia maupun mekanis yang dapat mempengaruhi mutu dan kualitas dari suatu produk, dengan demikian kita dapat mengembangkan produk tersebut melalui informasi ukuran partikel dari mikrostruktur yang terbentuk dan komposisi unsurnya. Skema dasar proses kerja SEM pada Gambar 3.6



Gambar 3.6 : Skema dasar *Scanning elektron microscope* (SEM)[16].

Bagian terpenting dari SEM adalah apa yang disebut sebagai kolom elektron (*elektron column*) yang memiliki piranti-piranti sebagai berikut:

1. Pembangkit elektron (*elektron gun*) dengan filamen sebagai pengemisi elektron atau disebut juga sumber iluminasi.
2. Sebuah system lensa electromagnet yang dapat dimuati untuk dapat memfokuskan atau mereduksi berkas elektron yang dihasilkan filamen ke diameter yang sangat kecil.
3. Sebuah sistem perambah (*scan*) untuk menggerakkan berkas elektron terfokus tadi pada permukaan spesimen.
4. Satu atau lebih system deteksi untuk mengumpulkan hasil interaksi antara berkas elektron dengan spesimen dan merubahnya ke signal listrik.
5. Sebuah konektor ke pompa vakum.

3.2.5. EDX (*Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*)

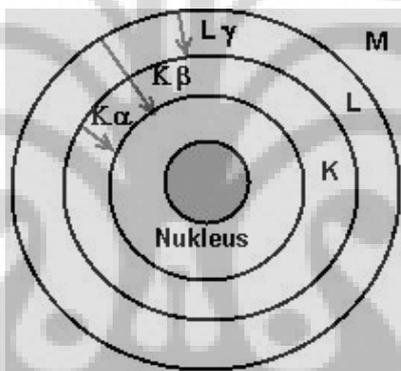
Untuk EDX, radiasi yang penting adalah Sinar-x karakteristik yang diemisikan sebagai akibat tumbukan elektron pada atom-atom bahan pada sampel. Analisis dari radiasi sinar-x karakteristik dapat menghasilkan informasi kualitatif dan kuantitatif tentang komposisi dari lokasi-lokasi pada sampel dengan diameter beberapa micrometer.[16]

3.2.5.1. Karakteristik Sinar-X

Bila sebuah elektron ditolak dari kulit dalam atom oleh interaksi dengan berkas elektron energi tinggi, hasilnya adalah ion tersebut berada pada tingkat eksitasi. Setelah melalui proses relaksasi atau de-eksitasi, ion tereksitasi ini

memancarkan energi untuk dapat kembali ke tingkat normal yaitu keadaan dasar (*ground state*). Proses yang paling mungkin dalam kebanyakan kasus adalah deretan transformasi yang masing-masing sebuah elektron dari kulit luar "jatuh" ke tempat kosong di dalam kulit terdalam. Seperti yang telah kita lihat, setiap kejatuhan menyebabkan elektron tersebut kehilangan sejumlah energi, katakan saja beda energi antara kulit di mana elektron berasal dan kulit ke mana elektron jatuh. Energi ini dibebaskan dalam bentuk radiasi elektromagnetik dalam kasus transisi energi tinggi yang melibatkan kulit terdalam. Energi yang diradiasikan ini secara unik mengindikasikan atom dari mana radiasi berasal, makanya disebut sebagai sinar-x karakteristik.

3.2.5.2.Nomenklatur



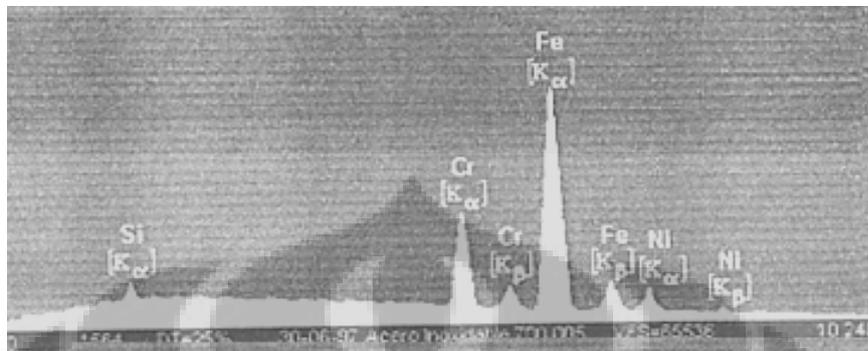
Gambar 3.7 : Kulit atom dan tingkat-tingkat transisi.

Garis-garis ini biasanya dinamai sesuai dengan kulit atom ke mana elektron jatuh dan kulit dari mana elektron berasal. Misalnya, jika kulit yang kosong tujuannya adalah kulit K dan kulit dari mana elektron berasal adalah kulit L, maka sinar-x $K\alpha$ diradiasikan. Jika elektron jatuh dari kulit M yang berada dua tingkat di atas kulit K, maka sinar-x yang diradiasikan dinamakan sinar-x $K\beta$. Dalam EDX ini umumnya berhubungan dengan Sinar-x deret K, L, dan M.

3.2.5.3.Spektrum Sinar-X

Sinar-x berjalan di dalam sampel dengan jarak yang lebih jauh dibandingkan dengan elektron dan karenanya terlepas dari kedalaman dimana elektron primer telah tersebar secara luas. Konsekuensinya, signal sinar-x memiliki keterbatasan resolusi ruang dibandingkan dengan signal elektron

sekunder dan terpantul. Tegangan pemercepat elektron dari kolom elektron dan nomor atom rata-rata Z dari volume sampel yang dianalisa mempengaruhi resolusi ruang dari signal sinar-x. Seperti terlihat pada Gambar 3.8 :



Gambar 3.8 : Spektrum Sinar-X dari beberapa unsur sebagai hasil EDX, menunjukkan secara jelas beberapa sifat khusus terlihat paling jelas adalah sinar-x karakteristik dari besi, kromium dan nikel dan setiap element terlihat dua peak K_{α} dan peak K_{β} .

Ketidakrataan dari spektrum ini menunjukkan fluktuasi statistik dari channel-ke-channel. Akhirnya, semua spektrum ini tumpang tindih dengan spektrum yang berkurang secara perlahan dari kiri ke kanan. *Analisis kualitatif* adalah proses indentifikasi unsur-unsur yang ada dalam sampel. *Analisis kuantitatif* bertujuan untuk menjawab berapa banyak unsur X, Y dan Z yang ada dalam sampel. Dalam rumusan yang sederhana, analisis kualitatif dilakukan dengan cara menentukan energi dari peak yang ada dalam spektrum dan membandingkan dengan tabel energi emisi sinar-x dari unsur-unsur yang sudah diketahui. Dalam peralatan modern hal ini tidak perlu dilakukan karena komputer secara otomatis akan memberikan simbol unsur untuk setiap peak pada spektrum. SEM memiliki beberapa piranti untuk memungkinkan konversi signal listrik yang datang dari detektor ke bentuk bayangan pada layar TV, photo, spektrum dan lain-lain. Seperti terlihat pada Gambar 3. 9 :

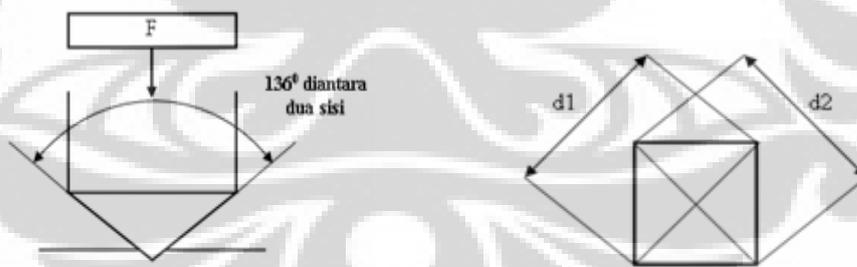


Gambar 3. 9 : Foto perangkat SEM, CMPFA Metalurgi UI

3.2.6. Microhardness Vickers

Metode yang dipakai untuk menentukan kekerasan terdiri dari *indentor* material pengujian berbahan intan, dalam bentuk pyramid bagian kanan dengan sudut dasarnya 136 derajat, yang membentuk sudut diantara permukaan substrat untuk pembebanan dari 1 sampai 100 kgf. Pembebanan maksimum yang dilakukan 10-15 detik. Dua diagonal dari *indentor* dipermukaan material setelah beban diangkat dihitung menggunakan mikroskop untuk menentukan rata-rata di area lekukan permukaan *indentor* yang dihitung (Gambar 3. 10) [13].

Vickers hardness adalah hasil bagi didapat dengan membagi rata-rata kgf beban dengan luas dari *indentor*.



Gambar 3. 10 : Skema perhitungan hardness.

Untuk menentukan tingkat kekerasan maka digunakan persamaan berikut ini :

$$HV = \frac{2F}{d^2} \sin \frac{\alpha}{2} \dots\dots\dots (3.1)$$

Dengan besarnya α adalah 136^0

$$HV = \frac{2F}{d^2} \sin \frac{136^0}{2} \dots\dots\dots (3.2)$$

Maka,

$$HV = 1.854 \frac{F}{d^2} \dots\dots\dots (3.3)$$

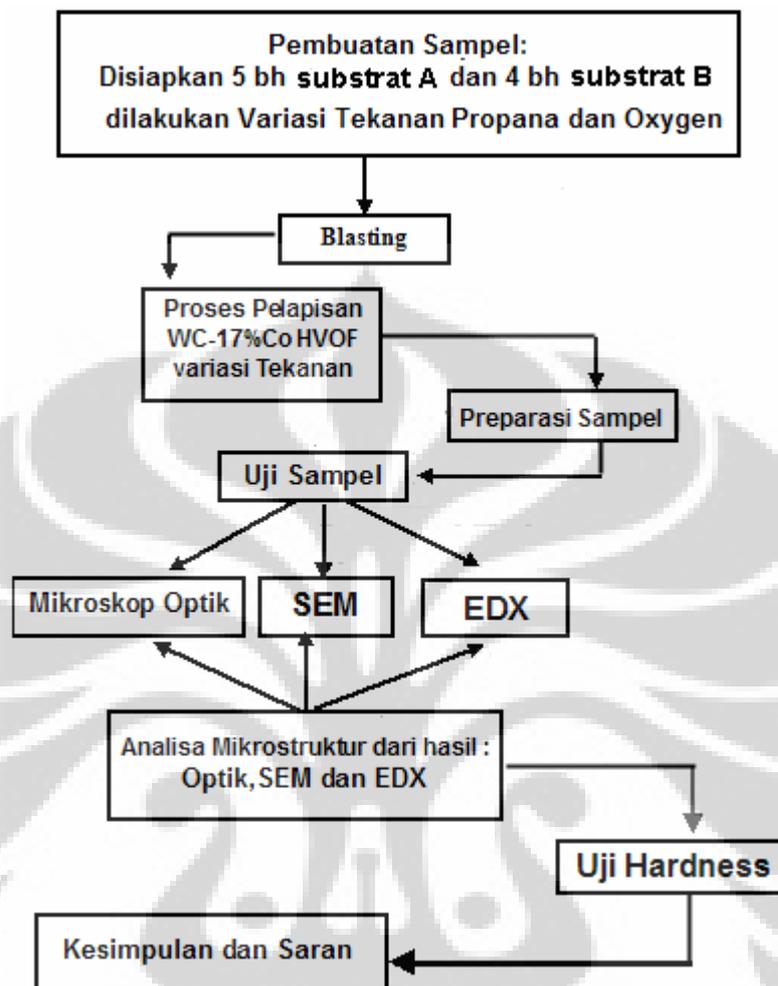
\bar{d} Merupakan nilai rata-rata diagonal jejak dalam mm diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$\bar{d} = \frac{d1+d2}{2} \dots\dots\dots (3.4)$$

Dimana F adalah gaya dalam kgf dan HV adalah kekerasan dalam kg/mm^2 .

Diagonal rata-rata dari indentor dihitung dengan menggunakan formula *Microhardness Vickers*, kemudian dikonversi ke tabel. *Microhardness Vickers* dapat mengirimkan laporan sampai 800 HV/10, yaitu rata-rata hardness Vickers 800 mampu menggunakan 10 kgf gaya. Untuk memahami kekerasan material, pada umumnya pengaturan pembebanan secara mudah dilakukan dari nilai *indentor*, dimana kemampuan melakukan metode test kekerasan lebih dari perubahan yang terjadi pada skala rata-rata diagonal jejak dalam mm. Keuntungan dari Vickers indentor dapat digunakan untuk semua jenis material dengan berbagai perlakuan permukaan. Meskipun begitu tetap cermat dapat menyesuaikan diri dan amat tepat untuk pengujian lunak dan pengujian keras pada material. Untuk pengujian lunak mesin Vickers dapat berdiri sendiri, hal ini menjadikan mesin Vickers lebih mahal dari mesin Brinell atau Rockwell

3.3. Diagram Alur Penelitian



Gambar 3.11: Diagram alur penelitian pembuatan sampel lapisan WC-17%Co dilakukan pada pengerjaan coating thermal spray HVOF dengan variasi tekanan C_3H_8 dan tekanan O_2 di PT. Teknokrafindo Asia. Jakarta

Sampel dibuat dua macam masing-masing sampel A dari bahan bubuk JK7117 diberi kode A1, A2, A3, A4 dan A5 dan sampel B dari bahan bubuk JK7184 diberi kode B1, B2, B3 dan B4. Sebelum proses pelapisan sampel diblasting kemudian setelah sampel terbentuk dicuting, dipoles dan dietsa untuk diuji dengan Mikroskop Optik, SEM dan EDX. Mikrostruktur yang terbentuk selanjutnya diuji Hardness dan dianalisa pengaruhnya terhadap kekerasan kemudian diambil beberapa kesimpulan dan saran-saran.

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Preparasi Lapisan

Metode High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) thermal spray didasarkan pada suatu sistem pembakaran dengan menggunakan tekanan tinggi. Bahan bakar dan Oxygen dicampur untuk menghasilkan suatu semburan gas supersonik dengan kecepatan hingga mencapai 2000 m/s pada suhu 2800°C (5070°F). Bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini adalah gas propana. Sedangkan bahan dasar dari lapisan ini telah dipersiapkan oleh PT. Teknokraftindo Asia Jakarta. Bahan dasar pada penelitian ini terdiri dari bubuk JK 7117 dan JK 7184 JETKOTE. Bahan dasar lapisan yang berupa bubuk tersebut dimasukkan ke dalam tempat penyimpanan dengan nyala api yang sangat panas dan kemudian melalui barrel sebagai jalan keluar, bahan dasar lapisan tersebut disemprotkan ke substrat yang akhirnya menghasilkan lapisan yang merata di seluruh permukaan substrat. Bahan dasar bubuk tersebut pada dasarnya berubah menjadi semi-molten partikel yang dipercepat oleh arus gas dan melalui alat pemercik dapat tersembur dengan suatu kekuatan lebih dari 60 Mpa [22].

Bubuk JK 7117 dan JK 7184 JETKOTE ini memiliki kandungan unsur yang telah tersertifikasi berdasarkan ISO 9001 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. 1 berikut :

Tabel 4. 1 : Unsur-unsur yang terkandung di dalam bahan dasar lapisan

No.	Kandungan Unsur (%)			
	Nama	Lambang	JK 7117	JK 7184
1.	Carbon	C	10,0	9,6
2.	Chromium	Cr	1,0	Balance
3.	Tungsten	W	Balance	Low
4.	Besi	Fe	Low	Low
5.	Cobalt	Co	17,0	20,2

Sedangkan kondisi preparasi awal lapisan dengan menggunakan metode HVOF ini ditunjukkan seperti pada Tabel 4.2 nilai dari variasi tekanan Propana dan tekanan Oxygen dapat menunjukkan bahwa rasio tekanan dari kedua gas tersebut menghasilkan kondisi peningkatan jumlah tekanan Oxygen pada masing-masing lapisan, sehingga dari hasil preparasi tersebut, disimpulkan bahwa lapisan dibuat berdasarkan variasi peningkatan tekanan Oxygen (O_2).

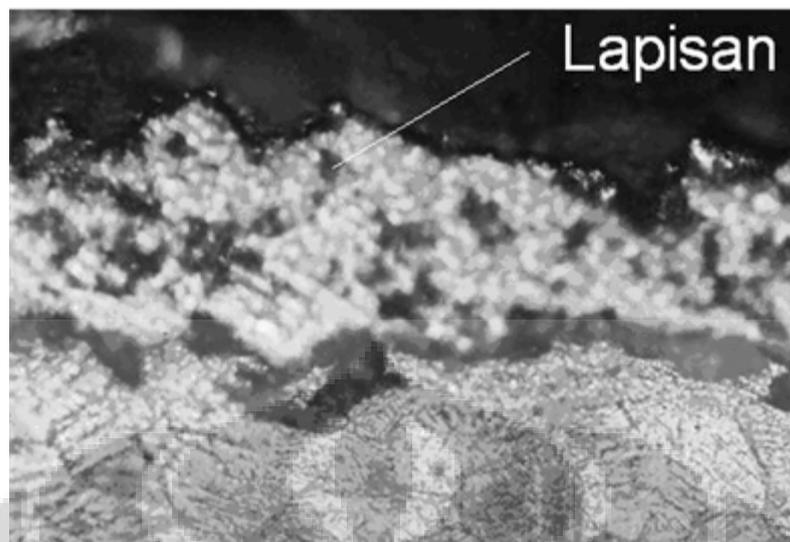
Tabel 4. 2: Kondisi preparasi awal lapisan dengan metode HVOF

No.	Tekanan (bar)		Rasio O / P	Kedalaman Blasting (mm)	
	Propana (P)	Oxygen (O)		JK 7117	JK 7184
1.	1,6	8,2	5,1	$0,5 \pm 0,1$	$0,7 \pm 0,1$
2.	1,4	8,2	5,9	$0,5 \pm 0,1$	$0,7 \pm 0,1$
3	1,3	7,8	6,0	$0,5 \pm 0,1$	$0,7 \pm 0,1$
4.	1,2	7,5	6,3	$0,5 \pm 0,1$	$0,7 \pm 0,1$
5.	1,2	8,0	6,7	$0,5 \pm 0,1$	$0,7 \pm 0,1$

Waktu spray rata-rata selama 5 detik, sehingga diharapkan dapat menghasilkan lapisan yang memiliki ketebalan yang relatif sama. Hasil preparasi dari pelapisan tersebut difoto dengan microscope optik untuk membuktikan bahwa lapisan tersebut sudah terbentuk seperti pada Gambar 4. 1, Gambar 4.2, dan Gambar 4. 3



Gambar 4. 1 : Hasil preparasi lapisan sampel dengan foto microscope optik perbesaran 100x, yaitu sampel A1 (JK 7117 powder) komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap tekanan Propana 5,1



Gambar 4.2 : Foto microscope optik dari lapisan dengan perbesaran 500x adalah foto yang difokuskan pada posisi lapisan dengan komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap tekanan Propana 5,1



Gambar 4. 3 : Foto microscope optik dari substrat dengan perbesaran 500x merupakan foto yang difokuskan pada base metal dengan komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap tekanan Propana 5,1

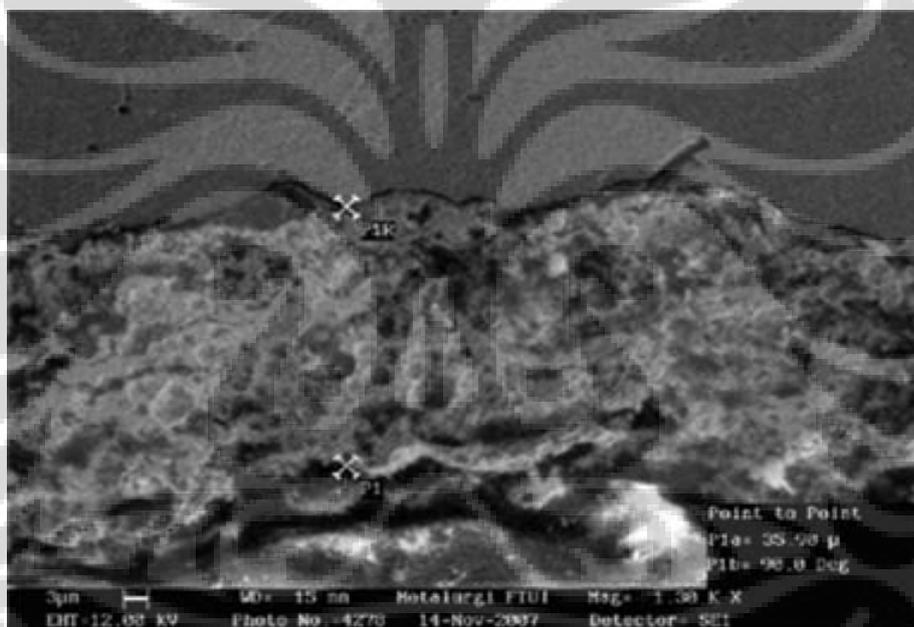
Dengan demikian dapat dikatakan bahwa proses pelapisan WC-17%Co dengan menggunakan *HVOF thermal spray* berbahan bubuk JK 7117 telah terbentuk dengan baik.

4.2. Karakterisasi mikrostruktur dengan SEM dan EDX

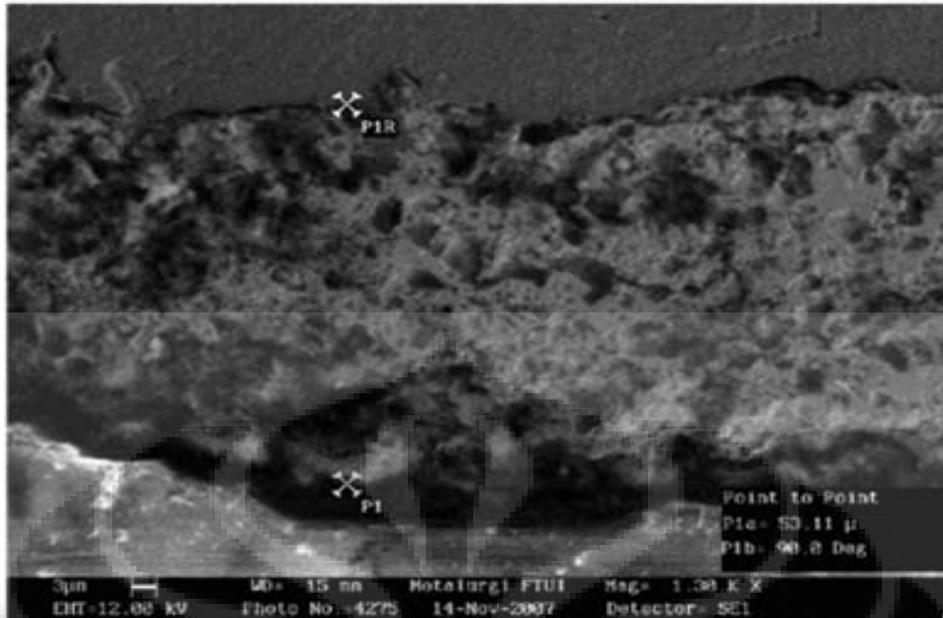
SEM (*Scanning Elektron Microscope*) merupakan peralatan yang digunakan untuk memeriksa topografi sampel pada perbesaran yang sangat tinggi.

Universitas Indonesia

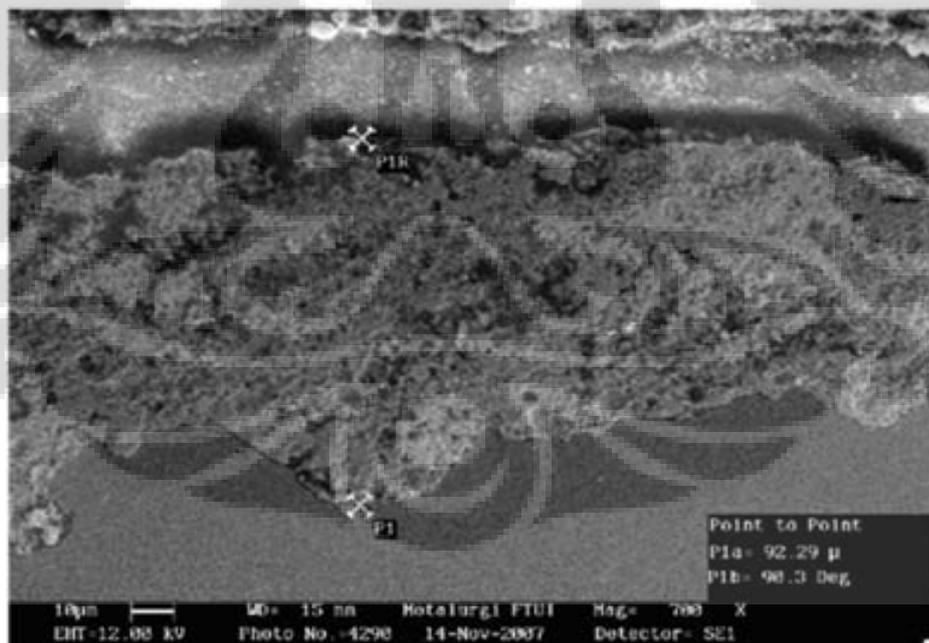
Pemeriksaan dengan SEM sering digunakan dalam analisis sekumpulan crack, melihat permukaan yang retak, dan cacat fisik pada permukaan. Hasil preparasi lapisan dengan menggunakan metode HVOF ini akan dianalisis morfologi permukaan lapisan dengan memanfaatkan Berkas *Elektron Sekunder* (SE) serta analisis dan identifikasi unsur pada permukaan lapisan dengan memanfaatkan Berkas *Backscattered Elektrons* (BSE). Gambar 4.4, Gambar 4. 5, Gambar 4. 6, Gambar 4. 7 dan Gambar 4. 8 berturut-turut merupakan foto SEM yang diambil berdasarkan penampang lintang (*cross section*) dari lapisan sehingga diharapkan dapat terlihat morfologi permukaan dan ketebalan lapisan yang terbentuk untuk sampel A1, A2, A3, A4, dan A5.



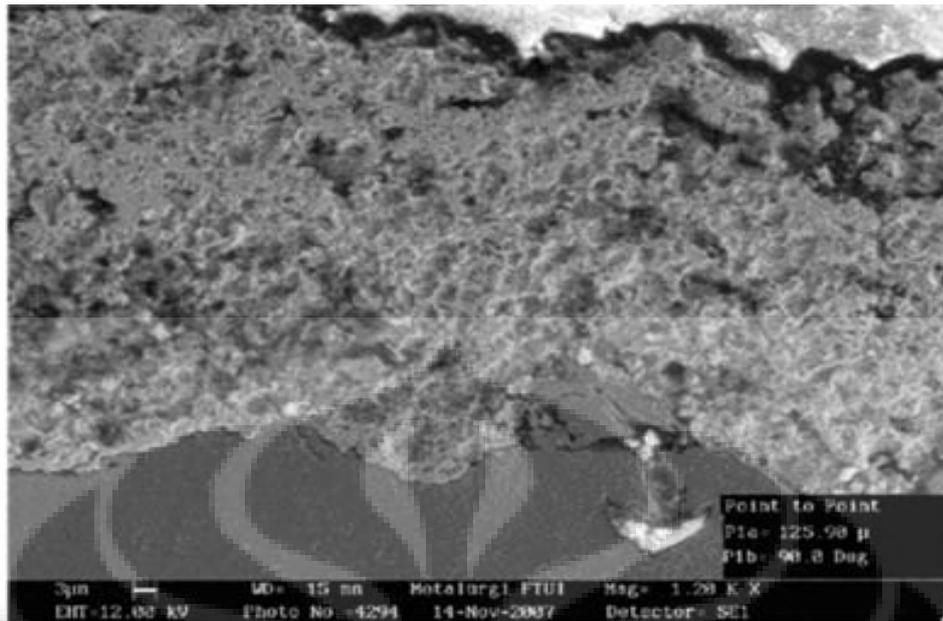
Gambar 4.4 : Foto SEM pada perbesaran 500x untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 5,1 diambil berdasarkan penampang lintang (*cross section*), dari lapisan terlihat morfologi permukaan dengan ketebalan lapisan yang terbentuk 35,90 µm



Gambar 4. 5 : Foto SEM pada perbesaran 1000x untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 5,8 diambil berdasarkan penampang lintang (*cross section*) dari lapisan terlihat morfologi permukaan dengan ketebalan lapisan yang terbentuk 53,29 μm



Gambar 4. 6 : Foto SEM pada perbesaran 700x untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,0 diambil berdasarkan penampang lintang (*cross section*) dari lapisan terlihat morfologi permukaan dengan ketebalan lapisan yang terbentuk 92,29 μm



Gambar 4. 7 : Foto SEM perbesaran 1200x untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,3 diambil berdasarkan penampang lintang (*cross section*) dari lapisan terlihat morfologi permukaan dengan ketebalan lapisan yang terbentuk 125,90 μm



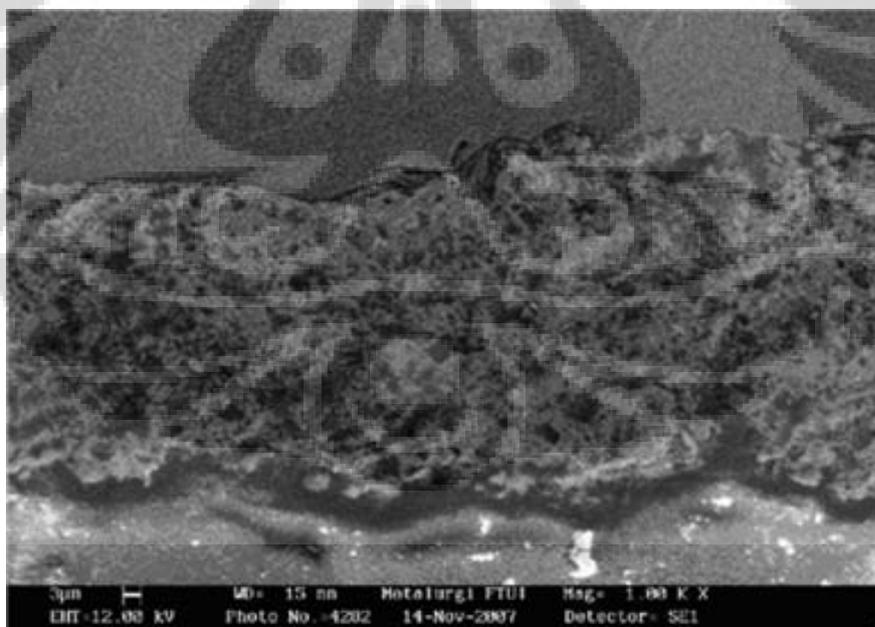
Gambar 4. 8 : Foto SEM perbesaran 500x untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,7 diambil berdasarkan penampang lintang (*cross section*) dari lapisan terlihat morfologi permukaan dengan ketebalan lapisan yang terbentuk 159,45 μm

Dari foto SEM di atas diperoleh besarnya nilai ketebalan masing-masing lapisan berdasarkan variasi rasio peningkatan tekanan Oxygen seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. 3

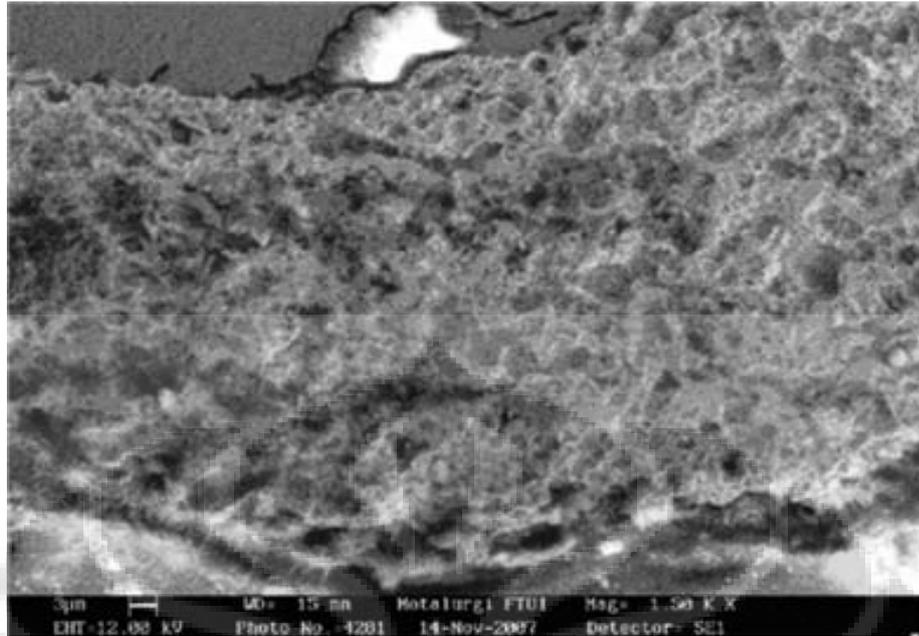
Tabel 4. 3 : Data ketebalan lapisan berdasarkan rasio tekanan Oxygen/Propana

No.	Sampel	Tekanan (bar)		Rasio Tekanan O / P	Ketebalan Lapisan (μm)
		Propana (P)	Oxygen (O)		
1.	A1	1,6	8,2	5,1	35,90
2.	A2	1,4	8,2	5,9	53,29
3	A3	1,3	7,8	6,0	92,29
4.	A4	1,2	7,5	6,3	125,90
5.	A5	1,2	8,0	6,7	159,45

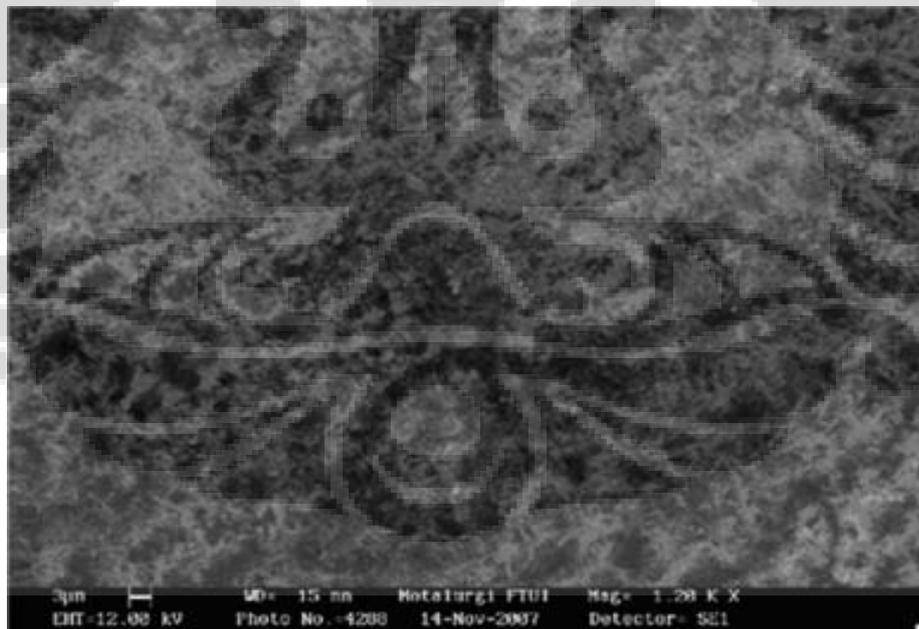
Untuk melihat morfologi permukaan yang lebih jelas diperlukan foto dengan perbesaran yang lebih tinggi. Gambar 4.9, Gambar 4. 10, Gambar 4. 11, Gambar 4. 12, dan Gambar 4. 13, berturut-turut merupakan foto SEM dengan berkas *SE*, lapisan yang diambil dengan perbesaran yang lebih tinggi sehingga diharapkan dapat terlihat morfologi permukaan lapisan yang terjadi untuk sampel A1, A2, A3, A4, dan A5.



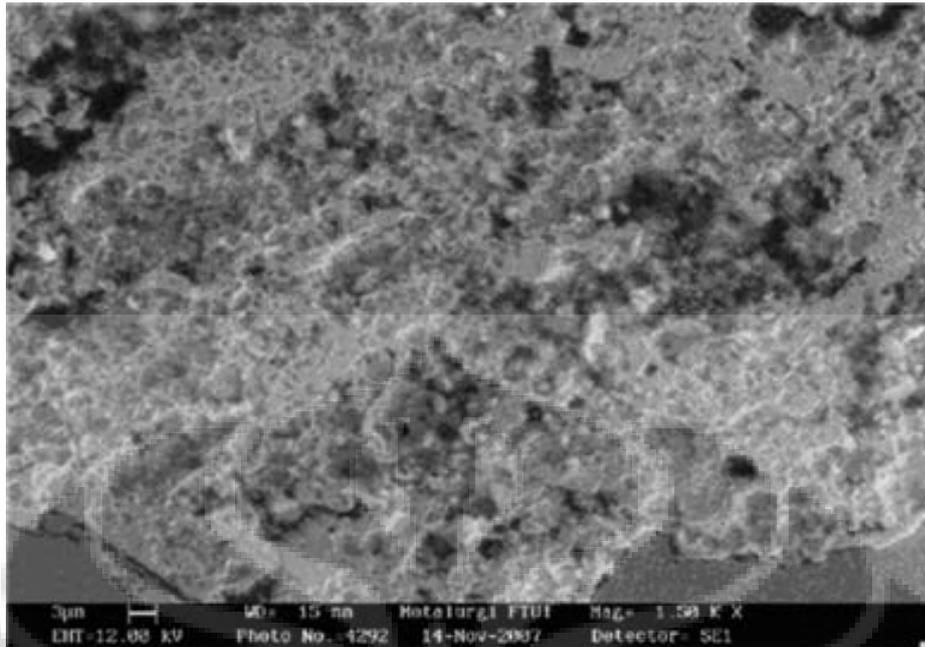
Gambar 4.9 : Foto SEM pada perbesaran 1000x untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 5,1 morfologi permukaan lapisan sudah tampak homogen disetiap lapisan dengan ukuran partikel yang relatif kecil, namun memiliki porositas yang cukup besar



Gambar 4. 10 : Foto SEM perbesaran 1500x untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 5,9 morfologi permukaan lapisan sudah tampak homogen disetiap lapisan dengan ukuran partikel yang relatif kecil, tetapi porositasnya cukup tinggi.



Gambar 4. 11 : Foto SEM perbesaran 1200x untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,0 morfologi permukaan lapisan sudah tampak homogen disetiap lapisan dengan ukuran partikel yang relatif kecil, tetapi porositasnya masih cukup tinggi.



Gambar 4. 12 : Foto SEM perbesaran 1500x untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,3 morfologi permukaan lapisan sudah tampak homogen disetiap lapisan dengan ukuran partikel yang relatif kecil, tetapi memiliki porositas yang cukup besar.



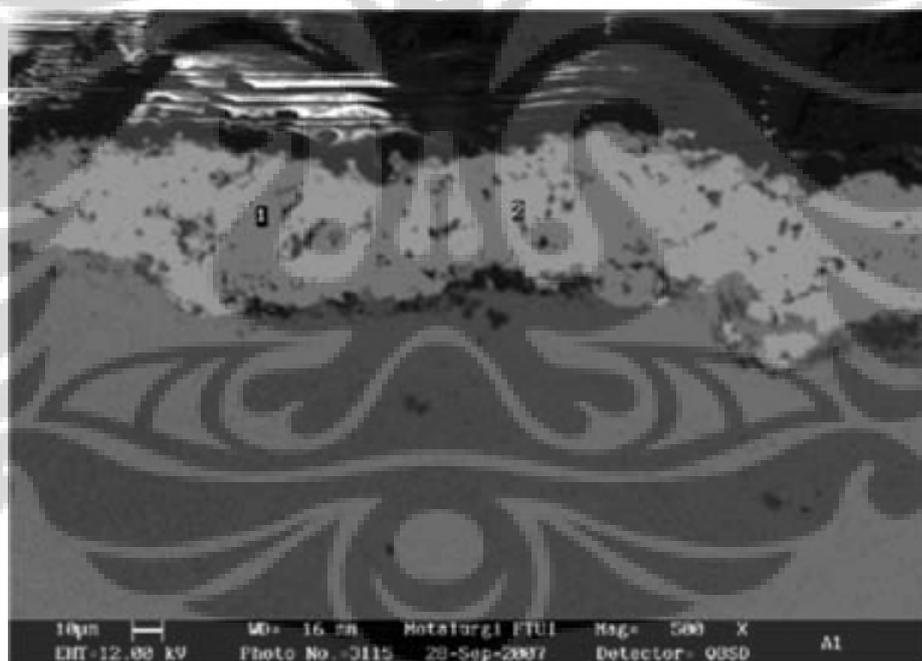
Gambar 4. 13 : Foto SEM perbesaran 1500x untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,7 morfologi permukaan lapisan sudah tampak homogen disetiap lapisan dengan ukuran partikel yang relatif kecil, namun tampak memiliki porositas yang cukup besar.

Berdasarkan Gambar tersebut menunjukkan bahwa lapisan hampir homogen disemua tempat. Dan faktor komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana

Universitas Indonesia

tampak tidak mempengaruhi besarnya porositas pada lapisan. Diduga penyebab porositas ini berasal dari kerapatan semburan yang berarti juga pengaruh jarak titik pusat semburan terhadap substrat yang akan dilapisi. Dugaan ini berdasarkan hipotesa dari teknik pengecatan sebuah bidang yang sangat bergantung dari jarak semburan terhadap bidang yang akan dicat. Dengan jarak yang paling optimum akan diperoleh kerapatan merata pada permukaan bidang yang dicat.

Analisis mikrostruktur selanjutnya adalah mengidentifikasi unsur dan komposisi yang terkandung pada lapisan melalui analisis morfologi permukaan lapisan. Pada tahap ini diperlukan foto dengan menggunakan berkas *Backscattered Elektrons* (BSE) sehingga diharapkan dapat diperoleh foto dengan image yang kontras dari unsur-unsur maupun paduan-paduan yang terbentuk. Gambar 4. 14 merupakan foto dari morfologi permukaan lapisan dengan menggunakan BSE.

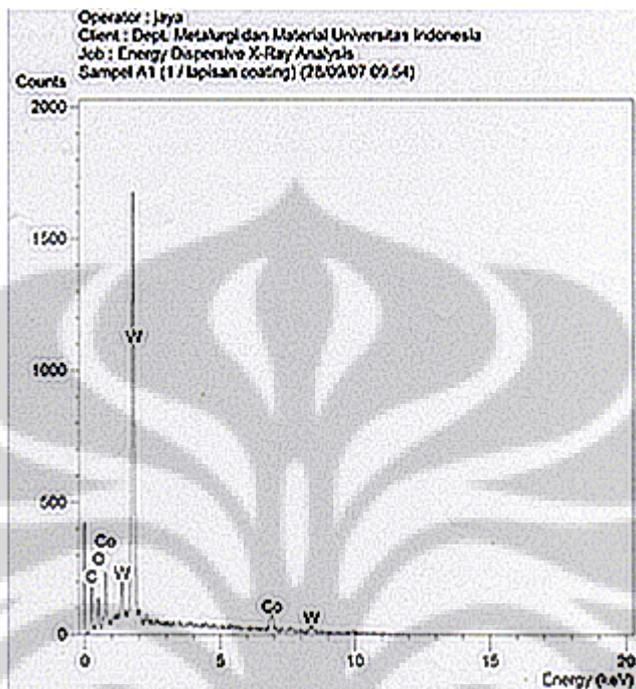


Gambar 4. 14 : Foto SEM *Backscattered Elektrons* perbesaran 500x pada lapisan dengan komposisi rasio tekanan Oxygen/Propana 5.1 di Metalurgi UI, terlihat perbedaan warna yang sangat mencolok antara lapisan dan substrat, untuk lapisan terlihat warna putih terang.

SEM dapat dikembangkan dengan EDX analisis system yang dapat melakukan analisis komposisi cuplikan. Analisa EDX berguna dalam mengidentifikasi bahan dan pengotor yang sangat baik untuk memperkirakan konsentrasi relatifnya pada

Universitas Indonesia

permukaan cuplikan. Hasil analisa EDX diperlihatkan pada Gambar 4. 15, sedangkan unsur-unsur yang terkandung di dalam lapisan tersebut ditunjukkan pada Tabel 4. 4



Gambar 4. 15 : Hasil analisis EDX lapisan dengan komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 5,1 kandungan % berat unsur dan % berat atom yang dominan adalah Tungsten (W)

Interprestasi grafik pada Gambar 4. 15 ke dalam data ditunjukkan pada Tabel 4. 4

Tabel 4. 4 : Besarnya unsur-unsur yang terkandung di dalam lapisan

Nama	Kandungan % berat	
	Unsur	Atom
Tungsten (W)	77,59	43,13
Cobalt (Co)	18,84	32,66
Carbon (C)	0,66	5,60
Oxygen (O)	2,91	18,60

Berdasarkan analisis EDX untuk kandungan % berat elemen, bahwa Foto SEM yang ditunjukkan pada Gambar 4. 14, pada daerah yang berwarna putih tersebut diyakini mayoritas memiliki kandungan Tungsten (W) dan sebagian mengandung sedikit Cobalt (Co). Sedangkan adanya Oxygen diduga merupakan impuritas

lapisan berasal dari udara yang terjebak di dalam lapisan. Dan dimungkinkan dengan terjebaknya udara tersebut mengakibatkan porositas lapisan tinggi, hal ini seperti yang telah diungkapkan dari analisa morfologi permukaan dengan elektron sekunder. Untuk kandungan % berat atom, tidak dapat diyakini bahwa lapisan tersebut terbentuk paduan dengan komposisi seperti yang ditunjukkan dari hasil EDX. Sebab berdasarkan analisis dengan menggunakan XRD menunjukkan bahwa lapisan tersebut merupakan komposit Tungsten Carbide/Cobalt. Dengan demikian analisis EDX untuk kandungan % berat atom tersebut tidak dapat memberikan konfirmasi sebuah paduan.

4.2.1. Analisis Morfologi Lapisan dari Bahan JK 7117 Powder [23]

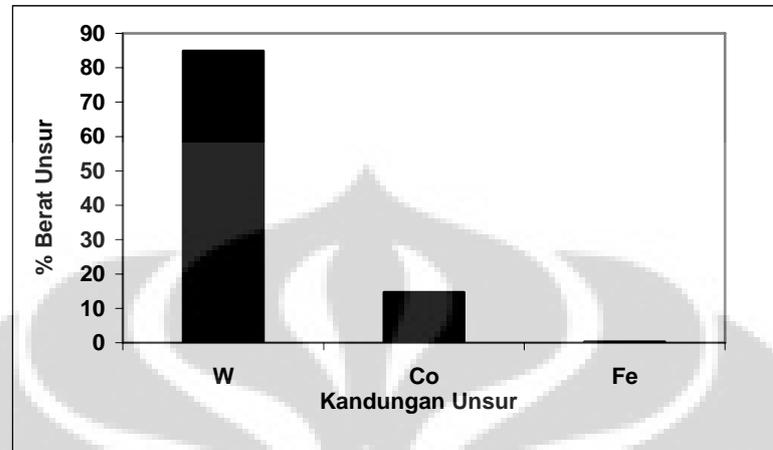
Gambar 4. 16 merupakan foto SEM dengan detektor *Backscattered Elektrons* pada lapisan dengan rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 5.1.



Gambar 4. 16 : Foto SEM *Backscattered Elektrons* perbesaran 500x pada lapisan dengan komposisi rasio tekanan Oxygen/Propana 5.1 di Batan menunjukkan bahwa foto dari morfologi permukaan lapisan terdiri dari dua warna yang sangat kontras, yaitu daerah berwarna putih dan hitam.

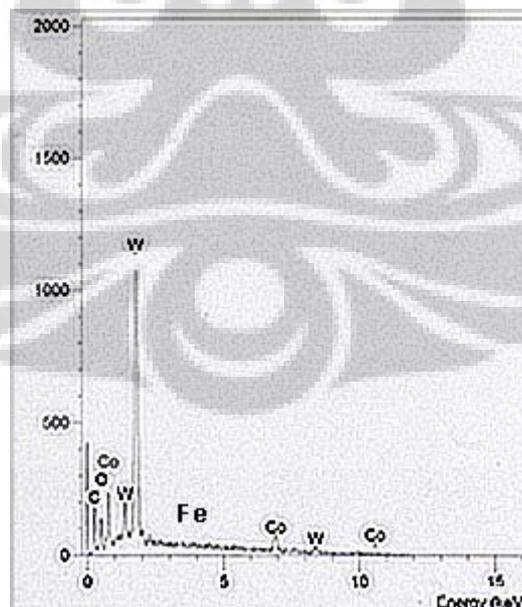
Untuk mendapatkan identifikasi unsur yang terkandung di dalam lapisan, daerah permukaan lapisan perlu dispot dengan menggunakan peralatan EDX. Dari hasil

analisis EDX dengan peralatan di BATAN menunjukkan bahwa kandungan unsur utama dari lapisan tersebut adalah Tungsten (W) hingga mencapai 84,92% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 17



Gambar 4. 17 : Grafik kandungan unsur vs % berat unsur hasil foto SEM dan EDX untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 5,1

Kemudian dikonfirmasi hasil pengukuran EDX di UI, hasilnya menunjukkan bahwa kandungan unsur utama dari lapisan tersebut adalah Tungsten (W) hingga mencapai 80,96% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 18. Dan data unsur-unsur yang terkandung di dalam lapisan tersebut ditunjukkan pada Tabel 4. 5

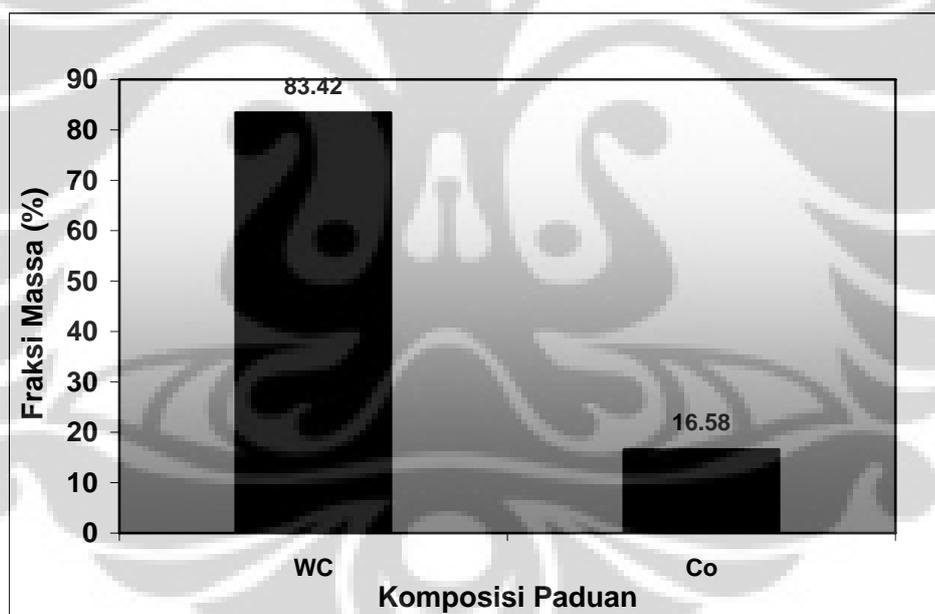


Gambar 4. 18 : Hasil analisis EDX untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 5,1 kandungan % berat unsur dan % berat atom yang dominan adalah tetap Tungsten (W)

Tabel 4. 5 : Besarnya unsur-unsur yang terkandung di dalam lapisan

Nama	Kandungan % berat	
	Unsur	Atom
Tungsten (W)	80,96	51,08
Cobalt (Co)	16,55	32,57
Carbon (C)	0,42	4,08
Oxygen (O)	1,29	9,35

Dan berdasarkan analisis XRD menggunakan metode Rietveld bahwa pada sampel dengan komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 5.1 telah diperoleh komposisi fraksi massa antara Tungsten Carbide (WC) dengan Cobalt (Co) berturut-turut adalah 83,42% dan 16,58% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 19.



Gambar 4. 19 : Hasil analisis fraksi massa komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 5.1 adalah Tungsten Carbide (WC) 83,42% dan 16,58% Cobalt (Co)

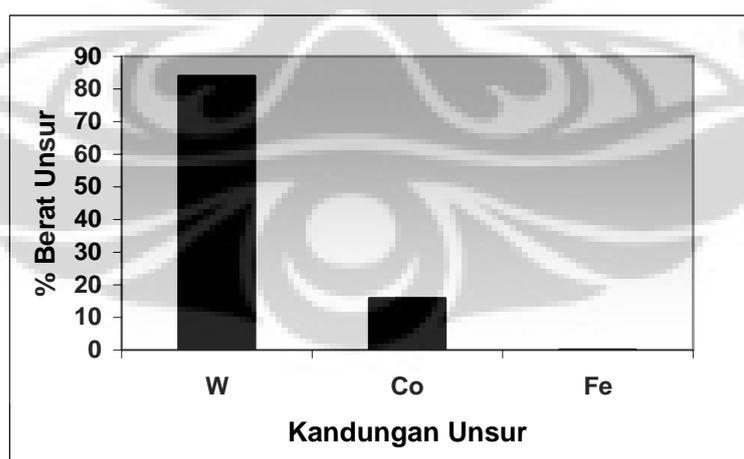
Berdasarkan hasil foto SEM pada Gambar 4. 16 yang didukung dengan analisis EDX pada Gambar 4. 17 dan Gambar 4. 18, serta hasil analisis XRD pada Gambar 4. 19 memberikan kesimpulan bahwa identifikasi mikrostruktur dari cuplikan tersebut menunjukkan daerah yang berwarna putih diduga kuat adalah fasa

Tungsten Carbide (WC) dan daerah yang berwarna hitam diduga kuat adalah fasa Cobalt (Co).

Gambar 4. 20 merupakan foto SEM dengan berkas backscattered Elektrons untuk sampel A2 (rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 5,9).

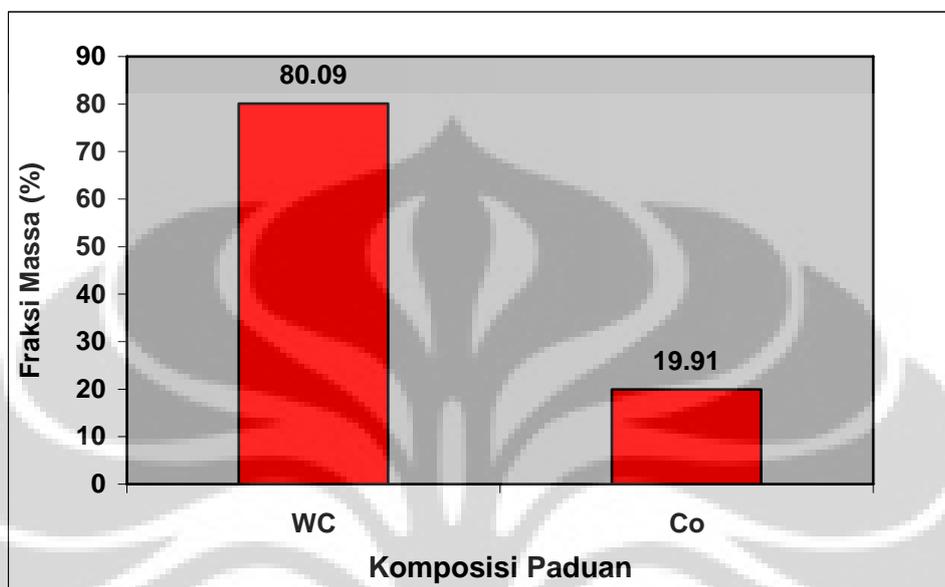


Gambar 4. 20 : Foto SEM *Backscattered Elektrons* perbesaran 500x pada lapisan dengan komposisi rasio tekanan Oxygen / Propana 5.9 di Batan foto morfologi permukaan lapisan terjadi perubahan warna, yaitu daerah berwarna hitam bertambah dan warna putih sedikit berkurang.



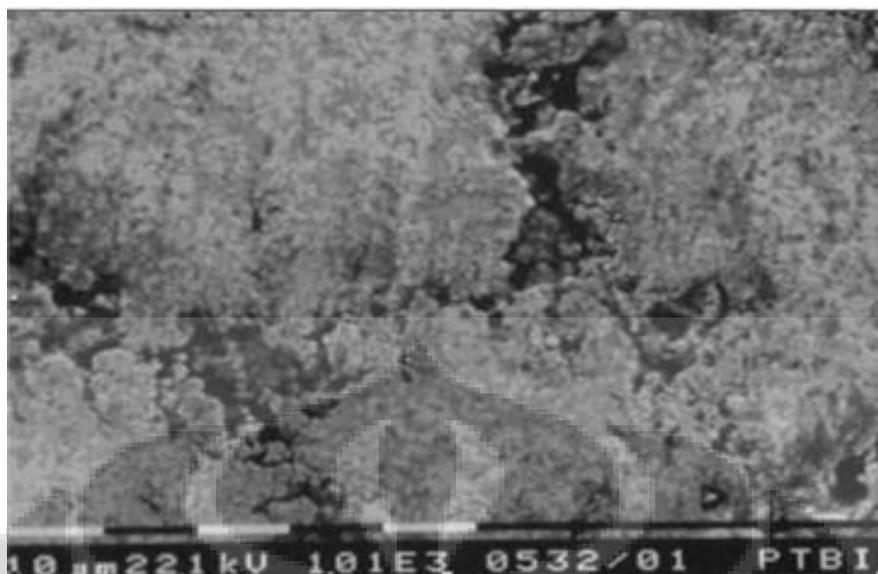
Gambar 4. 21 : Grafik kandungan unsur vs % berat unsur hasil foto SEM dengan *Backscattered Elektrons* untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 5.9, dari hasil analisis EDX di BATAN menunjukkan bahwa kandungan unsur utama dari lapisan tersebut adalah Tungsten (W) hingga mencapai 84,02%.

Dan berdasarkan analisis XRD menggunakan metode Rietveld bahwa pada sampel dengan komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 5,9 telah diperoleh komposisi fraksi massa Tungsten Carbide (WC) 80,02% dan komposisi fraksi massa Cobalt (Co) 19,91% seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4. 22**



Gambar 4. 22 : Hasil analisis fraksi massa untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 5,9 nampak jumlah kandungan Cobalt (Co) meningkat menjadi 19,91% sesuai dengan fraksi massa hasil analisis XRD.

Berdasarkan hasil foto SEM pada Gambar 4. 20 yang didukung dengan analisis EDX pada Gambar 4. 21, serta hasil analisis XRD pada **Gambar 4. 22**, memberikan kesimpulan bahwa identifikasi mikrostruktur dari cuplikan tersebut menunjukkan daerah yang berwarna putih diduga kuat adalah fasa Tungsten Carbide (WC) dan daerah yang berwarna hitam diduga kuat adalah fasa Cobalt (Co). Gambar 4. 23 merupakan foto SEM dengan berkas backscattered Elektrons untuk sampel A3 (rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,0).

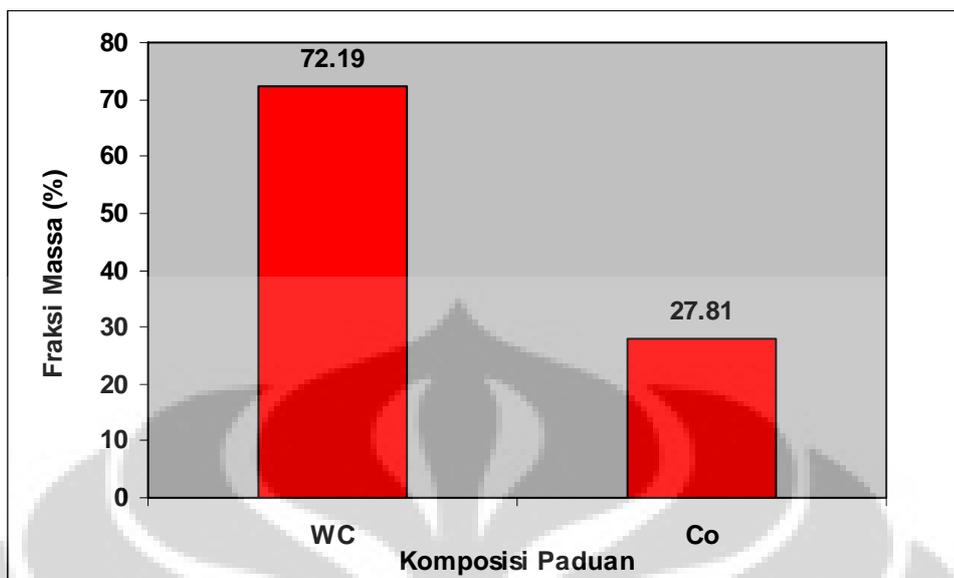


Gambar 4. 23 : Foto SEM *Backscattered Elektrons* perbesaran 500x pada lapisan dengan komposisi rasio tekanan Oxygen/Propana 6.0 di Batan foto morfologi permukaan lapisan terjadi perubahan warna, yaitu daerah berwarna hitam bertambah dan warna putih berkurang.



Gambar 4. 24 : Grafik kandungan unsur vs % berat unsur hasil foto SEM dengan *Backscattered Elektrons* untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6.0, dari hasil analisis EDX di BATAN menunjukkan bahwa kandungan unsur utama dari lapisan tersebut adalah Tungsten (W) hingga mencapai 83,63%

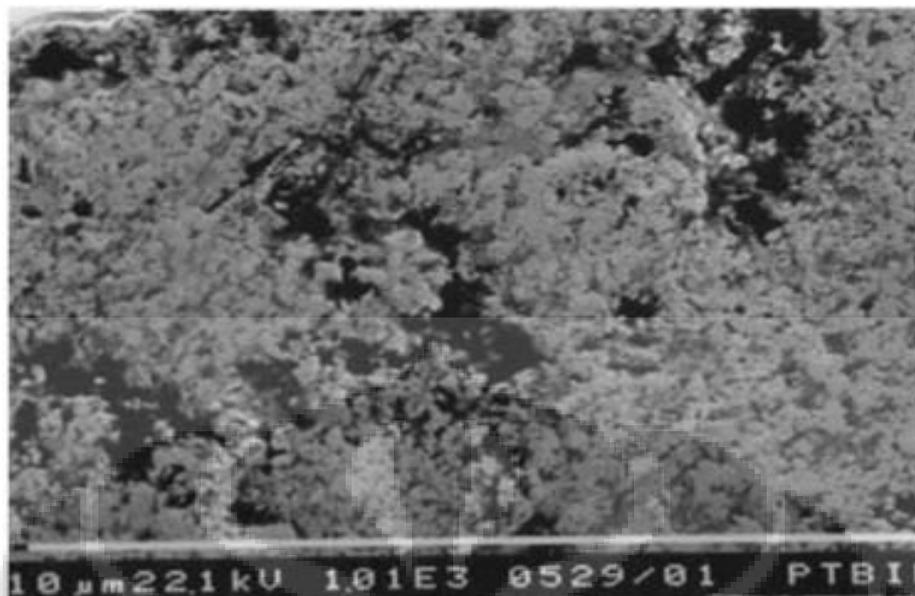
Dan berdasarkan analisis XRD menggunakan metode Rietveld yang telah dilakukan bahwa pada sampel dengan komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,0 telah diperoleh komposisi fraksi massa antara Tungsten Carbide (WC) dengan Cobalt (Co) berturut-turut adalah 72,19% dan 27,81% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 25



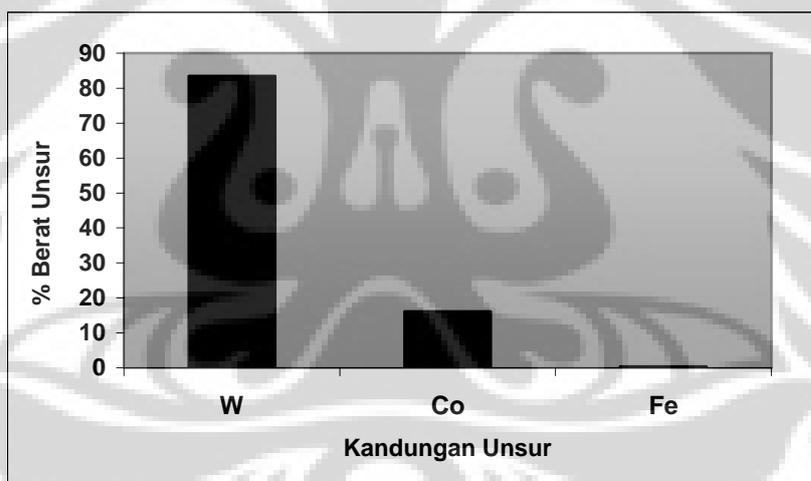
Gambar 4. 25 : Hasil analisis fraksi massa untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,0 nampak jumlah kandungan Cobalt (Co) naik menjadi 27,81% sesuai dengan fraksi massa hasil analisis XRD

Berdasarkan hasil foto SEM pada Gambar 4. 23 yang didukung dengan analisis EDX pada Gambar 4. 24, serta hasil analisis XRD pada Gambar 4. 25 memberikan kesimpulan bahwa identifikasi mikrostruktur dari cuplikan tersebut menunjukkan daerah yang berwarna putih diduga kuat adalah fasa Tungsten Carbide (WC) dan daerah berwarna hitam diduga kuat adalah fasa Cobalt (Co).

Gambar 4.26 merupakan foto SEM dengan berkas backscattered Elektrons untuk sampel A4 (rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,3).

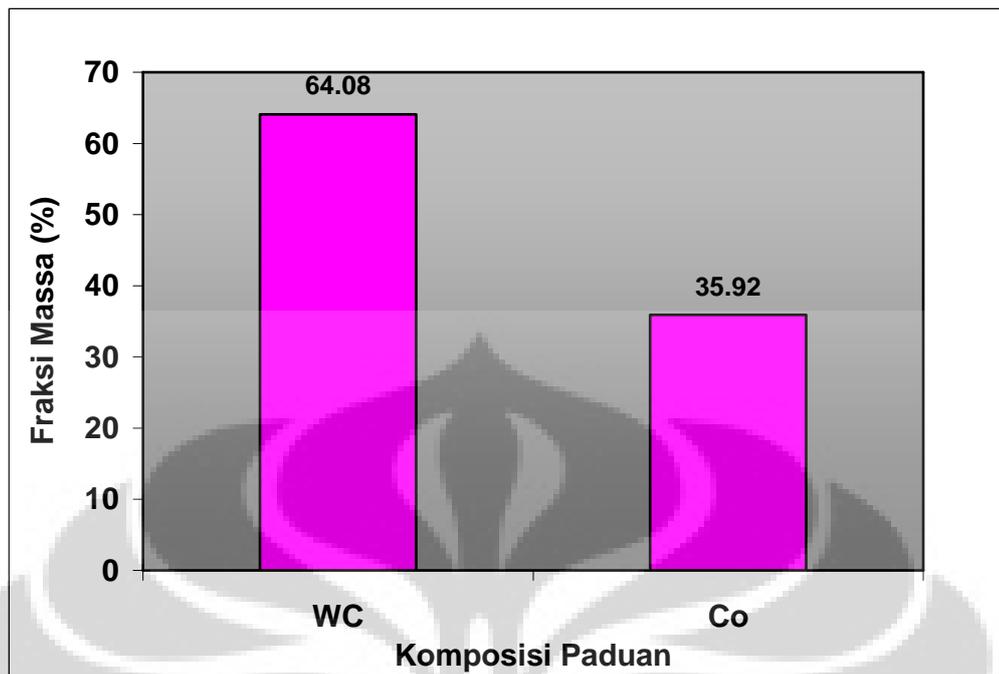


Gambar 4. 26 : Foto SEM *Backscattered Elektrons* perbesaran 500x pada lapisan dengan komposisi rasio tekanan Oxygen / Propana 6.3 di Batan foto morfologi permukaan lapisan terjadi perubahan warna, yaitu daerah berwarna hitam bertambah dan warna putih berkurang



Gambar 4. 27 : Grafik kandungan unsur vs % berat unsur hasil foto SEM dengan *Backscattered Elektrons* untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6.3, dari hasil analisis EDX di BATAN menunjukkan bahwa kandungan unsur utama dari lapisan tersebut adalah Tungsten (W) hingga mencapai 83,51%.

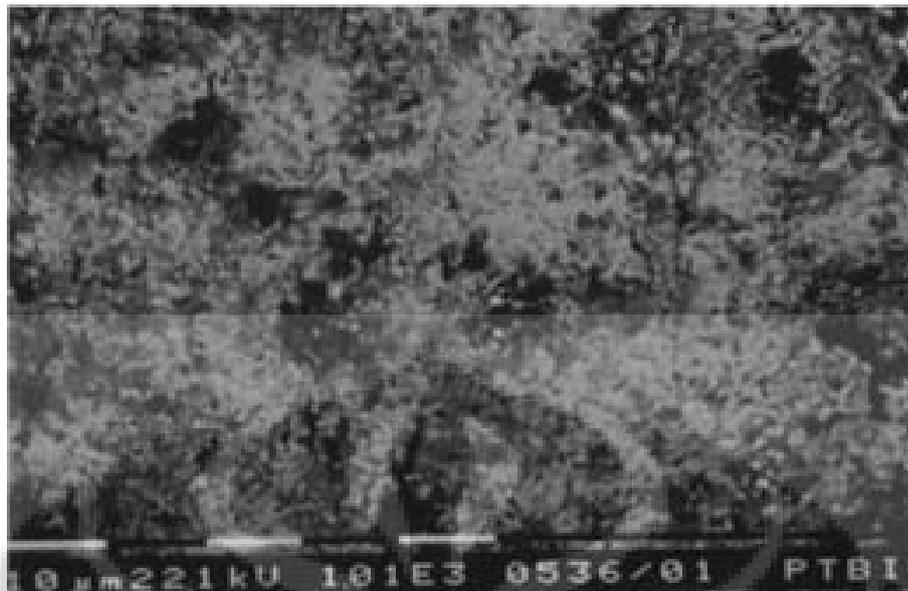
Dan berdasarkan analisis XRD menggunakan metode Rietveld yang telah dilakukan bahwa pada sampel dengan komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,3 telah diperoleh komposisi fraksi massa antara Tungsten Carbide (WC) dengan Cobalt (Co) berturut-turut adalah 64,08% dan 35,92%, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4. 28**.



Gambar 4. 28 : Hasil analisis fraksi massa untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,3 nampak jumlah kandungan Co meningkat menjadi 35,92% sesuai fraksi massa hasil analisis XRD.

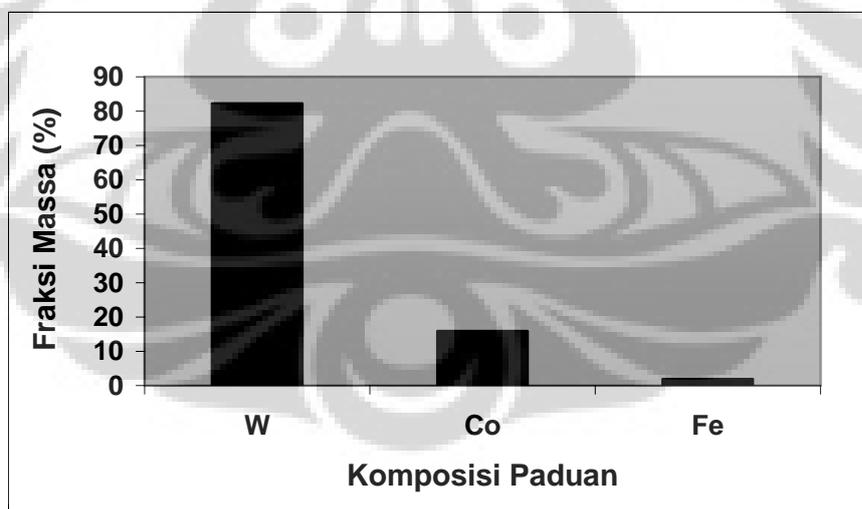
Berdasarkan hasil foto SEM pada Gambar 4. 26 yang didukung dengan analisis EDX pada Gambar 4. 27, serta hasil analisis XRD seperti pada **Gambar 4. 28**, memberikan kesimpulan bahwa identifikasi mikrostruktur dari cuplikan tersebut menunjukkan daerah yang berwarna putih diduga kuat adalah fasa Tungsten Carbide (WC) dan daerah yang berwarna hitam diduga kuat fasa Cobalt (Co).

Gambar 4. 29 merupakan foto SEM dengan berkas backscattered Elektrons untuk sampel A5 (rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,7).



Gambar 4. 29 : Foto SEM *Backscattered Elektrons* perbesaran 500x pada lapisan dengan komposisi rasio tekanan Oxygen / Propana 6.7 di Batan foto morfologi permukaan lapisan terjadi perubahan warna hampir berimbang, yaitu daerah berwarna hitam bertambah dan warna putih berkurang

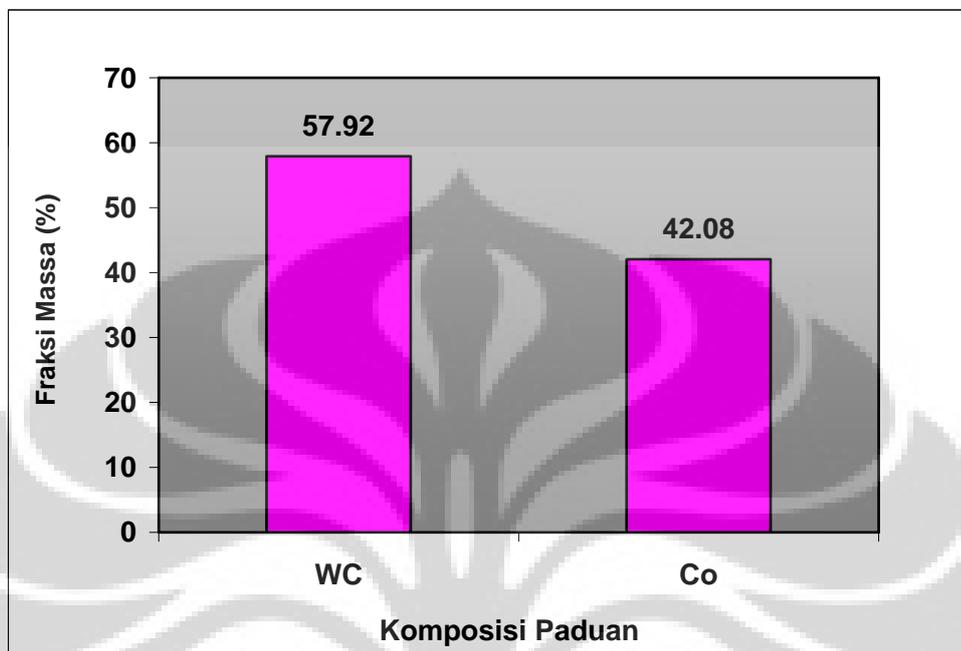
Dari hasil analisis EDX dengan peralatan di BATAN menunjukkan bahwa kandungan unsur utama dari lapisan tersebut adalah Tungsten (W) hingga mencapai 82,28% seperti pada Gambar 4. 30



Gambar 4. 30 : Grafik kandungan unsur vs % berat unsur hasil foto SEM dengan *Backscattered Elektrons* untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6.7, dari hasil analisis EDX di BATAN menunjukkan bahwa kandungan unsur utama dari lapisan tersebut adalah Tungsten (W)

Dan berdasarkan analisis XRD menggunakan metode Rietveld yang telah dilakukan bahwa pada sampel dengan komposisi rasio tekanan Oxygen dan

Propana 6,7 telah diperoleh komposisi fraksi massa Tungsten Carbide (WC) adalah 57,92% dan komposisi fraksi massa Cobalt (Co) meningkat menjadi 42.08% seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4. 31**.

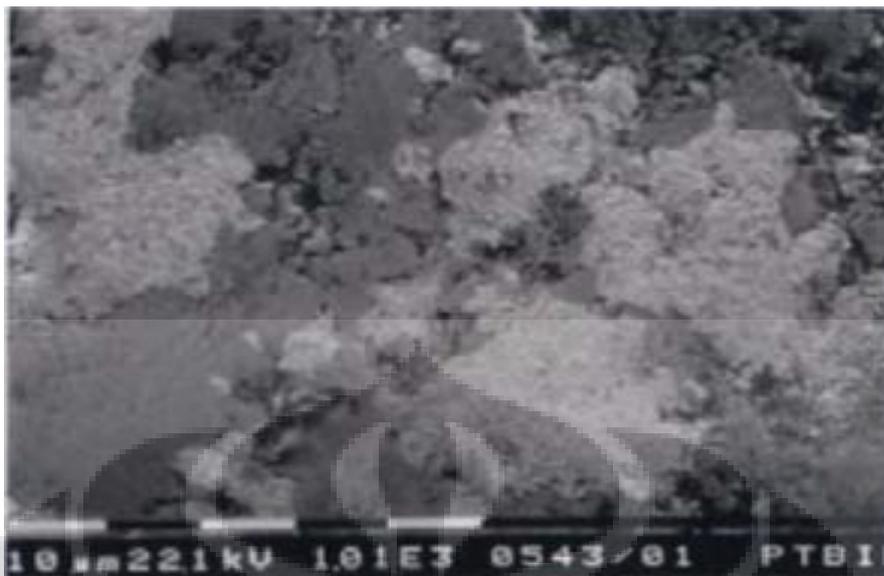


Gambar 4. 31 : Hasil analisis fraksi massa komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,7 nampak jumlah kandungan Cobalt (Co) makin meningkat menjadi 42.08% sesuai dengan fraksi massa hasil analisis XRD.

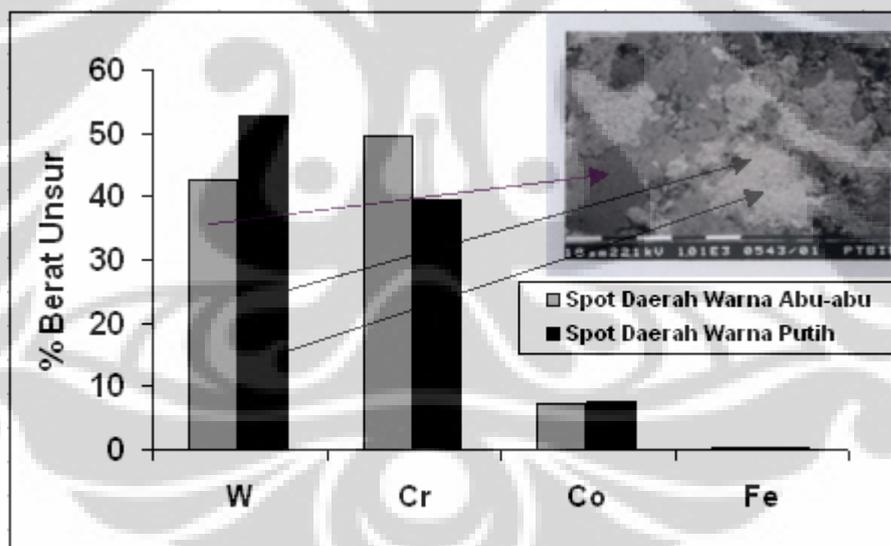
Berdasarkan hasil foto SEM pada Gambar 4. 29 yang didukung dengan analisis EDX pada Gambar 4. 30, serta hasil analisis XRD pada **Gambar 4. 31** yang memberikan kesimpulan bahwa identifikasi mikrostruktur dari cuplikan tersebut menunjukkan daerah yang berwarna putih diduga kuat adalah fasa Tungsten Carbide (WC) dan daerah yang berwarna hitam diduga kuat fasa Cobalt (Co).

4.2.2. Analisis Morfologi Lapisan dari Bahan JK 7184 powder [24]

Gambar 4. 32 merupakan foto SEM dengan berkas backscattered Elektrons untuk sampel B1 (rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 5,9).

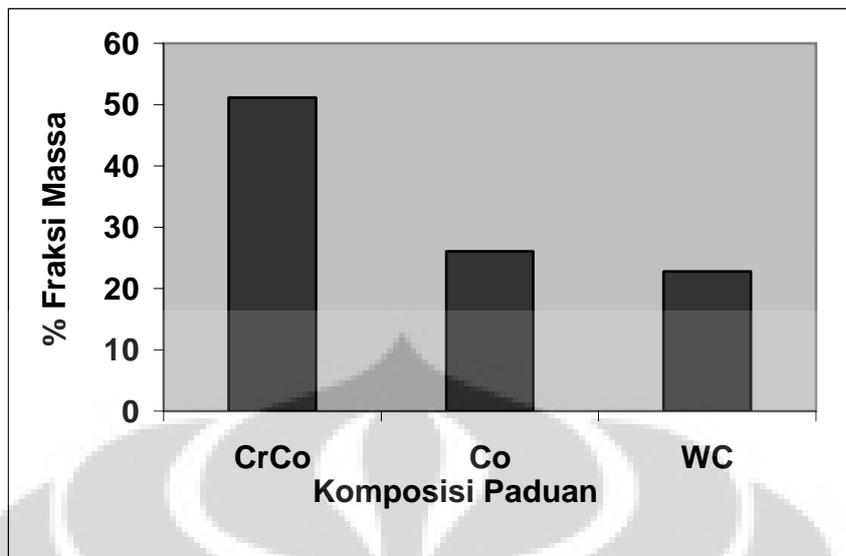


Gambar 4. 32 : Foto SEM *Backscattered Elektron* perbesaran 500x pada lapisan dengan komposisi rasio tekanan Oxygen / Propana 5,9 di Batan dari foto menunjukkan bahwa morfologi permukaan lapisan terdiri dari tiga warna yang sangat kontras, yaitu daerah berwarna putih, gray (abu-abu) dan hitam.



Gambar 4. 33 : Foto SEM dengan pebesaran 500x untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 5,9. Dari hasil analisis EDX kandungan unsur utama untuk warna putih dari lapisan tersebut adalah Tungsten (W) hingga mencapai 52,61% dan untuk warna gray adalah Chromium hingga mencapai 49,71%

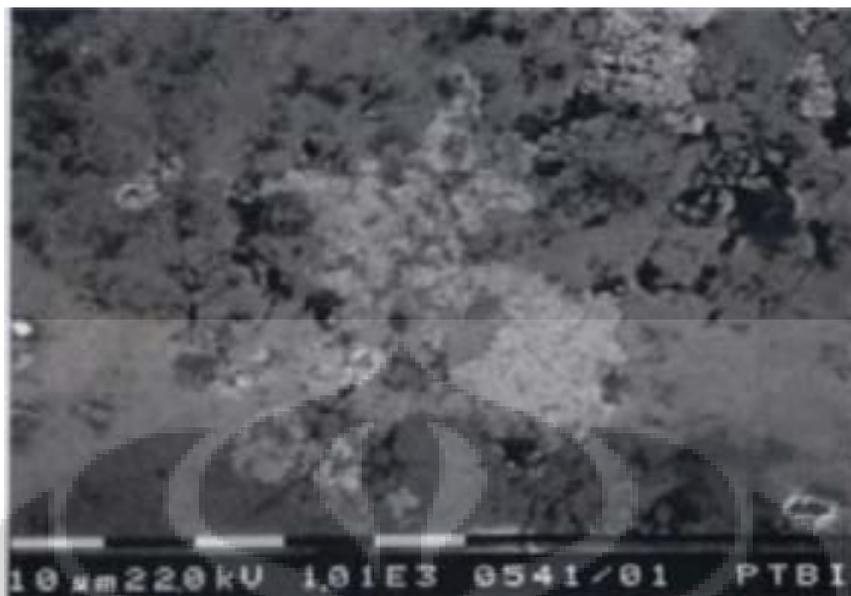
Dan berdasarkan analisis XRD menggunakan metode Rietveld yang telah dilakukan bahwa pada sampel dengan komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 5,9 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 34



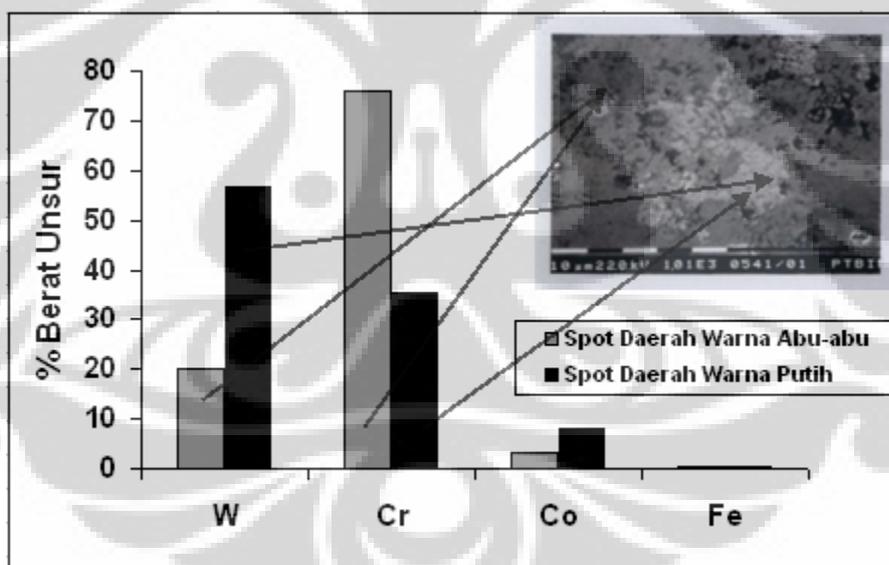
Gambar 4. 34 : Hasil analisis fraksi massa untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 5,9 diperoleh komposisi fraksi massa antara Chromium Cobalt (CrCo), Tungsten Carbide (WC) dan Cobalt (Co) berturut-turut adalah 51,17%, 22,78% dan 26,06%

Berdasarkan hasil foto SEM pada Gambar 4. 32 yang didukung dengan analisis EDX pada Gambar 4. 33, serta hasil analisis XRD pada Gambar 4. 34 memberikan kesimpulan bahwa identifikasi mikrostruktur dari cuplikan tersebut menunjukkan daerah yang berwarna gray (abu-abu) diduga kuat adalah fasa Chromium Cobalt (CrCo), daerah yang berwarna putih diduga kuat adalah fasa Tungsten Carbide (WC) dan daerah yang berwarna hitam diduga kuat adalah fasa Cobalt (Co).

Gambar 4. 35 merupakan foto SEM dengan berkas backscattered Elektrons untuk sampel B2 (rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,0).



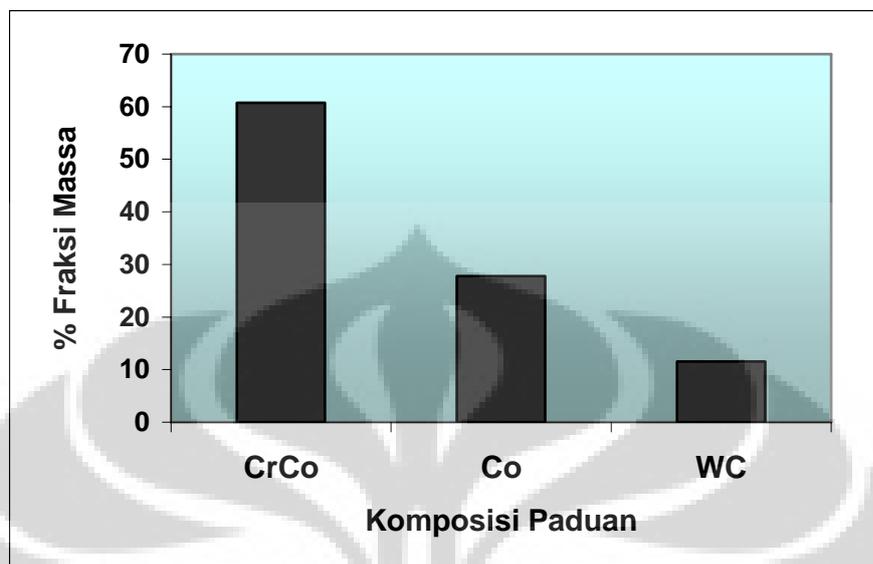
Gambar 4. 35 : Foto SEM *Backscattered Elektrons* perbesaran 500x pada lapisan dengan komposisi rasio tekanan Oxygen/Propana 6,0 menunjukkan bahwa foto dari morfologi permukaan lapisan terdiri dari tiga warna yang sangat kontras, yaitu daerah yang berwarna putih,gray (abu-abu), dan hitam.



Gambar 4. 36 : Foto SEM pebesaran 500x untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,0. Dari hasil analisis EDX dengan peralatan di BATAN menunjukkan bahwa kandungan unsur utama untuk warna putih dari lapisan tersebut adalah Tungsten (W) hingga mencapai 56,50% dan untuk warna gray adalah Chromium hingga 76,02%

Dan berdasarkan analisis XRD menggunakan metode Rietveld bahwa pada sampel dengan komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,0 diperoleh komposisi fraksi massa antara Chromium Cobalt (CrCo), Tungsten Carbide (WC)

dan Cobalt (Co) berturut-turut adalah 60,72%, 11,53% dan 27,75% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 37:



Gambar 4. 38 : Hasil analisis fraksi massa untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6.0, komposisi fraksi massa dari Chromium Cobalt (CrCo), Tungsten Carbide (WC) dan Cobalt (Co) berturut-turut adalah 60,72%, 11,53% dan 27,75% nampak jumlah kandungan Tungsten Carbide (WC) menurun sesuai dengan fraksi massa hasil analisis XRD.

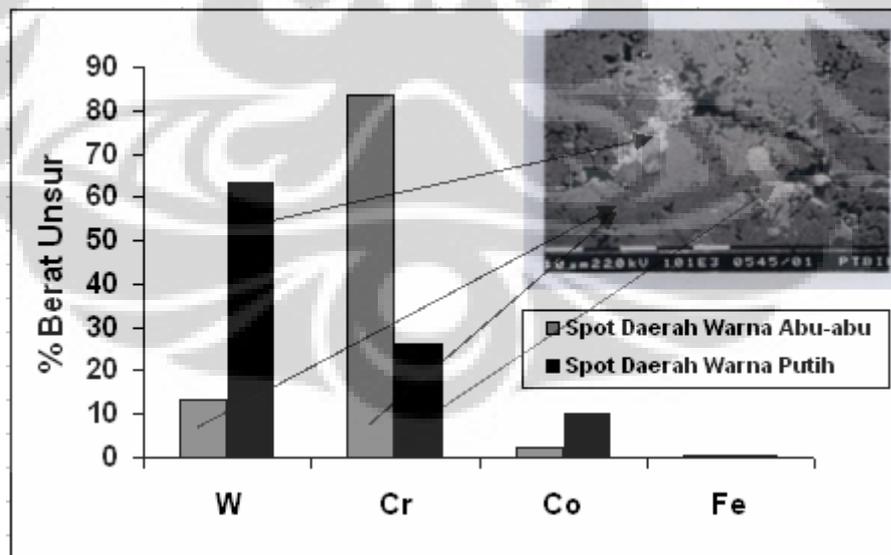
Berdasarkan hasil foto SEM pada Gambar 4. 35 yang didukung dengan analisis EDX pada Gambar 4. 36, serta hasil analisis XRD pada Gambar 4. 357 memberikan kesimpulan bahwa identifikasi mikrostruktur dari cuplikan tersebut menunjukkan daerah yang berwarna gray (abu-abu) diduga kuat adalah fasa Chromium Cobalt (CrCo), daerah yang berwarna putih diduga kuat adalah fasa Tungsten Carbide (WC) dan daerah yang berwarna hitam diduga kuat adalah fasa Cobalt (Co).

Gambar 4. 39 merupakan foto SEM dengan berkas backscattered Elektron untuk sampel B3 (rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,3).



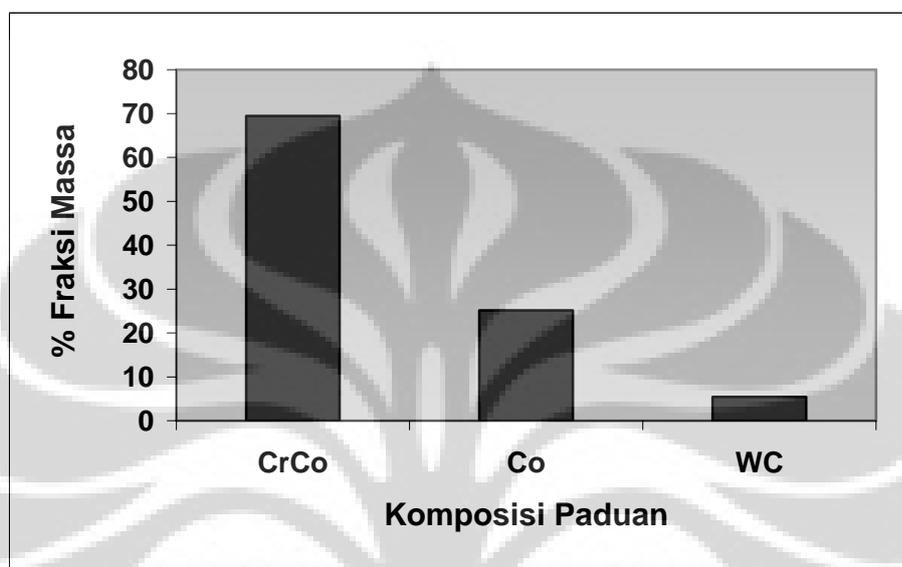
Gambar 4. 39 : Foto SEM *Backscattered Elektrons* perbesaran 500x pada lapisan dengan komposisi rasio tekanan Oxygen/Propana 6.3 menunjukkan bahwa foto dari morfologi permukaan lapisan terdiri dari tiga warna yang sangat kontras, yaitu daerah yang berwarna putih, gray (abu-abu) dan hitam.

Dari hasil analisis EDX dengan peralatan di BATAN menunjukkan bahwa kandungan unsur utama untuk warna putih dari lapisan tersebut adalah Tungsten (W) hingga mencapai 63,43% dan untuk warna gray adalah Chromium hingga mencapai 83,38% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 40.



Gambar 4. 40 : Foto SEM perbesaran 500x untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,3. Dari hasil analisis EDX dengan peralatan di BATAN menunjukkan bahwa kandungan unsur utama untuk warna putih dari lapisan tersebut adalah Tungsten (W) hingga mencapai 63,43% dan untuk warna gray adalah Chromium hingga mencapai 83,38%

Dan berdasarkan analisis XRD menggunakan metode Rietveld bahwa pada sampel dengan komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,3 diperoleh komposisi fraksi massa antara Chromium Cobalt (CrCo), Tungsten Carbide (WC) dan Cobalt (Co) berturut-turut adalah 69,43%, 5,41% dan 25,16% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 41



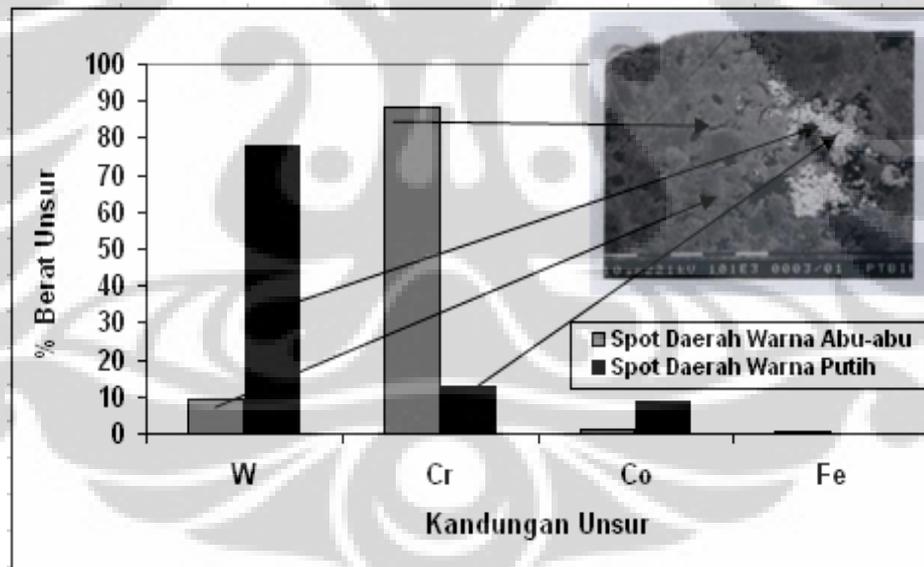
Gambar 4. 41 : Hasil analisis fraksi massa untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,3, komposisi fraksi massa antara Chromium Cobalt (CrCo), Tungsten Carbide (WC) dan Cobalt (Co) berturut-turut adalah 60,72%, 11,53% dan 27,75% nampak jumlah kandungan Tungsten Carbide (WC) menurun sesuai dengan fraksi massa hasil analisis XRD.

Berdasarkan hasil foto SEM pada Gambar 4. 39 yang didukung dengan analisis EDX pada Gambar 4. 40, serta hasil analisis XRD pada Gambar 4. 41 memberikan kesimpulan bahwa identifikasi mikrostruktur dari cuplikan tersebut menunjukkan daerah yang berwarna gray (abu-abu) diduga kuat adalah fasa Chromium Cobalt (CrCo), daerah yang berwarna putih diduga kuat adalah fasa Tungsten Carbide (WC) dan daerah yang berwarna hitam diduga kuat adalah fasa Cobalt (Co).

Gambar 4. 42 merupakan foto SEM dengan berkas *Backscattered Elektrons* untuk sampel B4 (rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,7).



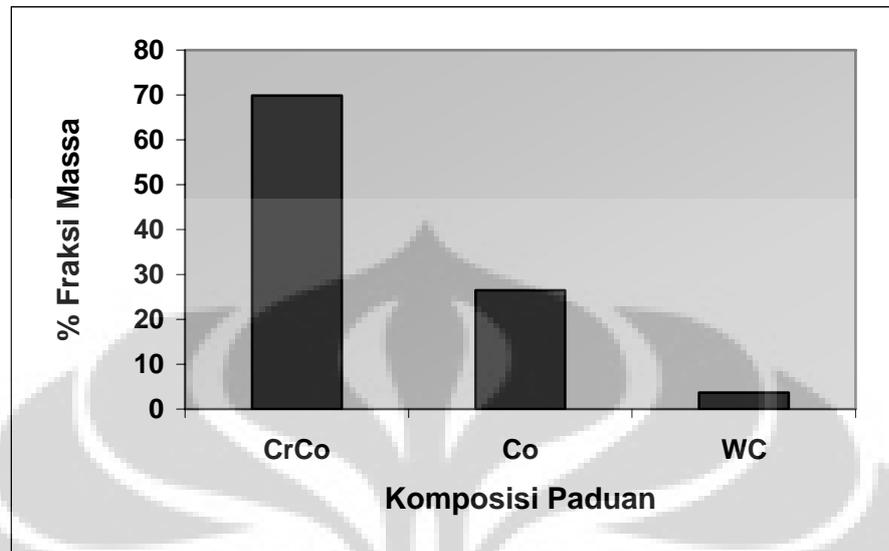
Gambar 4. 42 : Foto SEM perbesaran 500x untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,7 menunjukkan bahwa foto dari morfologi permukaan lapisan terdiri dari tiga warna yang sangat kontras, yaitu daerah berwarna putih, gray (abu-abu), dan hitam.



Gambar 4. 43 : Foto SEM perbesaran 500x untuk komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,7. Dari hasil analisis EDX menunjukkan bahwa kandungan unsur utama warna putih adalah Tungsten (W) mencapai 78,10% dan untuk warna gray adalah Chromium hingga 88,43%

Dan berdasarkan analisis XRD menggunakan metode Rietveld bahwa pada sampel dengan komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6,7 telah diperoleh komposisi fraksi massa antara Chromium Cobalt (CrCo), Tungsten

Carbide (WC) dan Cobalt (Co) berturut-turut adalah 69,89%, 3,65% dan 26,45% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 44



Gambar 4. 44 : Hasil analisis fraksi massa komposisi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana 6.7, komposisi fraksi massa antara Chromium Cobalt (CrCo), Tungsten Carbide (WC) dan Cobalt (Co) berturut-turut adalah 60,72%, 11,53% dan 27,75% nampak jumlah kandungan Tungsten Carbide (WC) menurun sesuai dengan fraksi massa hasil analisis XRD.

Berdasarkan hasil foto SEM pada Gambar 4. 42 yang didukung dengan analisis EDX pada Gambar 4. 43 serta hasil analisis XRD pada Gambar 4. 44 memberikan kesimpulan bahwa identifikasi mikrostruktur dari cuplikan tersebut menunjukkan daerah yang berwarna gray (abu-abu) diduga kuat fasa Chromium Cobalt (CrCo), daerah yang berwarna putih diduga kuat adalah fasa Tungsten Carbide (WC) dan daerah yang berwarna hitam diduga kuat fasa Cobalt (Co).

4.3. Perhitungan ukuran kristalit dengan Formula Debye – Shcerer

Besarnya diameter ukuran grain / kristalit (*grain size*) dapat dihitung berdasarkan formula Debye shcerer dari hasil analisis metode Rietveld pada sampel ini, yaitu dengan memasukkan parameter sudut pada bidang tertentu dan lebar setengah puncak maksimum (*FWHM*) pada bidang tersebut.

$$D_{hkl} = k \lambda (\beta \cos \theta)^{-1} \dots\dots\dots (4.1)$$

Hasil perhitungan diameter grain/kristalit ini diperoleh seperti pada Tabel 4.6 :

Tabel 4. 6 : Hasil perhitungan ukuran diameter grain

Rasio Oxygen / Propana	Ukuran Diameter Grain (nm)				
	JK 7117 Powder		JK 7148 Powder		
	WC	Co	WC	CrCo	Co
5,1	20.89	4.27	15.71	4.06	15.18
5,9	24.54	2.97	15.02	3.92	11.92
6,0	23.53	2.02	14.85	4.14	15.77
6,3	31.94	2.74	15.19	4.38	18.73
6,7	35.51	11.96	15.71	4.06	15.18

Dari hasil perhitungan ukuran diameter grain/kristalit tersebut dapat disimpulkan bahwa variasi rasio tekanan Oxygen terhadap Propana dapat menyebabkan perbedaan ukuran grain pada masing-masing fasa yang terbentuk. Besarnya perbandingan masing-masing ukuran grain pada fasa yang terbentuk diperlihatkan pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8

Tabel 4. 7 : Perbandingan ukuran grain untuk bahan JK 7117 Powder

Rasio tekanan Oxygen / Propana	Ukuran Grain (nm)		Rasio Diameter Grain WC/Co
	WC	Co	
5,1	20.83	4.27	5
5,9	24.54	2.97	8
6,0	23.53	2.02	12
6,3	31.94	2.74	10
6,7	35.51	11.96	3

Tabel 4. 8 : Perbandingan ukuran diameter grain bahan JK 7184 Powder

Rasio tekanan Oxygen / Propana	Ukuran Grain (nm)			Rasio Diameter Grain terhadap CrCo	
	CrCo	WC	Co	WC	Co
5,9	4.06	15.71	15.18	3.75	3.75
6,0	3.92	15.02	11.92	3.75	3
6,3	4.14	14.85	15.77	3.75	4
6,7	4.38	15.19	18.73	3.75	4.75

Rasio ukuran diameter grain pada JK 7184 powder, terlihat ukuran diameter grain untuk fasa Co terjadi pertumbuhan sedangkan ukuran diameter grain untuk fasa WC dan fasa CrCo relatif tetap.

4.4. Karakterisasi Kekerasan

Pengukuran kekerasan menggunakan alat micro hardness tester matsuzawa dengan rumusan sebagai berikut :

$$HV = 1.854 \frac{F}{d^2} \dots\dots\dots (4.2)$$

Sampel dipersiapkan dalam bentuk plat, kemudian sampel dimounting dengan tujuan untuk memperoleh bidang datar pada saat dilakukan pengukuran. Setelah sampel dinyatakan siap diukur maka selanjutnya dilakukan penjejakan dengan variasi *indentor* 200 gram, 300 gram, dan 400 gram. Tabel 4. 9 dan Tabel 4. 10 merupakan hasil pengukuran kekerasan yang telah dikonversi ke *HV* dengan beban indentor 200 gram, 300 gram dan 400 gram yang berturut-turut untuk bahan JK 7117 dan JK 7184 powder.

Tabel 4. 9 : Hasil pengukuran kekerasan untuk bahan JK 7117 Powder

Sampel A (JK 7117)	Nilai Kekerasan (HV)		
	Beban Indentor (gram)		
	200	300	400
A1 (5,1)	356,3	437,4	439,0
A2 (5,9)	359,7	379,1	377,8
A3 (6,0)	440,0	524,1	611,4
A4 (6,3)	426,9	521,9	552,2
A5 (6,7)	341,7	404,2	372,4

Tampak dari Tabel 4.9 bahwa untuk rasio tekanan Oxygen dan tekanan Propana optimal adalah 6,0 diperoleh kekerasan paling tinggi untuk beban indentor 200g, 300g dan 400g.

Tabel 4. 10 : Hasil pengukuran kekerasan untuk bahan JK 7184 Powder

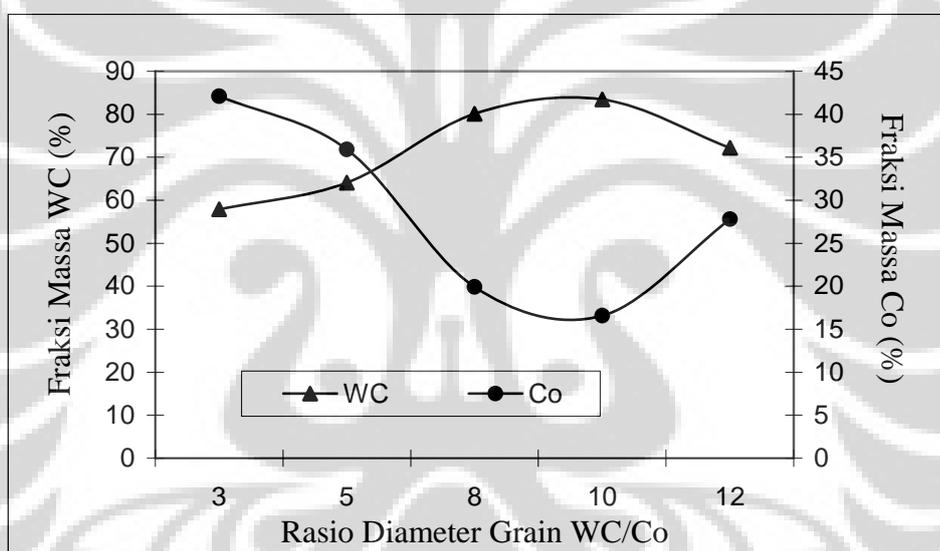
Sampel B (JK7184)	Nilai Kekerasan (HV)		
	Beban Indentor (gram)		
	200	300	400
B1 (5,9)	593,8	586,9	588,8
B2 (6,0)	682,5	650,6	620,3
B3 (6,3)	534,5	556,6	452,4
B4 (6,7)	533,0	448,1	394,3

Tampak dari Tabel 4.10 bahwa untuk rasio tekanan Oxygen terhadap Propana optimum sampel B adalah 6,0 diperoleh kekerasan paling tinggi untuk beban indentor 200g, 300g dan 400g.

4.5. Pembahasan Hasil Penelitian

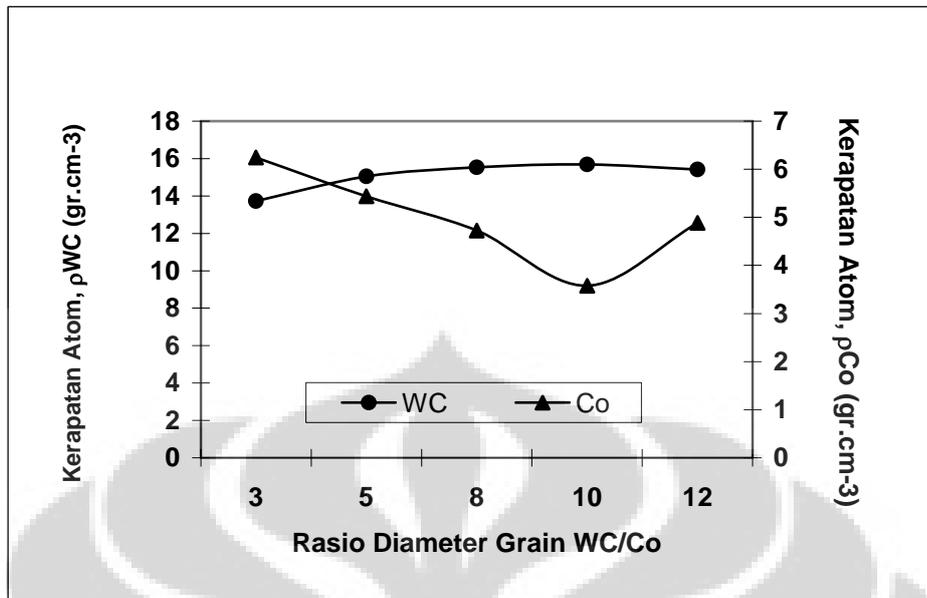
4.5.1. Analisis Mikrostruktur Lapisan dari bahan JK 7117 powder

Pada Gambar 4. 45 menunjukkan hubungan antara fraksi massa dari fasa yang terkandung di dalam lapisan dari hasil analisis Rietveld dengan rasio ukuran diameter grain pada bahan JK 7117 powder. Tampak bahwa semakin tinggi rasio ukuran diameter grain mengakibatkan pembentukan fasa WC semakin tinggi sampai pada batas rasio diameter grain WC / Co = 10, kemudian pembentukan fasa ini menurun. Dan begitu pula sebaliknya dengan fasa Co yang makin naik. Hal ini berarti komposisi optimum untuk sampel A (JK7117) diperoleh pada rasio tekanan Oxygen terhadap Propana sebesar 6.0 dengan komposisi fasa WC yang tinggi dan fasa Co yang rendah terjadi pada rasio diameter grain WC / Co = 10.

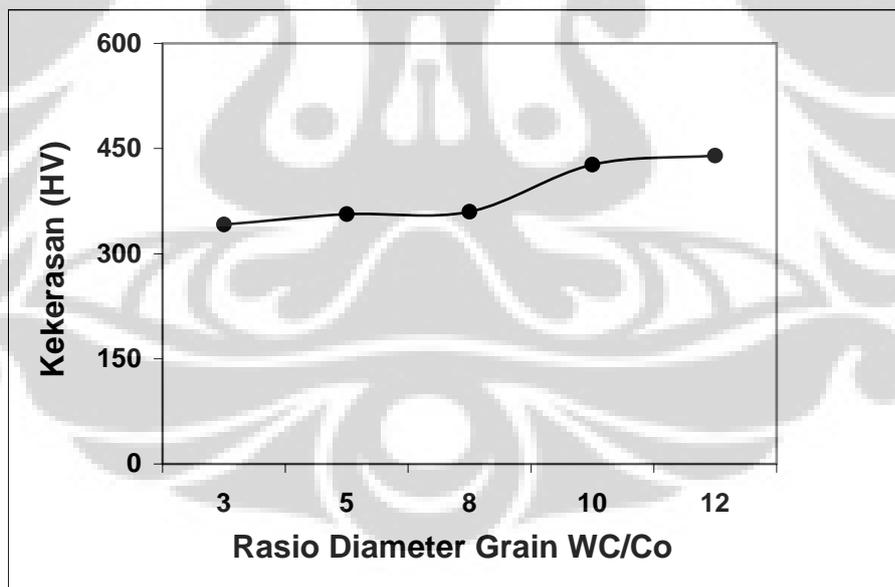


Gambar 4. 45 : Fraksi massa pada lapisan dari bahan JK 7117 powder. Tampak bahwa semakin tinggi rasio diameter grain mengakibatkan pembentukan fasa WC semakin naik sampai pada batas rasio maksimum WC/Co=10, hal ini disebabkan tekanan Oxygen dapat mempercepat proses pemanasan dan meningkatkan suhu pemanasan. WC memiliki titik lebur lebih tinggi dibandingkan dengan Co, sehingga dengan meningkatnya komposisi tekanan Oxygen ini semakin banyak fasa Co yang segera melebur dan berkurangnya fasa WC pada lapisan.[23]

Secara mikroskopik menunjukkan bahwa rasio ukuran diameter grain WC terhadap Co ini ternyata berdampak pada kerapatan atom dan volume pada masing-masing fasa seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4. 46

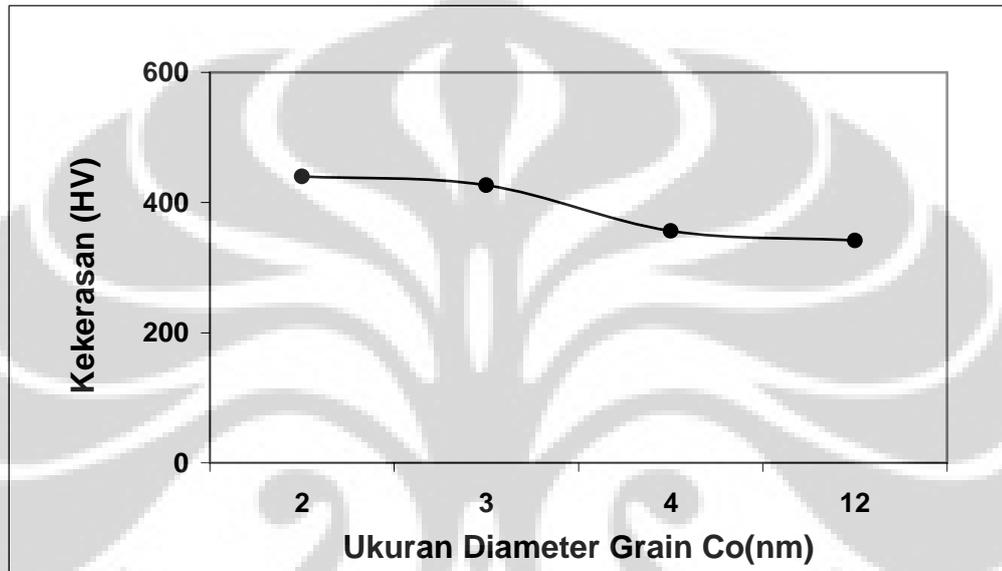


Gambar 4. 46 : Kerapatan atom pada fasa WC dan Co, bahwa semakin besar rasio diameter grain dapat meningkatkan kerapatan fasa WC dan menurunkan kerapatan fasa Co sampai pada batas rasio maksimum WC/Co 10 kemudian setelah diperbesar lagi, kerapatan WC kembali menurun dan kerapatan Co meningkat. Meningkatnya kerapatan Co ini diduga karena menurunnya volume Co.



Gambar 4. 47: Kurva kekerasan terhadap rasio diameter grain, berdasarkan pengukuran kekerasan menunjukkan bahwa semakin tinggi rasio ukuran diameter grain semakin tinggi pula kekerasan lapisan tersebut, kekerasan paling tinggi diperoleh pada rasio diameter grain WC/ Co = 12, jadi komposisi yang tepat untuk memperoleh kerapatan yang maksimal antara fasa WC dan fasa Co pada rasio diameter grain WC/ Co = 12.

Berdasarkan Gambar 4.46 untuk mendapatkan kekerasan tertinggi ternyata pada rasio diameter grain WC/Co = 12 dan didapat pada saat ukuran diameter grain fasa WC = 24 nm dan ukuran diameter grain fasa Co = 2 nm. Dan ternyata fasa Co ini yang mempengaruhi kekerasan komposit pada lapisan. Sedangkan pada Gambar 4.47 menunjukkan hubungan antara kekerasan terhadap ukuran diameter grain fasa Co pada bahan JK 7117 powder.



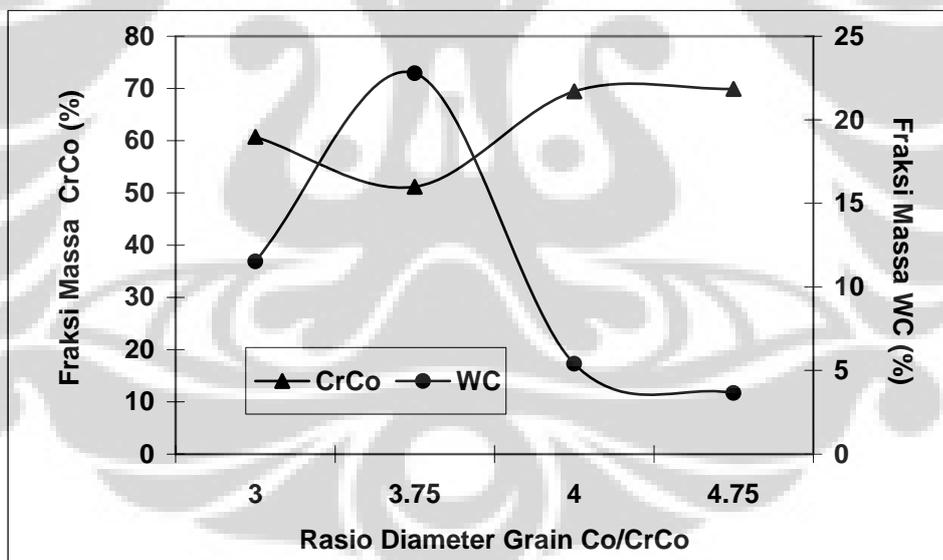
Gambar 4. 48 : Kurva kekerasan terhadap ukuran diameter grain Co, Berdasarkan pengukuran kekerasan menunjukkan bahwa semakin besar ukuran diameter grain fasa Co kekerasan lapisan semakin kecil, dan ternyata fasa Co ini yang mempengaruhi kekerasan komposit pada lapisan.

Dari serangkaian karakterisasi mikroskopik tersebut yang sangat menarik untuk dipahami adalah pada komposisi rasio ukuran diameter grain berapa, lapisan tersebut memiliki kekerasan yang paling tinggi. Berdasarkan pengukuran kekerasan menunjukkan bahwa semakin tinggi rasio ukuran diameter grain semakin tinggi pula kekerasan lapisan tersebut. Pada penelitian ini kekerasan paling tinggi diperoleh pada rasio ukuran diameter grain WC/Co = 12. Hal ini berarti bahwa pada rasio ukuran grain WC/Co = 12 merupakan komposisi yang tepat untuk memperoleh kerapatan yang maksimal antara fasa WC dan fasa Co.

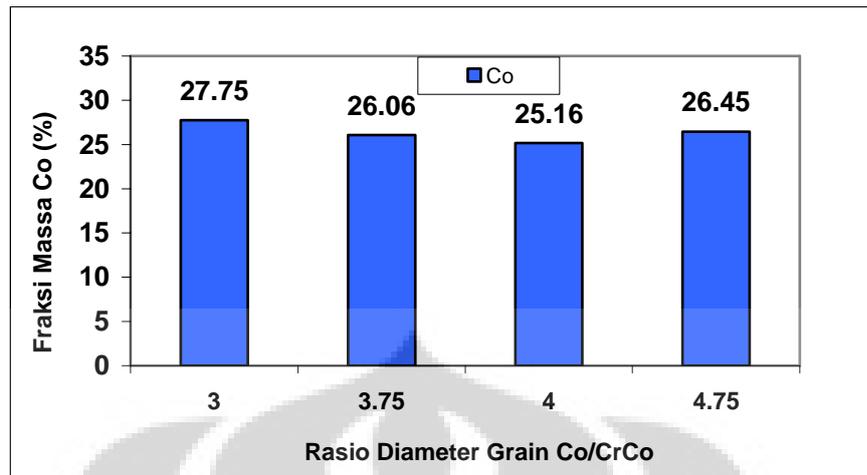
4.5.2. Analisis Mikrostruktur Lapisan dari bahan JK 7184 Powder[24]

Analisa mikrostruktur untuk lapisan dari JK 7184 menunjukkan bahwa yang berubah dari data penelitian adalah fasa Co, sedangkan untuk dua fasa lain yaitu fasa WC dan fasa CrCo tetap, maka rasio diameter grain yang digunakan adalah Co terhadap CrCo. Pada Gambar 4. 49 menunjukkan hubungan antara fraksi massa dengan rasio ukuran diameter grain dari fasa yang terbentuk pada lapisan hasil analisis Rietveld berbahan JK7184 powder. Tampak bahwa pada rasio diameter grain $Co/CrCo = 3,75$ didapatkan pembentukan fasa WC sangat tinggi hampir 75% dan fasa CrCo menurun hanya sekitar 50%, sedangkan fraksi massa fasa Cobalt cenderung tetap Gambar 4.50.

Kemudian dengan meningkatnya rasio diameter grain Co fasa WC yang terbentuk menurun drastis menjadi hanya sekitar 10% dan fasa CrCo meningkat tajam menjadi sekitar 70%. Hal ini berarti dengan komposisi fasa WC yang tinggi dan fasa CrCo yang rendah terjadi pada rasio diameter grain $Co/ CrCo = 3,75$.

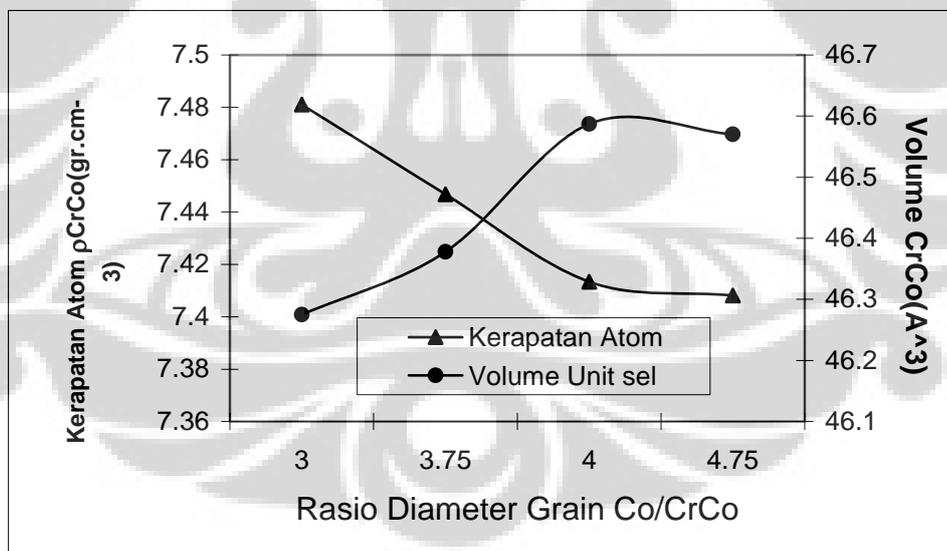


Gambar 4. 49 : Fraksi massa pada lapisan dari bahan JK 7184 powder pada rasio diameter grain $Co/CrCo = 3,75$ fasa WC sangat tinggi hampir 75% dan fasa CrCo hanya sekitar 50% terjadi penurunan fasa CrCo dengan semakin naiknya rasio diameter grain[24]

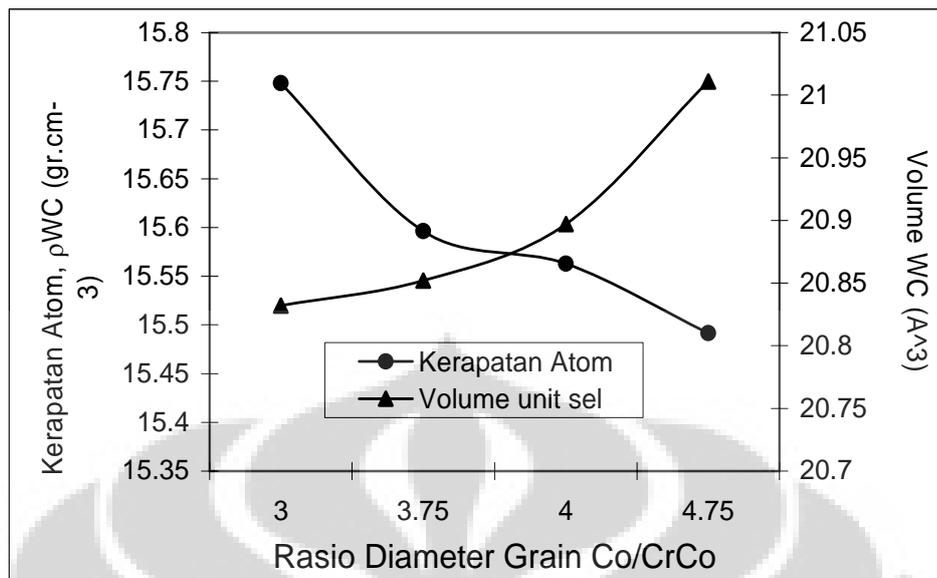


Gambar 4.50: Kandungan %Fraksi massa Cobalt cenderung tetap pada lapisan dari bahan JK 7184 Powder untuk rasio diameter grain Co terhadap CrCo.

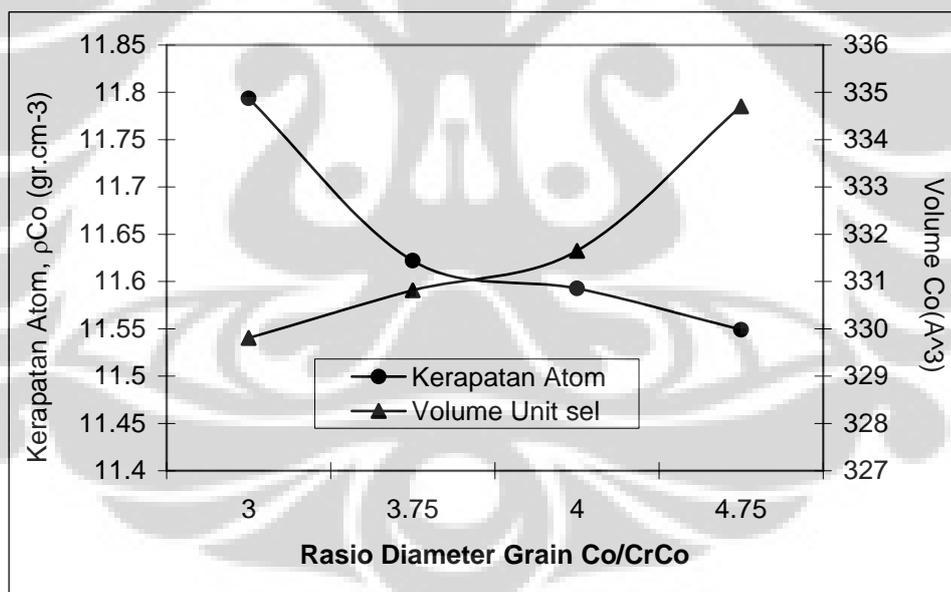
Secara mikroskopik menunjukkan bahwa rasio ukuran diameter grain Co/CrCo ini ternyata juga memberikan dampak pada kerapatan atom dan volume unit sel pada masing-masing fasa yang terbentuk seperti diperlihatkan pada Gambar 4.51, Gambar 4.52 dan Gambar 4.53



Gambar 4. 51 : Kerapatan atom dan volume unit sel pada fasa CrCo bahwa semakin besar rasio ukuran diameter grain Co/ CrCo dapat menurunkan kerapatan CrCo, menurunnya kerapatan fasa CrCo ini karena meningkatnya volume CrCo.



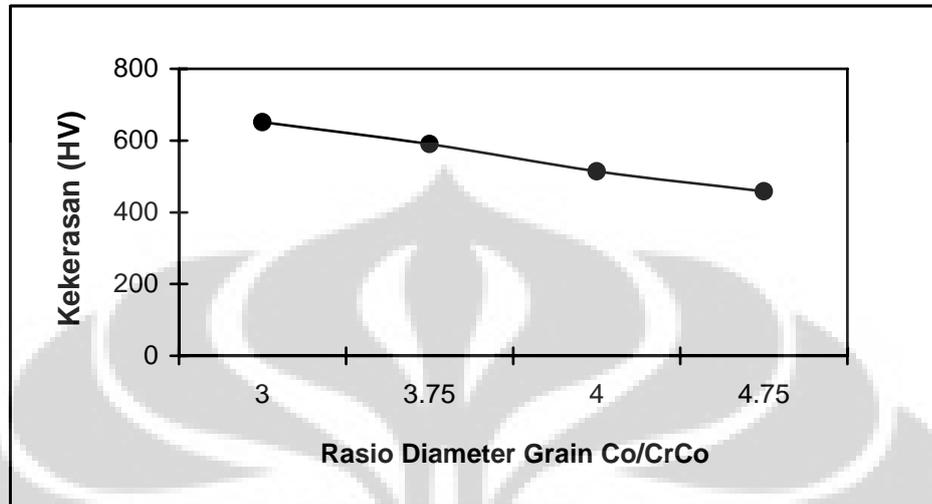
Gambar 4. 52 : Kerapatan atom dan volume unit sel pada fasa WC, bahwa semakin besar rasio diameter grain Co/CrCo dapat menurunkan kerapatan WC, menurunnya kerapatan fasa WC ini karena meningkatnya volume WC untuk volume yang makin besar maka kerapatannya makin kecil dan sebaliknya.



Gambar 4. 53 : Kerapatan atom dan volume unit sel pada fasa Co, bahwa semakin besar rasio diameter grain Co terhadap CrCo dapat menurunkan kerapatan Co, menurunnya kerapatan fasa Co ini diduga karena meningkatnya volume Co.

Tampak pada Gambar 4.51, Gambar 4.52 dan Gambar 4.53 bahwa semakin besar rasio diameter grain dapat menurunkan kerapatan fasa CrCo, fasa WC dan fasa Co. Menurunnya kerapatan ketiga fasa yang terbentuk diduga karena meningkatnya volume masing-masing fasa, dan meningkatnya volume ketiga fasa ini berasal

dari bertambahnya parameter kisi CrCo, WC maupun Co. Untuk kekerasan terbaik ternyata sangat dipengaruhi dari pertumbuhan ukuran diameter grain fasa Co seperti terlihat pada Gambar 4.54 :



Gambar 4. 54 : Grafik hubungan kekerasan terhadap rasio diameter grain, bahwa semakin tinggi rasio ukuran diameter grain Co/CrCo semakin menurun kekerasan lapisan karena naiknya rasio diameter grain menyebabkan kerapatannya menurun, kekerasan paling tinggi terjadi pada ukuran diameter grain Co terkecil.

Berdasarkan pengukuran kekerasan menunjukkan bahwa semakin tinggi rasio ukuran diameter grain Co/CrCo semakin menurun kekerasan lapisan tersebut. Karena dengan meningkatnya rasio ukuran diameter grain kerapatan atom masing-masing fasa juga menurun. Kontribusi utama diduga berasal dari diameter grain fasa Co. Fasa Co ini yang akan mengisi ruang-ruang kosong diantara grain-grain CrCo dan WC yang cukup besar. Jadi pada penelitian ini kekerasan paling tinggi diperoleh pada rasio ukuran diameter grain Co/CrCo = 3. Hal ini berarti bahwa pada komposisi ukuran diameter grain Co terkecil adalah komposisi yang tepat untuk memperoleh kerapatan yang maksimal antara fasa CrCo, fasa WC dan fasa Co (Cobalt).

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian pengaruh mikrostruktur terhadap kekerasan pada *lapisan WC-17%Co* dengan menggunakan Metode *High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) Thermal Spray* dari bahan JK 7117 dan JK 7184 powder perlakuan variasi tekanan C_3H_8 dan tekanan O_2 telah berhasil dilakukan. Beberapa kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut :

- 5.1 Analisis mikrostruktur lapisan menunjukkan bahwa variasi tekanan Oxygen dan tekanan Propana akan menghasilkan rasio ukuran diameter grain yang bervariasi.
- 5.2 Analisis dengan SEM menunjukkan bahwa morfologi permukaan lapisan memiliki struktur yang tidak rata dengan ukuran partikel yang hampir homogen tetapi porositasnya masih cukup tinggi.
- 5.3 Analisis XRD pada lapisan dari bahan dasar JK 7117 terdapat fasa WC dan fasa Co, dan pada lapisan dari bahan dasar JK 7184 terdapat fasa WC, fasa Co dan fasa CrCo.
- 5.4 Komposisi optimum *sampel A* (lapisan dari bahan bubuk JK 7117) untuk memperoleh kekerasan terbaik terjadi pada rasio ukuran diameter grain WC/Co = 12 dan memiliki kerapatan atom relatif tinggi dengan komposisi fasanya 72,19% fasa WC dan 27,81 % fasa Co.
- 5.5 Komposisi optimum *sampel B* (lapisan dari bahan bubuk JK 7184) untuk memperoleh kekerasan terbaik terjadi pada rasio ukuran diameter grain Co/CrCo = 3 dan memiliki kerapatan atom relatif tinggi dengan komposisi fasanya 60,72% fasa CrCo, 11,53% fasa WC dan 27,75 % fasa Co.

Demikian hasil penelitian pengaruh mikrostruktur terhadap kekerasan pada lapisan WC-17%Co dengan Metode *High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) Thermal Spray* semoga ada manfaat yang dapat diaplikasikan oleh industri, saran-saran masih sangat diperlukan untuk menyempurnakan karya ini.

DAFTAR REFERENSI

1. George E. Totten, A. Lombardi Neto, L.C. Casteletti, FASM, Portland State University - Department of Mechanical and Materials Engineering, P.O. Box 751, Portland, [http:// www.getottenassociates.com](http://www.getottenassociates.com)
2. German, R.M., Powder Metallurgy Science, second edition, Metal Powder Industries Federation, New Jersey, 1994.
3. Brandon, David. Kaplan, Wayne D. (September 2003). *Microstruktural Characterization Of Material*, Israel: Israel Institute of Technology.
4. HVOF process, <http://www.hvof.com/hvof.htm>
5. Irving, B., Knight, R., Smith, R.W., The HVOF Process, The Hottest Topic in The Thermal Spray Industry, *Welding Journal*, pp 25-30, July 1993.
6. Callister, William D. (1993). *Materials science and Engineering an Introduction*. edisi 3 h.504. New York: Department of Materials Science and Engineering The University of Utah.
7. Richard Halldearn, Flame spraying, http://www.twi.co.uk/j32k/protected/band_3/ksrdh002.html
8. Richard Halldearn Plasma Spraying, http://www.twi.co.uk/j32k/protected/band_3/ksrdh002.html
9. Richard Halldearn, Arc spraying, http://www.twi.co.uk/j32k/protected/band_3/ksrdh002.html
10. Hart, K.W. David. Harper, M.J. Gill, Eutectic Canada Inc., Edmonton, Alberta, *Studies in Wear Resistance Using HVOF, PTAW and Spray Fusion Surfacing* Canada G.R. Heath Castolin S.A., Lausanne, Switzerland Case
11. Harper, D.H. Hart, D. (2000). *New Process for Improved Tungsten Carbide Overlays*, M.J. Gill and G.R. Heath. Poster Presentation, Ed. C.C. Berndt, ITSC.
12. Van Vlack, H., Lawrence. 6th Edition (1998). *Element of Material Science and Engenering*. Addison Wella Publishing Company, inc.
13. *Vickers Hardness Test* <http://gordonengland.co.uk/hardness/vickers.html>

14. Handbook of tribology: material coating and surface treatment, Bhusan, B. and Gupta, B.K., McGraw-Hill, 1991
15. Warren, B.E., X-ray Diffraction, Dover Publications, Inc., New York, 1990.
16. *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*. (1981). JEOL JSM-35CF Scanning Microscope Instruction Manual No. IEP35CF-2.J. I. Goldstein, et al. New York: New York Plenum Press.
17. S.Mahajan, M. L. Green, D. Brasen, Metell. Trans. A 8, 283 (1997); V. P. Dmitriev, S.B.Rochal, Y.M.Gufanand P. Toledano Phys.Rev.Lett. 62, 2495 (1998); P.Toledano, G.Krexner, M. Prem, H.P. Webwr, and V.P Dmitriev, Phys. Rev. B..64, 144104(2001)
18. C.R Houska, b. L. Averbach, and M. Cohen, Acta Metall. 8, 81 (1960); H. Schumann, Z. Metalkd. 60, 322 (1969); S. Kajiwara, S. Ohno, and K. Honma, Philos.mag. a 63, 625 (1991); C. Khurt and L. Schultz, J. Appl. Phys. 73, 6588 (1993)
19. J. Sort at all, Philos. Mag.A 83.439 (2003), dari J. Sort,S. Surinach, J.S. Munoz, M.D. Baro, M. Wojcik, E. Jedryka, S. Nadolski, N. Sheludko, J. Nogues, Role of Stacking Fault in the Structure and Magnetic Properties of Ball Milling Cobalt, Phys. Rev. B..68, 0144XX (2003)
20. Durairajan, Anand. Colon-Mercado, Hector. Halan, Bara. White, Ralph. Pavov, Branco. (Agustus 2001). *Electrochemical Charterization of Cobalt-encapsulated nickel as catodes for MCFC*. Columbia: Departement chemical of engenering, university of shoud Carolina.
21. Barth, Johannes, V. Costantini, Giovanni. & Kern, Klaus. (September 2005). *Engineering atomic and molecular nanostructures at surfaces*, NATURE04166, Vol 437, 29
22. Karthikeyan, J. Berndt, J. Tikkanen, S. Reddy, H. Herman, (Oktober 1997), *Plasma spray synthesis of nanomaterial powders and deposits*. Materials Science and Engineering A238, 275-286.
23. Tesis : *Analisis Struktur Kristal dan Komposisi fasa pada Lapisan Tungsten Carbide/Cobalt (WC/Co) yang dibuat dengan metode HVOF*, Agus Santosa, NPM 6305220041. 2008
24. Tesis : *Preparasi dan Karakterisasi Lapisan JK 7184 Jetkote pada Substrate Baja yang dibuat dengan HVOF*, Sentot Imam Suwarji, NPM 6305220343. 2008