



UNIVERSITAS

INDONESIA

**PREPARASI DAN KARAKTERISASI LAPISAN JK 7184 JETKOTE
PADA SUBSTRAT BAJA YANG DIBUAT DENGAN TEKNIK HVOF
(HIGH VELOCITY OXYGEN FUEL)**

Tesis

**Diajukan sebagai salah satu syarat utama memperoleh gelar Magister Fisika
Murni dan Terapan Pasca Sarjana Universitas Indonesia**

**Sentot Imam Suwaji
NPM: 6305220343**

**PROGRAM PASCASARJANA
PROGRAM STUDI FISIKA MURNI DAN TERAPAN
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS INDONESIA
JAKARTA, 2008**

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : SENTOT IMAM SUWAJI
NPM : 6305220343
Program Studi : Fisika Murni dan Terapan
Judul Tesis : Preparasi dan Karakterisasi Lapisan JK 7184
Jetkote pada Substrat Baja yang dibuat dengan
Teknik HVOF (High Velocity Oxygen Fuel)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Studi Fisika Murni dan Terapan Fakultas MIPA Universitas Indonesia

Dewan Penguji:

Pembimbing I	<u>Dr. rer. nat. Kebamoto</u> NIP :131 881 135	
Pembimbing II	<u>Dr. Muhammad Hikam</u> NIP : 131 103 736	
Penguji	Dr. Azwar Manaf	
Penguji	Dr. Bambang Soegijono	
Penguji	Dr. Agus Salam	

akarta, 26 April 2008

Mengetahui,

Ketua Program Magister Fisika
Program Pascasarjana FMIPA UI

Dr. Dedi Suyanto

NIP: 130 935 271

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia -Nya sehingga penulisan thesis ini dapat diselesaikan dengan baik.

Dalam menyelesaikan tugas ini, kami menemui halangan yang besar secara pribadi antara lain dengan kesibukan pekerjaan kantor sehari-hari, biaya yang cukup besar namun berkat bantuan serta bimbingan semua pihak, thesis ini dapat juga kami selesaikan.

Disisi lain penulis bersyukur, walaupun penulis hampir patah semangat, namun berkat dorongan seluruh teman-teman, kerabat, keluarga (Istri dan anak-anak), serta kebesaran jiwa dari dosen pembimbing thesis akhirnya dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Untuk itu, dari hati yang tulus, kami menghaturkan banyak terima kasih atas bantuannya, khususnya kepada:

- Bapak Dr. Kebamoto selaku pembimbing I dalam pengerjaan tugas ini. Beliau sangat membantu dalam menganalisa dan menstrukturkan ide-ide dalam pengerjaan penelitian ini dan semoga kesabarannya dalam membimbing mendapat balasan yang setimpal.
- Bapak Dr. Muhammad Hikam selaku pembimbing II dalam penulisan thesis ini. Beliau sangat membantu penulis terutama dalam memberikan motivasi dan dorongan spirituil. Semoga kesabarannya dibalas dengan pahala yang setimpal dari Allah SWT.
- Bapak Dr. Azwar Manaf selaku Kepala Departement Fisika FMIPA Universitas Indonesia, yang selalu memberikan semangat dan motivasi luar biasa.
- Bapak Dr. Dedy Suyanto selaku Ketua Program Studi Fisika FMIPA-UI.
- Dosen-dosen yang tidak bisa kami sebutkan satu persatu, atas tugas profesionalimanya telah membimbing kepada mahasiswa dan memahami keterbatasan mahasiswa yang berasal dari guru dan usia yang cukup tua.
- Isteriku tercinta Tri Handayani, yang selalu memberikan semangat, motivasi, do'a siang dan malam untuk menyelesaikan tugas ini supaya

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS
(Hasil Karya Perorangan)**

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

Nama : SENTOT IMAM SUWAJI

NPM/NIP : 6305220343

Program Studi : Fisika Murni dan Terapan

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA)

Jenis karya : Tesis

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

PREPARASI DAN KARAKTERISASI LAPISAN JK 7184 JETKOTE PADA SUBSTRAT BAJA YANG DIBUAT DENGAN TEKNIK HVOF (HIGH VELOCITY OXYGEN FUEL)

beserta perangkat yang ada (bila diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelolanya 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 tanggungjawab saya pribadi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Jakarta

Pada tanggal 26 April 2008

Yang menyatakan

Sentot Imam Suwaji

cepat selesai.

- Anak-anakku tersayang : Hadyan Ismail, Medina Nur Baity, Zahra Amalia Hanifa, yang membangkitkan spirit, melahirkan inspirasi dan yang selalu menjadi penghibur disaat kesibukan yang melelahkan.
- Kedua orang tua dan Mertua yang selalu mendo'a-kan penulis dengan tulus ikhlas.
- Bapak Sidik Latuconsina, Manager Produksi, PT Teknokraf atas bantuan teknis selama pembuatan sample untuk penelitian.
- Teman-teman guru dan karyawan di SMA Islam Al Azhar 4 Kemang Pratama, di SMP Islam Al Azhar 1 serta Pimpinan Sekolah, Kabid SMP dan SMA serta Pengurus Yayasan yang telah mendukung dan memberikan ijin selama mengikuti perkuliahan.
- Teman-teman satu perjuangan di Fisika Murni dan Terapan, Mas Hendro, Pak Parman di Salemba yang selalu memfasilitasi selama perkuliahan berlangsung.

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

Salemba, 26 April 2008

Penulis

Sentot Imam Suwaji

ABSTRAK

Nama : Sentot Imam Suwaji
Program Studi : Fisika Murni dan Terapan
Judul : Preparasi dan Karakterisasi Lapisan JK 7184 Jetkote pada Substrat Baja yang dibuat dengan teknik HVOF (*High Velocity Oxygen Fuel*)

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan tekanan Oksigen dan propane pada proses pelapisan dengan bahan JK 7184 Jetkote pada substrat baja yang dibuat dengan teknik HVOF terhadap sifat-sifat mekanik bahan.

Untuk mengetahui topografi permukaan dan komposisi bahan pada lapisan dilakukan dengan SEM-EDX, analisis struktur kristal dan komposisi fasa dilakukan dengan XRD serta uji kekerasan dengan menggunakan microhardness tester

Hasil karakterisasi diperoleh struktur dan komposisi fasa sangat bergantung pada rasio tekanan antara Oksigen dan Propane. Adapun fasa-fasa yang terbentuk pada lapisan ini adalah fasa CrCo, WC, Co. Pada rasio tekanan (Oksigen : Propana) = 6 : 1 merupakan komposisi optimum yang diperoleh untuk mendapatkan kerapatan yang maksimal pada lapisan tersebut, sedangkan hasil pengukuran kekerasan pada lapisan JK 7184 Jetkote pada substrat baja yang dibuat dengan teknik HVOF diperoleh bahwa pada komposisi ini memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi yaitu sebesar 440 Hv.

Kata kunci:
HVOF, JK7184 Jetkote, kekerasan

ABSTRACT

Name : Sentot Imam Suwaji
Study Program : Fisika Murni dan Terapan
Title : Preparation and Characterization Coats of JK 7184
Jetkote at Substrat Steel with technique of HVOF (High
Velocity Oxygen Fuel)

The purpose of the research is to identify influence of change Oxygen pressure and propane at coating process with materials of JK 7184 Jetkote with technique of HVOF to nature of materials mechanic.

To know surface topography and materials composition at coat with SEM-EDX, crystal structure analysis and composition of phase with XRD and also test hardness by using tester microhardness.

Result of Characterization obtained by composition and structure of phase to have influence on pressure ratio between Oxygen and Propane. As for phase formed this coat is CrCo , WC, Co.

At pressure ratio (Oxygen : Propana) = 6 : 1 is optimum composition which obtained to have maximal density at coat, while result measurement of hardness at coat of JK 7184 Jetkote for steel substrate with technique of HVOF obtained that this composition to have highest hardness value that is equal to 440 Hv.

Keyword:
HVOF, JK7184 Jetkote, hardness.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Tujuan Penelitian	2
1.3. Metoda Penelitian	3
1.4. Pembatasan Masalah	4
1.5. Hipotesis	5
1.6. Terminologi	6
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Proses Thermal Spray	7
2.1.1 Pemanasan listrik	8
2.1.1.1. Proses busur listrik (<i>flame spraying process</i>)	9
2.1.1.2. Proses busur plasma (<i>plasma arc process</i>)	9
2.1.1.3. Proses penyemprotan plasma tekanan rendah (<i>Low pressure plasma spraying process</i>)	10
2.1.2. Pemanasan pijar	11
2.1.2.1. Proses semprot pijar (<i>flame spraying process</i>)	12
2.1.2.2. Proses semprot dan fusi (<i>spray and fuse process</i>)	13
2.1.2.3. Proses HVOF (<i>HVOF thermal spray process</i>)	14
2.2. Profil XRD	17
2.3. Hukum Bragg	18
2.4. Sistem Kristal	19
2.4.1 Konsep Dasar	19
2.4.2 Perhitungan Ukuran Butir	21
BAB 3. METODE PENELITIAN	24
3.1. Tempat dan Metode Penelitian	24
3.2. Preparasi Lapisan dengan Metode High Velocity Oxygen Fuel	24
3.2.1 Bahan-bahan Dasar	24
3.2.2 Teknik Preparasi	24
3.2.3 Proses Persiapan Sampel	25
3.3. Karakterisasi Difraktometer sinar-x (XRD)	30
3.4. Karakterisasi struktur mikro menggunakan scanning elektron microscope (SEM) dan EDX	30
3.5. Microhardness Vickers	32
BAB 4. ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1. Hasil Sintesis Lapisan	33
4.2. Karakterisasi Morfologi Permukaan lapisan dengan SEM dan EDX	34
4.3. Hasil Pengukuran Difraktometer Sinar-X Lapisan	36

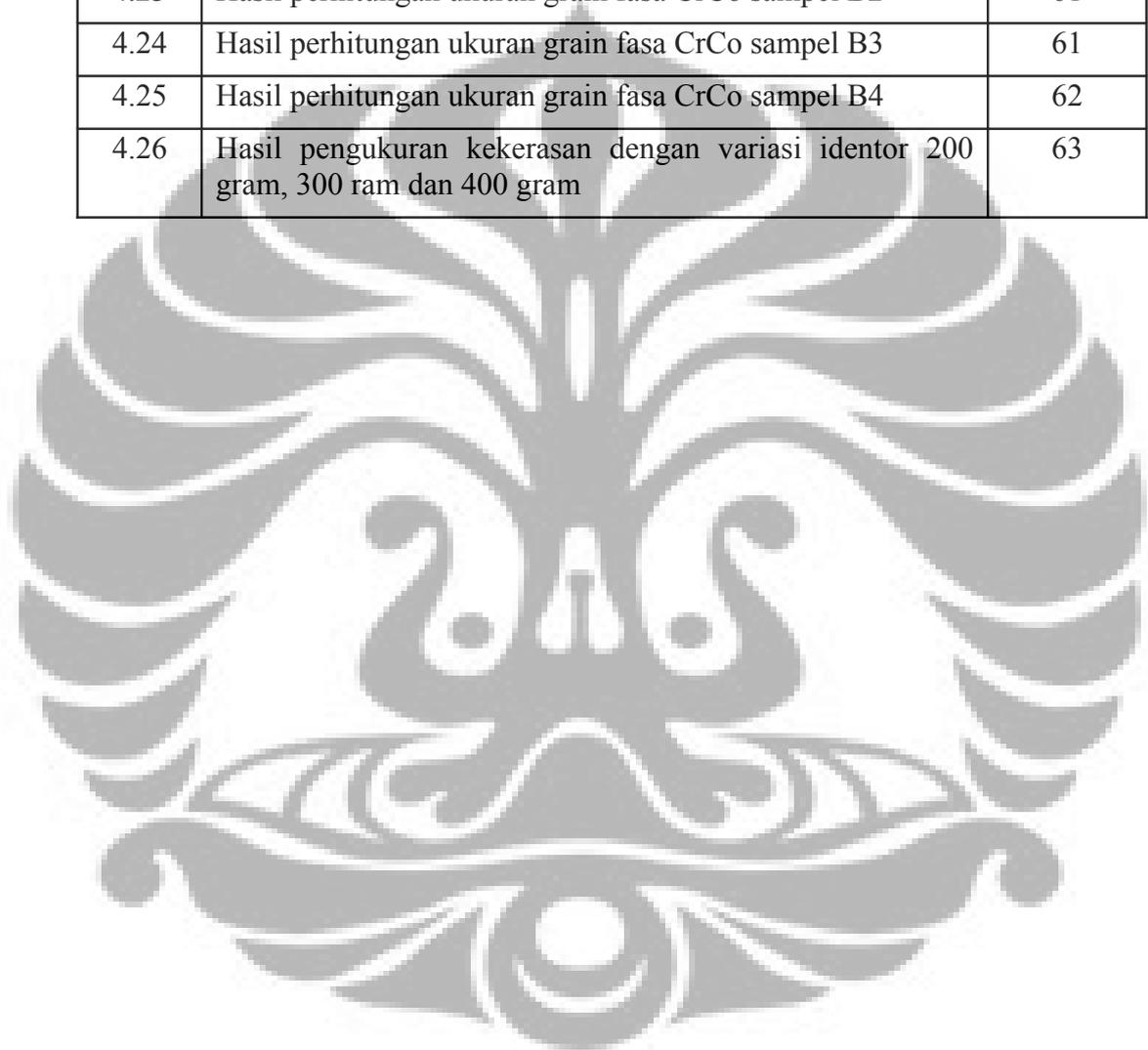
4.4.	Identifikasi Profil XRD dengan Tabel Hanawalt	39
4.5.	Analisa XRD dengan Menggunakan Metode Rietvelt	42
4.6.	Analisis Struktur Kristal	53
4.7.	Perhitungan ukuran kristalit dengan Formula Debye – Scherrer	58
4.8.	Karakterisasi Kekerasan	62
4.9.	Diskusi	63
	BAB 5 KESIMPULAN	73
	DAFTAR REFERENSI	74
	DAFTAR LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

Nomor Tabel	Judul Tabel	Halaman
2.1	Perbandingan jenis thermal spray dan sifat-sifatnya	16
2.2	Beberapa jenis bahan pelapis WC-Co pada HVOF	17
3.1	Preparasi lapisan dengan metode HVOF	27
4.1	Hasil preparasi lapisan dengan teknik HVOF	33
4.2	Hasil Pengukuran EDX Sampel B	36
4.3	Data parameter kisi hasil analisis dengan program RIETAN	48
4.4	Posisi atom, nilai faktor R (<i>criteria of fit</i>) dan <i>Chi square S (goodness of fit)</i> hasil refinement pola XRD sampel B1.	49
4.5	Posisi atom, faktor faktor R (<i>criteria of fit</i>) dan <i>Chi square S (goodness of fit)</i> hasil refinement pola XRD sampel B2	50
4.6	Posisi atom, faktor faktor R (<i>criteria of fit</i>) dan <i>Chi square S (goodness of fit)</i> hasil refinement pola XRD sampel B3	51
4.7	Posisi atom, faktor faktor R (<i>criteria of fit</i>) dan <i>Chi square S (goodness of fit)</i> hasil refinement pola XRD sampel B4	52
4.8	Data fraksi massa WC, Co, dan CrCo	53
4.9	Data kerapatan atom dan volume unit sel	53
4.10	Ikatan antar atom pada sampel B1	55
4.11	Ikatan antar atom pada sampel B2	56
4.12	Ikatan antar atom pada sampel B3	57
4.13	Ikatan antar atom pada sampel B4	58
4.14	Hasil perhitungan ukuran grain fasa WC sampel B1	59
4.15	Hasil perhitungan ukuran grain fasa WC sampel B2	59
4.16	Hasil perhitungan ukuran grain fasa WC sampel B3	59
4.17	Hasil perhitungan ukuran grain fasa WC sampel B4	59
4.18	Hasil perhitungan ukuran grain fasa Co sampel B1	60
4.19	Hasil perhitungan ukuran grain fasa Co sampel B2	60
4.20	Hasil perhitungan ukuran grain fasa Co sampel B3	60
4.21	Hasil perhitungan ukuran grain fasa Co sampel B4	61

Nomor Tabel	Judul Tabel	Halaman
4.22	Hasil perhitungan ukuran grain fasa CrCo sampel B1	61
4.23	Hasil perhitungan ukuran grain fasa CrCo sampel B2	61
4.24	Hasil perhitungan ukuran grain fasa CrCo sampel B3	61
4.25	Hasil perhitungan ukuran grain fasa CrCo sampel B4	62
4.26	Hasil pengukuran kekerasan dengan variasi indentor 200 gram, 300 ram dan 400 gram	63



DAFTAR GAMBAR

No. Gambar	Judul Gambar	Halaman
2.1	Ilustrasi proses dari thermal spray	6
2.2	Sketsa dari teknik <i>thermal spray</i>	7
2.3	Skema dari proses pemanasan busur listrik	8
2.4	Skema dari proses busur plasma	9
2.5	Skema proses penyemprotan plasma tekanan rendah	10
2.6	Penampang suluh semprot pijar tipe kawat	12
2.7	Penampang suluh semprot tipe bubuk	12
2.8	HVOF jenis suluh detonasi (<i>detonation gun</i>)	14
2.9	HVOF jenis pembakaran kontinyu (<i>continuous combustion</i>)	14
2.10	Mekanisme terbentuknya sinar-x karakteristik	18
2.11	Gambar dan skematik dari difraktometer sinar-x (XRD)	20
2.12	Skematik sumber sinar-x	21
2.13	Penyerapan panjang gelombang K_{α} dengan dan tanpa Filter Ni	22
2.14	Karakteristik profil XRD	23
2.15	Formula Bragg	24
2.16	Sistem kristal pada bahan CsCl (Cesium Clorida)	25
2.17	Sistem kristal pada bahan secara tiga dimensi	26
2.18	Indeks Miller pada bidang sistem kubik sederhana	27
3.1	Komponen Peralatan HVOF Plasma Spray Coating	31
3.2	Skematik proses HVOF Plasma Spray Coating	32
3.3	Skema perhitungan <i>hardness</i>	35
4.1	Foto SEM menggunakan berkas backscattered electrons sampel B1 dengan rasio perbandingan tekanan Oksigen dan Propana 5,9.	37
No. Gambar	Judul Gambar	Halaman
4.2	Foto SEM menggunakan berkas backscattered electrons sampel B2 dengan rasio perbandingan tekanan Oksigen dan Propana 6,0	37
4.3	Foto SEM menggunakan berkas backscattered electrons sampel B3 dengan rasio perbandingan tekanan Oksigen dan Propana 6,3	38

4.4	Foto SEM menggunakan berkas backscattered electrons sampel B4 dengan rasio perbandingan tekanan Oksigen dan Propana 6,7	38
4.5	Pola difraksi sinar-x sampel B1 dengan rasio tekanan Oksigen dan Propana 5,9.	40
4.6	Pola difraksi sinar-x sampel B2 dengan rasio tekanan Oksigen dan Propana 6,0	40
4.7	Pola difraksi sinar-x sampel B3 dengan rasio tekanan Oksigen dan Propana 6,3	41
4.8	Pola difraksi sinar-x sampel B4 dengan rasio tekanan Oksigen dan Propana 6,7	41
4.9	Gabungan pola difraksi sinar-x sampel B1, B2, B3, dan B4.	42
4.10	Referensi profil difraksi sinar-x pada paduan Tungsten Carbida.	43
4.11	Referensi profil difraksi sinar-x pada Cobalt.	43
4.12	Referensi profil difraksi sinar-x pada Chromium Cobalt.	44
4.13	Hasil refinement profil difraksi sinar-x pada paduan Tungsten Carbida.	45
4.14	Simulasi profil difraksi sinar-x pada Cobalt.	46
4.15	Simulasi profil difraksi sinar-x pada Chromium Cobalt.	46
4.16	Hasil refinement pola difraksi sinar-x sampel B1 dengan rasio perbandingan tekanan propana dan oksigen 1 : 5,9.	47
No. Gambar	Judul Gambar	Halaman
4.17	Hasil refinement pola difraksi sinar-x sampel B2 dengan rasio perbandingan tekanan propana dan oksigen 1 : 6,0	48
4.18	Hasil refinement pola difraksi sinar-x sampel B3. dengan rasio perbandingan tekanan propana dan oksigen 1 : 6,3.	48
4.19	Hasil refinement pola difraksi sinar-x sampel B4 dengan rasio perbandingan tekanan propana dan oksigen 1 : 6,7	49
4.20	Model sistem kristal dari sampel B1 dengan rasio tekanan propana dan oksigen 1 : 5,9 yang memiliki tiga fasa, yaitu : fasa WC, Co, dan CrCo.	56
4.21	Model sistem kristal dari sampel B2 dengan rasio tekanan propana dan oksigen 1 : 6,0 yang memiliki tiga fasa, yaitu : fasa WC, Co, dan CrCo.	57

4.22	Model sistem kristal dari sampel B3 dengan rasio tekanan propana dan oksigen 1 : 6,3 yang memiliki tiga fasa, yaitu : fasa WC, Co, dan CrCo.	58
4.23	Model sistem kristal dari sampel B4 dengan rasio tekanan propana dan oksigen 1 : 6,7 yang memiliki tiga fasa, yaitu : fasa WC, Co, dan CrCo.	59
4.24	Fraksi massa pada lapisan dengan variasi rasio tekanan propane dan oksigen.	66
4.25	Kerapatan atom dan volume unit sel pada fasa WC.	67
4.26	Kerapatan atom pada fasa CrCo	68
4.27	Kerapatan atom pada fasa Co.	69
4.28	Jarak antar atom fasa WC.	70
4.29	Jarak antar atom fasa CrCo	71
4.30	Jarak antar atom fasa Co	71
4.31	Ukuran diameter grain/kristalit pada fasa WC, Co, dan CrCo. Ukuran diameter grain/kristalit yang terkecil pada fasa WC dan Co terdapat pada rasio tekanan propane dan oksigen 1 : 6.	73
No. Gambar	Judul Gambar	Halaman
4.32	Hasil pengukuran kekerasan sebagai fungsi rasio tekanan. Pengukuran kekerasan ini menggunakan variasi indentor 200 gram, 300 gram dan 400 gram. Hasil kekerasan tertinggi berada pada rasio tekanan propane dan tekanan oksigen 1 : 6.	74

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Disain proses *engineering* selalu melibatkan pengurangan biaya produksi dan peralatan, meningkatkan mutu/kualitas dan ketahanan, juga mengurangi dampak lingkungan. Disamping itu pula faktor kelelahan, korosi dan keausan permukaan komponen merupakan salah satu penyebab utama dari kegagalan peralatan.

Dewasa ini korosi dan keausan permukaan bukan lagi menjadi problematika yang cukup rumit dari desain *engineering*. Perlunya perlindungan permukaan komponen menjadi suatu kebutuhan berkelanjutan yang dapat dikembangkan sehingga pencapaian komponen yang tahan korosi dan aus dapat ditingkatkan. Sebagai contoh, kebutuhan masyarakat pada industri bahan kimia, industri minyak dan petrokimia semakin tinggi, sehingga mendorong produktivitas mereka semakin tinggi pula, akibatnya komponen peralatan bekerja terus menerus, dengan demikian tingkat keausan peralatan ini semakin tinggi.

Untuk mengurangi tingkat keausan ini, komponen ini memerlukan pelapisan (coating) yang bersifat melindungi dari faktor tersebut. Proses pelapisan ini seperti PVD (Physical Vapour Deposition), DUK (Deposisi Uap Kimia), thermal spray dan proses electrolytic hard-chromium [1]. Hal ini disebabkan proses pelapisan ini sangat mudah untuk komposisi yang besar dan kompleks, murah, *high-performance*, menghasilkan pelapisan yang tahan korosi dan aus sehingga komponen atau peralatan menjadi tahan lama dan secara simultan dapat mengurangi biaya produksi. Diantara semua proses pelapisan permukaan yang umum digunakan dan lebih disukai adalah proses thermal-spray [2].

Ada enam macam metode yang termasuk dalam proses thermal spray, yaitu flame spray, electric-arc spray, plasma of no-transferred arc, plasma of transferred arc, dan proses HVOF (high velocity oxy fuel) thermal-spray [3].

Sedangkan bahan yang sekarang marak dikembangkan untuk digunakan sebagai pelapisan dengan proses ini antara lain adalah Tungsten Carbida (WC), Chromium Cobalt (CrCo), Chromium Carbida (C_2Cr_3), dan juga ada dalam bentuk komposit logam Tungsten Carbida/Cobalt (WC/Co), Tungsten Carbida/Chromium Cobalt (WC/CrCo), Chromium Carbida/Chromium Nickel ($C_2Cr_3/NiCr$) dan lain-lain [4].

Pada kesempatan ini akan dilakukan penelitian untuk mensintesis dan mengkarakterisasi lapisan dari bahan dasar JK 7184 JETKOTE powder yang diharapkan dapat menghasilkan komposit Tungsten Carbida/Chromium Cobalt dengan menggunakan teknik HVOF (High Velocity Oxygen Fuel) Thermal Spray Coating.

Teknik HVOF ini merupakan proses thermal spray yang memanfaatkan perpaduan antara tekanan oksigen dan tekanan propane. Tekanan oksigen diharapkan dapat mempercepat proses pembakaran atau laju pemanasan bahan dasar ke dalam base metalnya. Komposisi perpaduan antara tekanan oksigen dan tekanan propane ini sangat mempengaruhi hasil pelapisan terutama paduan yang terbentuk. Komposisi dari paduan yang terbentuk dari lapisan tersebut dapat mempengaruhi baik sifat fisis maupun sifat mekanik dari lapisan. Untuk itu diperlukan variasi komposisi tekanan oksigen dan tekanan propane sehingga dapat menghasilkan lapisan yang memiliki sifat fisis dan mekanik yang optimal.

Dengan demikian diharapkan penelitian ini pada akhirnya akan diperoleh sifat yang unggul yaitu komposisi paduan dari lapisan dan dapat memberikan solusi dari permasalahan yang dihadapi fabrikasi untuk mengurangi tingkat kegagalan terutama yang berkenaan dengan korosi dan keausan komponen.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Mengetahui proses preparasi pada pelapisan substrat baja melalui proses *HVOF thermal Spray Coating*

2. Mensintesis dan mengkarakterisasi lapisan dari bahan dasar JK 7184 JETKOTE powder yang diharapkan dapat menghasilkan lapisan komposit Tungsten Carbida/Cromium Cobalt serta mengetahui pengaruh tekanan oksigen terhadap pembentukan fasa, struktur mikro, dan kekerasan lapisan.
3. Mengetahui pengaruh perubahan variasi tekanan Oksigen dan tekanan propana terhadap sifat-sifat mekanik material, diharapkan dapat diketahui rasio tekanan optimum yang dapat dicapai agar diperoleh perubahan sifat mekanik bahan yaitu sifat kekerasan.

1.3 Metode Penelitian

Preparasi sampel dilakukan dengan menyiapkan 4 buah substrat atau base metal yang akan digunakan sebagai dasar untuk pelapisan.

Untuk mengetahui struktur mikro dari bahan baku menggunakan Mikroskop Optik maka bahan baku tersebut perlu dipersiapkan sampelnya (dipreparasi). Karena memerlukan waktu dan biaya yang tidak sedikit maka diperlukan persiapan sampel yang benar-benar baik yaitu menyangkut jumlah lokasi dan orientasi sampel. Karena bahan komersial tidak homogen, sehingga pengambilan sampel harus dapat menggambarkan kondisi rata-rata bahan maka pengambilan sampel harus dilakukan dengan metode dan berbagai persiapan [5].

Dalam melaksanakan penelitian ini metoda yang dilakukan adalah:

1. Pembuatan sampel yang meliputi pemotongan, Mounting, Pengampelasan, Pemolesan dan Etsa.
2. Melakukan identifikasi unsur dalam lapisan dengan menggunakan SEM dan EDX
3. Melakukan analisis fasa dan struktur kristal dengan XRD (*X-Ray Diffraction*), menggunakan tabel hanawalt dan Rietan.
4. Melakukan uji mekanik yaitu pengukuran kekerasan dengan *Micro Hardness Tester*

Preparasi lapisan dilakukan di PT. Teknokraft Indo Asia yang berlokasi di Tangerang, Banten. Sedangkan Karakterisasi lapisan dilakukan di :

1. Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional
2. Departemen Fisika Fakultas MIPA, Universitas Indonesia
3. Departemen Metalurgi Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

1.4 Pembatasan Masalah

Penelitian lapisan berbasis Tungsten Carbida (WC) ini sudah terbukti memiliki kekerasan yang cukup tinggi. Bahan dasar lapisan adalah JK 7184 JETKOTE powder yang diharapkan dapat menghasilkan komposit lapisan Tungsten Carbida / Chromium Cobalt dengan menggunakan metode HVOF (high velocity oxygen fuel) Thermal Spray Coating. Namun untuk mendapatkan lapisan komposit Tungsten Carbida / Chromium Cobalt diperlukan komposisi yang tepat antara tekanan oksigen dan tekanan propena yang merupakan parameter utama pembentukan lapisan pada metode HVOF ini sehingga akan diperoleh baik sifat fisis dan sifat mekanik lapisan yang optimum. Jadi faktor yang mempengaruhi pembentukan fasa dalam lapisan adalah komposisi perpaduan antara tekanan oksigen dan tekanan propana.

Pada penelitian ini pembahasan dibatasi pada:

1. Bagaimana proses yang dilakukan untuk membuat lapisan JK 7184 Jetkote pada substrat baja yang dibuat dengan teknik HVOF diharapkan dapat menghasilkan lapisan komposit Tungsten Carbida/Chromium Cobalt.
2. Bagaimana mengkarakterisasi hasil lapisan.
3. Bagaimana pengaruh variasi komposisi tekanan oksigen dan tekanan propane terhadap sifat fisis dan mekanik lapisan.

1.5. Hipotesis

Dengan melakukan perubahan variasi tekanan Oksigen dan Propana melalui preparasi dan karakterisasi lapisan JK 7184 Jetkote dengan SEM dan EDX (untuk mengetahui morfologi permukaan dan komposisi bahan) serta XRD (untuk mengetahui mikrostruktur pada bahan uji) pada substrat baja yang dibuat dengan teknik HVOF (*High Velocity Oxygen Fuel*) akan diperoleh rasio tekanan Oksigen dan Propana yang optimal untuk menghasilkan tingkat kekerasan tinggi yang di uji dengan menggunakan *Microhardnes Vickers*.

1.6. Terminologi

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

1. Coating (Pelapisan):

Adalah penambahan atau penempelan suatu material atas permukaan material lain.

2. HVOF (High Velocity Oxygen Fuel):

Adalah suatu sistem pembakaran dengan menggunakan tekanan tinggi. Bahan bakar dan oksigen dicampur untuk menghasilkan suatu semburan gas supersonik yang dapat mencapai 2000m/s pada suhu 2800°C (5070°F).

3. Thermal Spray:

Thermal spray adalah proses dimana material pelapis dimasukkan ke dalam daerah panas (*heating zone*), dari daerah panas ini material pelapis yang telah meleleh disemprotkan ke material yang akan dilapisi.

4. Substrat:

Yaitu bahan yang akan dilapisi, kemudian diratakan dan ditahan pada dasar bahan itu untuk membentuk suatu lapisan permukaan.

5. Butir (grain):

Adalah kumpulan beberapa kristal dengan arah atau orientasi tertentu.

6. Partikel:

Adalah agregat (kumpulan) dari butir-butir, yang membentuk kesatuan dengan sifat fisis dan kimia tertentu.

7. Nanopartikel:

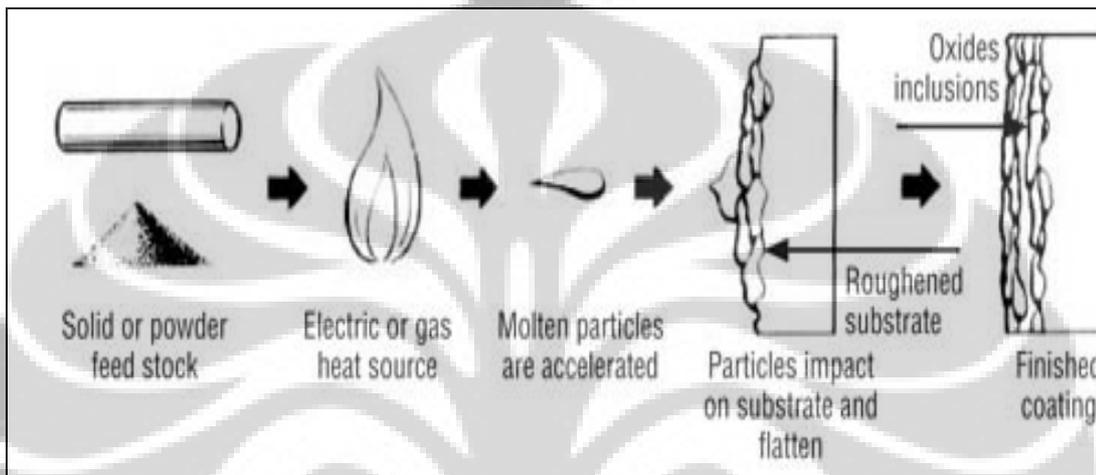
Adalah suatu partikel dengan ukuran 1 – 100 nm.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Thermal Spray

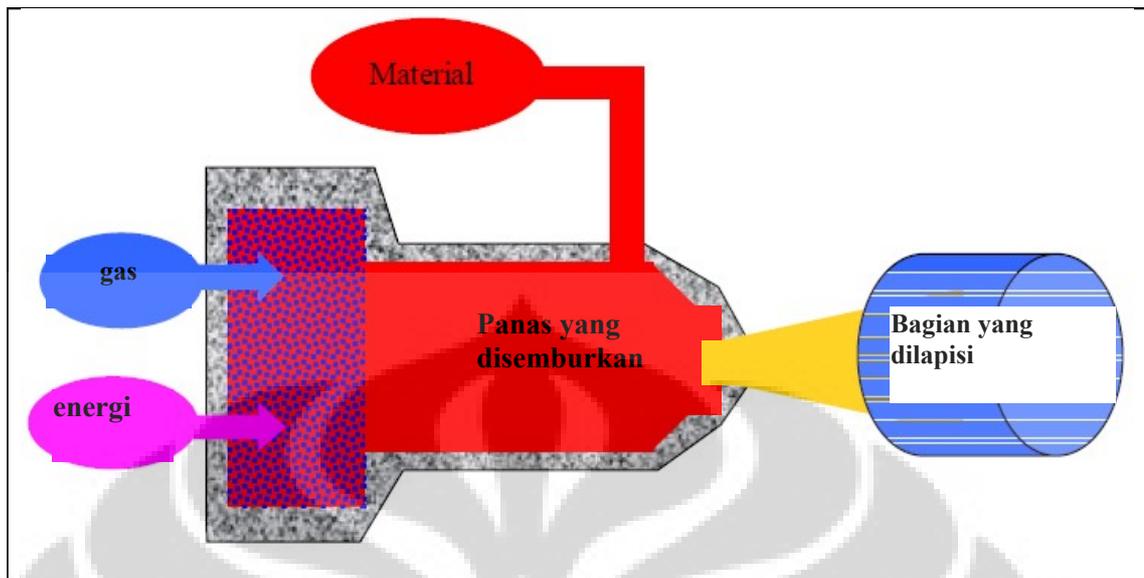
Proses Thermal Spray adalah suatu istilah umum yang digunakan untuk suatu proses pelapisan bahan di mana bahan pelapis dilelehkan atau dibakar secara cepat dengan busur cahaya atau plasma yang secara serempak



Gambar 2.1. Ilustrasi proses dari thermal spray [Target berupa bubuk/kawat dilebur dalam ruang pembakar kemudian dengan tekanan oksigen yang terkontrol target yang telah melebur disemprotkan ke substrat dengan kecepatan tinggi dalam ukuran yang sangat kecil (*spray*)

Banyak bahan-bahan yang secara keramik, Carbida, Borida, dan Hidrida yang digunakan sebagai bubuk dalam bentuk sebuah kawat sebagai bahan dasar pelapisan menggunakan thermal spray [6]. Proses Thermal-Spray ini digolongkan sebagai fungsi energi.

Gambar 2.2 memperlihatkan sketsa dari teknik *thermal spray* ini.



Gambar 2.2 Sketsa dari teknik *thermal spray*[6].

Material pelapis dimasukkan ke dalam daerah panas (*heating zone*), material pelapis dilelehkan atau dibakar secara cepat dengan busur cahaya atau plasma yang secara serempak diproyeksikan oleh gas di bawah tekanan tinggi dan kecepatan tinggi ke suatu substrate

Energi termal yang digunakan untuk mencairkan material pelapis dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu pemanasan listrik dan pemanasan plasma.

2.1.1 Pemanasan listrik

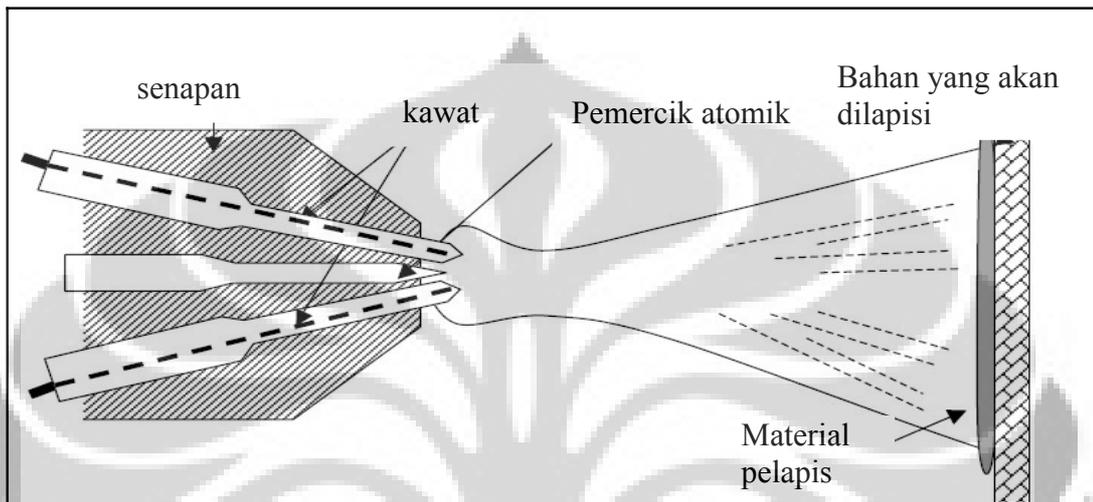
Terdapat tiga jenis proses pemanasan listrik digunakan untuk mencairkan material pelapis yaitu:

1. Proses busur listrik (*electrical arc process*)
2. Proses busur plasma (*plasma arc process*)
3. Proses semprot plasma tekanan rendah (*Low pressure plasma spraying process*)

2.1.1.1.1. Proses busur listrik (*electrical arc process*)

Busur listrik menyembrotkan/menyemburkan deposit material dalam bentuk kawat kepada bermacam material yang akan dilapisi (*substrate*). Motor menggerakkan dua kawat bermuatan listrik (dengan beda potensial 18 sampai 40 Volt) melalui suluh (*gun*) menuju ujung temu pada kepala suluh, dimana busur

listrik menciptakan suhu melebihi 6000°C , seperti terlihat pada Gambar 2.3. Udara yang bertekanan mengatomisasi material pelapis yang sudah cair dan menembakkannya kepada permukaan material yang akan dilapisi. Relatif hanya material yang konduktor saja yang dapat digunakan untuk proses ini.

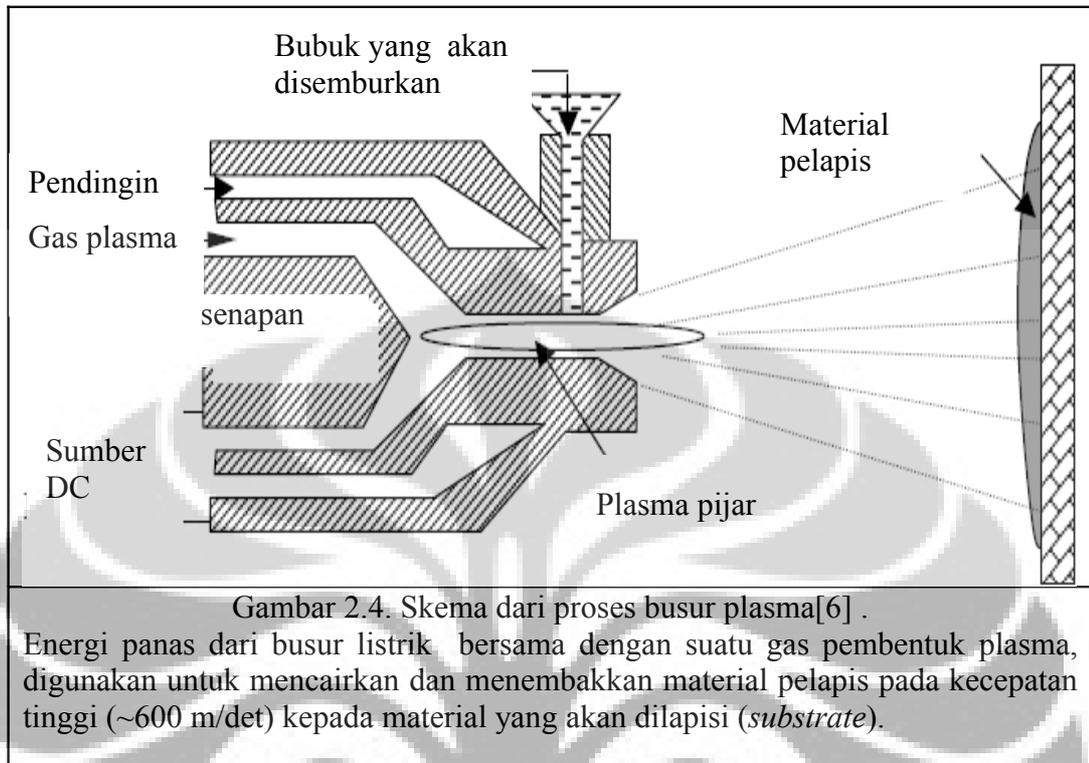


Gambar 2.3. Skema dari proses pemanasan busur listrik[7].

Busur listrik menyemburkan deposit material dalam bentuk kawat kepada bermacam material yang akan dilapisi (*substrate*). Motor menggerakkan dua kawat bermuatan listrik (dengan beda potensial 18 sampai 40 Volt) melalui suluh (*gun*) menuju ujung temu pada kepala suluh, dimana busur listrik menciptakan suhu melebihi 6000°C

2.1.1.2. Proses busur plasma (*plasma arc process*)

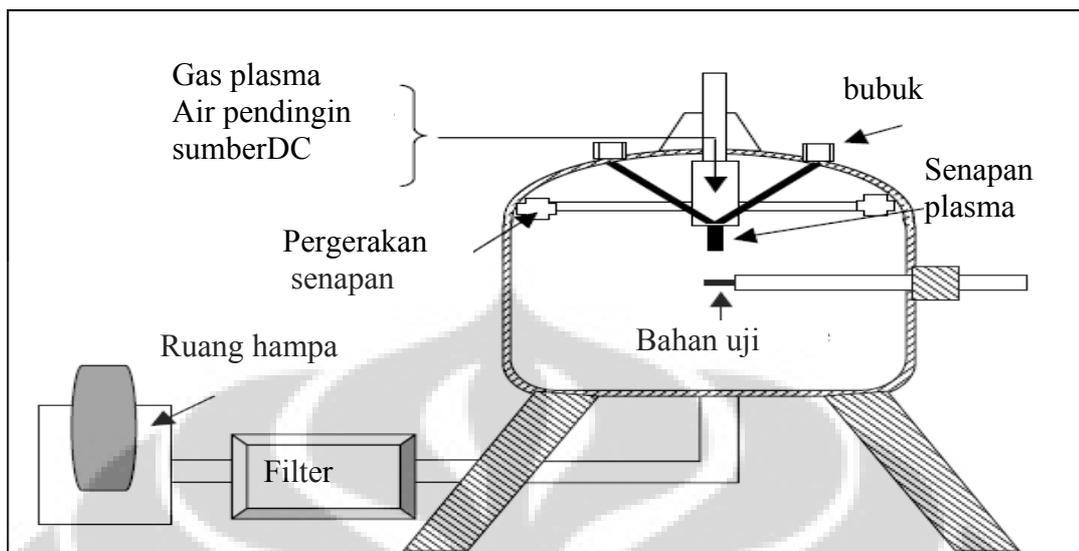
Pada proses penyemprotan busur plasma, energi termal/panas dari busur listrik (biasanya beroperasi pada 40 kW atau 80 kW) bersama dengan suatu gas pembentuk plasma, baik nitrogen atau argon, digunakan untuk mencairkan dan menembakkan material pelapis pada kecepatan tinggi (~ 600 m/det) kepada material yang akan dilapisi (*substrate*)[8]. Tujuan utama dari sistem ini adalah untuk menghasilkan suhu tinggi yang mencapai 16000°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 2.4. Karena semprotan yang keras dari masing-masing partikel, kekuatan ikat yang tinggi bisa didapatkan pada pelapisan.



2.1.1.3. Proses penyemprotan 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 dilindungi oleh tangki vakum. Karena itu suhu plasma dan benda kerja dipertahankan pada kondisi atmosfer sekitar 7 kPa [9] .

Kegunaan tabung vakum sebagaimana terlihat pada Gambar 2.5 mempunyai dua tujuan, untuk membatasi pembentukan oksida yang berkaitan dengan penyemprotan terbuka, dan kedua untuk melindungi material berbahaya keluar.



Gambar 2.5. Skema proses penyemprotan plasma tekanan rendah[6] .

Proses ini seringkali dikenal dengan proses penyemprotan plasma vakum, karena proses ini adalah proses penyemprotan plasma konvensional yang dilindungi oleh tangki vakum. Karena itu suhu plasma dan bahan uji dipertahankan pada kondisi tekanan atmosfer sekitar 7 kPa. 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 (*flame*)

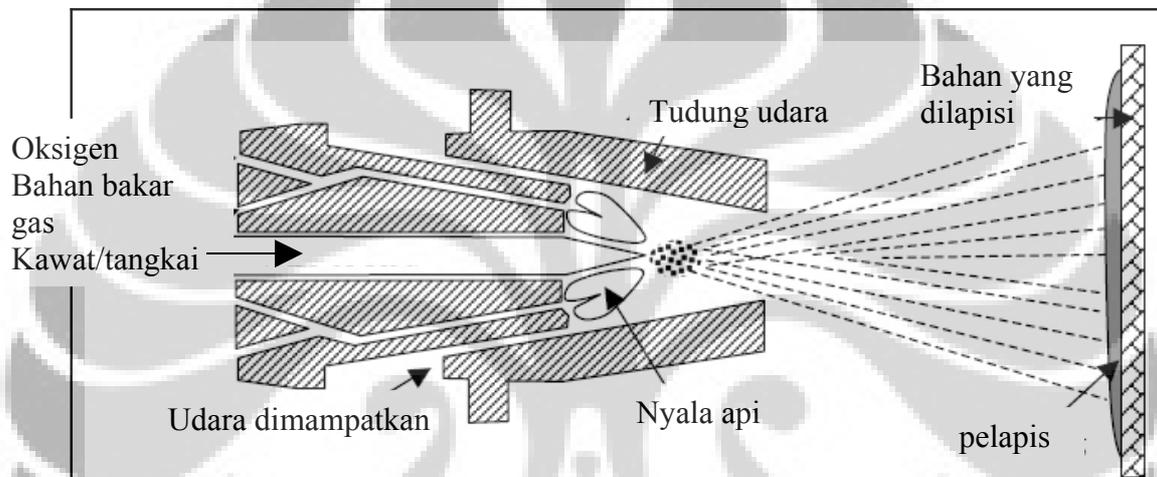
Pada proses pemanasan pijar, material pelapis dilewatkan melalui ruang bakar dimana material tersebut mencair. Aliran gas yang penyebab pembakaran berekspansi dengan cepat dikarenakan efek pemanasan peletupan/peledakan (*explosive*), dengan demikian melemparkan partikel keluar ruang bakar menuju material yang akan dilapisi (substrat) [10].

Ada tiga jenis proses penting dimana pembakaran digunakan untuk mencairkan material pelapis, yaitu:

1. Proses penyemprotan pijar (*flame spraying process*)
2. Proses semprot dan fusi (*spray and fuse process*)
3. Proses HVOF (*HVOF thermal spray process*)

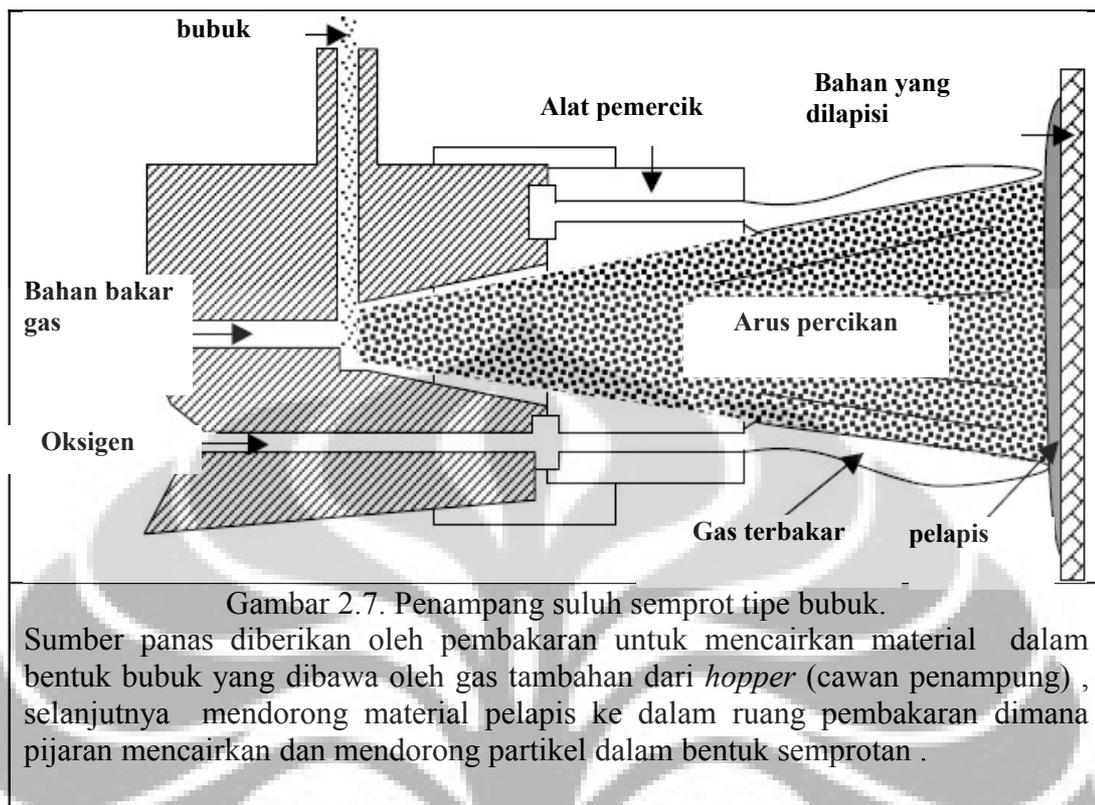
2.1.2.1. Proses semprot pijar (*flame spraying process*)

Sumber panas diberikan oleh pembakaran untuk mencairkan material dalam bentuk 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 2.6.



Gambar 2.6. Penampang suluh semprot pijar tipe kawat . Sumber panas diberikan oleh pembakaran untuk mencairkan material dalam bentuk kawat , selanjutnya pengarah mekanis mendorong material pelapis ke dalam ruang pembakaran dimana pijaran mencairkan dan mendorong partikel dalam bentuk semprotan[10] .

Sebaliknya, bubuk dibawa oleh gas tambahan dari *hopper* (cawan penampung) kepada suluh untuk pembakaran dan pelapisan, seperti terlihat pada Gambar 2.7.

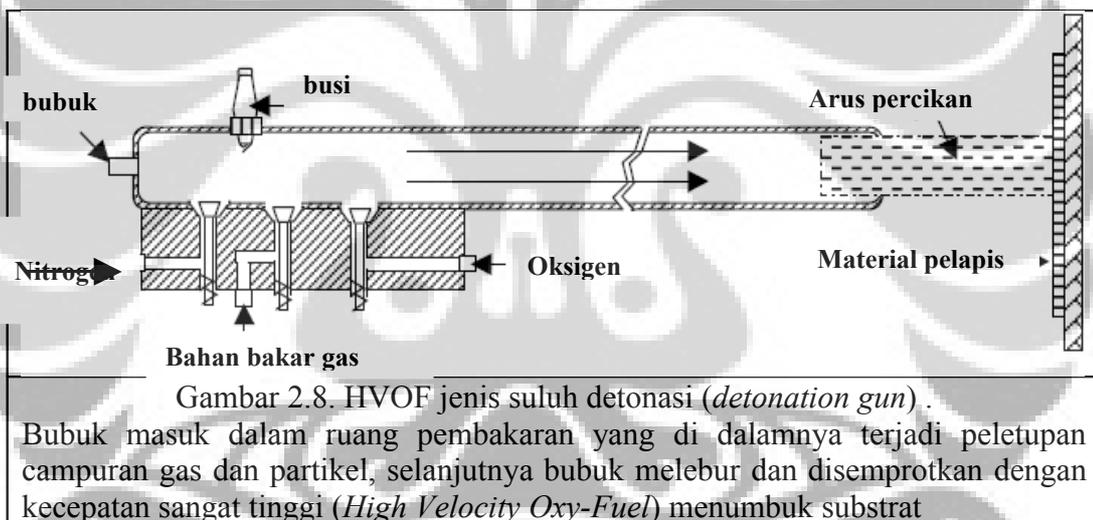


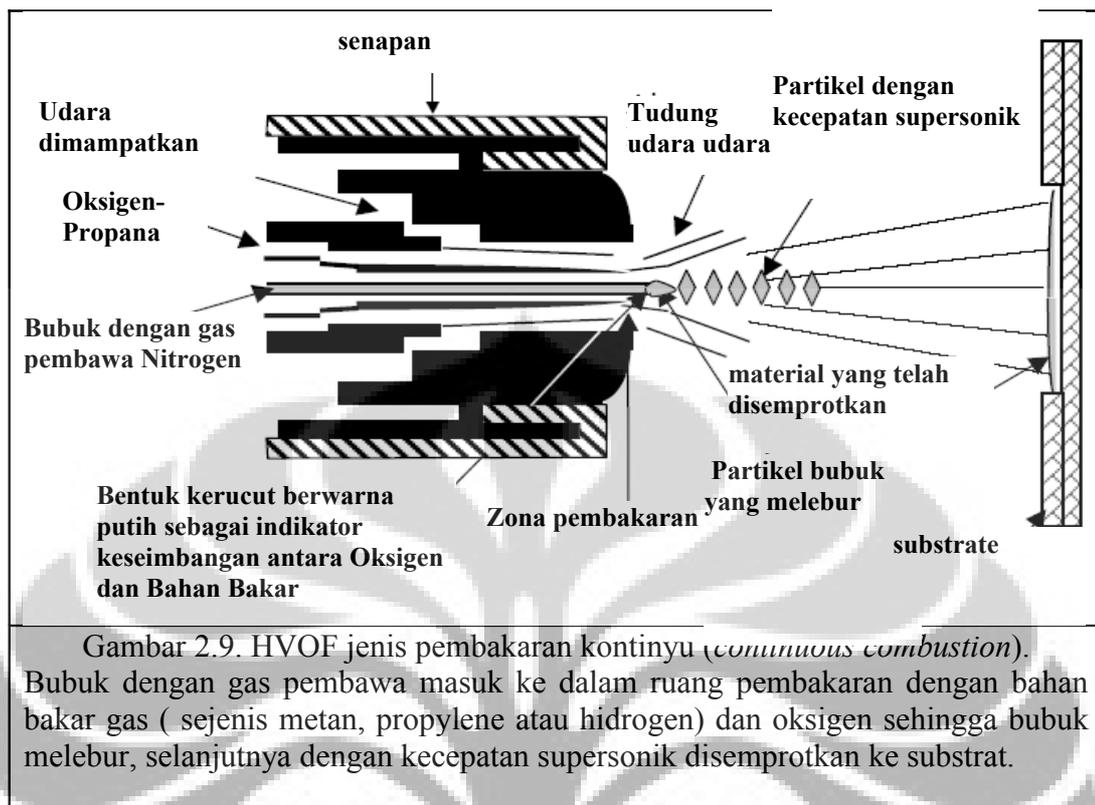
2.1.2.2. Proses semprot dan fusi (*spray and fuse process*)

Proses *spray and 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 13000°C , tetapi menghasilkan pelapisan yang lebih tebal sampai $2000\ \mu\text{m}$ dengan kekerasan tinggi [10]. 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 (*HVOF thermal spray process*)

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 dari proses HVOF ini yaitu jenis suluh detonasi (*detonation gun*) dan jenis pembakaran sinambung (*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 [11]. Skema dari kedua jenis ini dapat dilihat pada Gambar 2.8 dan 2.9.





Proses HVOF didasarkan pada suatu sistem pembakaran dengan menggunakan tekanan tinggi. Bahan bakar dan oksigen dicampur untuk menghasilkan suatu semburan gas supersonik yang dapat mencapai 2000m/s pada suhu 2800°C (5070°F). Bahan bakar ini dapat meliputi minyak tanah, hidrogen, propylene, sejenis gas metan, gas acetylene dan gas-alam.

Bahan dasar lapisan yang berupa serbuk dimasukkan ke dalam tempat penyimpanan dengan nyala api yang panas kemudian melalui barrel sebagai jalan keluar bahan dasar lapisan tadi disemburkan ke substrat dan akhirnya menghasilkan lapisan yang merata di seluruh permukaan substrat. Bahan dasar lapisan tersebut pada dasarnya serbuknya berubah menjadi Semi-Molten Partikel yang dipercepat oleh arus gas dan melalui alat pemercik dapat tersembur dengan percepatan mencapai kira-kira 400m/s. Kondisi ini secara normal mengakibatkan berkurangnya jumlah partikelnya hingga mencapai 1% dengan suatu kekuatan lebih besar dari 60 Mpa.

Lapisan ini mempunyai ketahanan dan kekerasan lebih tinggi, dapat mengikat lebih kuat pada substrate dan kemampuan deposition-thicknessnya jauh lebih besar dibandingkan dengan yang dihasilkan oleh proses thermal-spray yang lain. Gas acetylene ini sangat cocok untuk semua jenis bahan dasar terutama proses HVOF sebab mereka tidak memerlukan peleburan untuk menyimpan dan mudah membentuk suatu lapisan permukaan sehingga lapisan tersebut lebih efektif melindungi komponen dari keausan. Pada umumnya komposisi yang khas berisikan 8-30% yang dicampurkan dalam matrik logam yang semata-mata hanya sebagai binder dari partikel tersebut.

Perbandingan jenis-jenis thermal spray berdasarkan proses dan sifat-sifatnya ditunjukkan dalam Tabel 2.1 berikut :

Tabel 2.1. Perbandingan Jenis-jenis thermal spray dan sifat-sifatnya

Jenis Thermal Spray	Kecepatan Partikel (m/s)	Adhesi (MPa)	Oksida Logam (%)	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 terlihat mempunyai spesifikasi yang lebih unggul dibanding dengan yang lainnya, dari Tabel 2.1 HVOF mempunyai kecepatan partikel antara 600-1000 m/s, adhesinya lebih besar 70 MPa, kandungan oksida logam relative kecil 1-2 % demikian juga dengan porositasnya 1-2 %, sedang laju endapan 1-5 kg/jam dan menghasilkan ketebalan lapisan antara 0.2-2 mm.

Untuk spesifikasi berbagai bahan dan komposisi HVOF pada Tabel 2.2 :

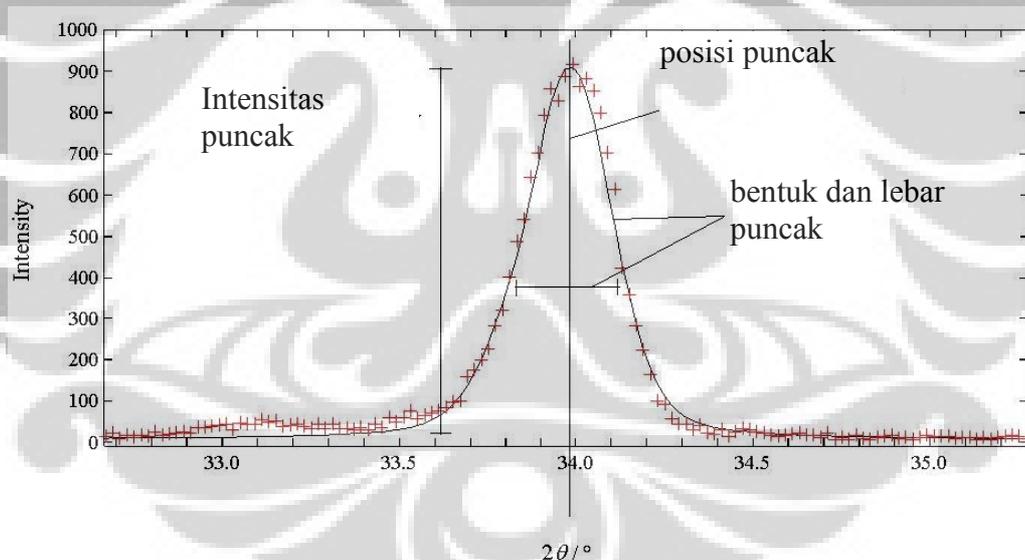
Universitas Indonesia

Tabel 2.2 Beberapa jenis bahan pelapis WC-Co pada HVOF

KOMBINASI BAHAN PELAPIS HVOF	KOMPOSISI BERAT ATOM %	UKURAN PARTIKEL
WC6Co	6%Co WC94%	45 -175 μm
WC12Co	12%Co WC88%	15 -45 μm
WC17Co	17%Co WC83%	15 -45 μm
WC20Co	20%Co WC80%	11 -53 μm
WC10Co4Cr	10%Co4%CrWC86%	15 -45 μm
Cr3C2-25NiCr	75%Cr3C2 25%Ni Cr	15 -45 μm

2.2. Profil XRD

Karakteristik pada satu puncak (peak) hasil pengukuran XRD untuk rentang sudut 2θ memberikan beberapa informasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10



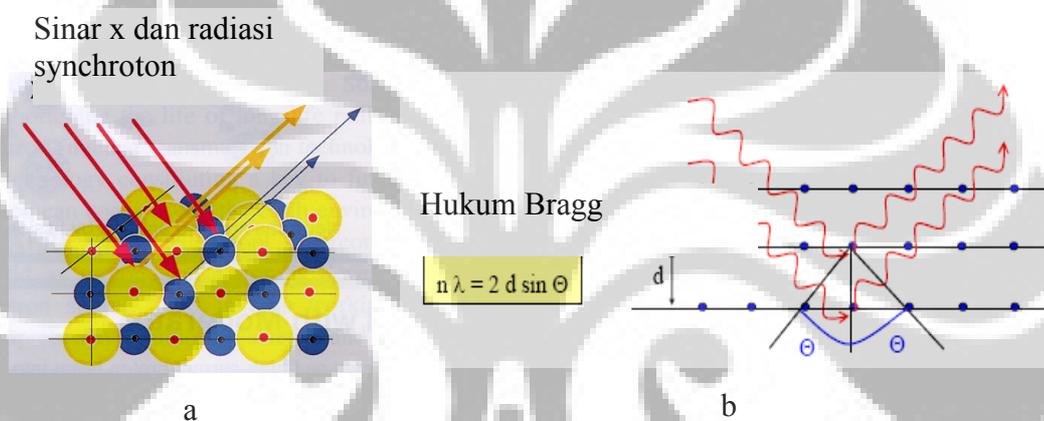
Gambar 2.10 Karakteristik profil XRD.

Simbol (+) merupakan hasil pengukuran sampel dengan menggunakan difraksi sinar-x yang biasa disebut garis observasi

Garis yang berada diantara simbol (+) adalah hasil perhitungan berdasarkan data yang diperoleh dari penelitian (referensi) [12].

2.3. Hukum Bragg

Terbentuknya suatu pola difraksi konstruktif hanya bisa terjadi apabila dua gelombang atau lebih mempunyai hubungan fasa tertentu. Namun disini titik fokus pembahasan hanya dibatasi pada difraksi sinar-x oleh struktur kristal, sehingga difraksi sinar-x hanya ditinjau yang berasal dari susunan atom-atom yang teratur dan periodik sesuai dengan posisi-posisi tertentu di dalam kristal. Atom-atom di dalam kristal dapat dipandang berada pada bidang-bidang yang sejajar satu sama lain yang dipisahkan oleh jarak d , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11



Gambar 2.11 Formula Bragg

- Berkas sinar-x yang datang pada bahan sejajar satu sama lain
- Hukum Bragg: $n \lambda = 2 d \sin \theta$ (λ = panjang gelombang sinar -x, d = jarak antar bidang, θ = sudut difraksi)

Pada Gambar 2.11 diasumsikan bahwa berkas sinar-x yang datang pada bahan sejajar satu sama lain, mempunyai satu panjang gelombang (λ), dan dengan sudut datang dinyatakan dengan θ terhadap bidang difraksi (sudut Bragg). Besarnya sudut Bragg ini tentunya akan mempunyai harga berbeda untuk tiap-tiap bidang[13].

Persamaan di atas juga banyak digunakan untuk memilih panjang gelombang tertentu dari berkas sinar-x. Biasanya dipilih suatu kristal tunggal dari bahan tertentu serta posisi kristal diatur demikian rupa hingga membentuk sudut 2θ terhadap berkas dari sumber, sehingga dapat diperoleh satu panjang gelombang monokromatik baik secara difraksi.

Agar lebih sederhana dalam menjelaskan tentang struktur kristal, maka atom atau ion akan dianggap sebagai bola pejal yang keras yang dikenal dengan nama *atomic hard sphere model*. Dalam menggambarkan kisi kristal, maka cara yang sederhana adalah dengan membayangkan atom-atom dalam kristal berupa titik-titik. Setiap titik-titik mempunyai lingkungan yang serba sama, sehingga satu sama lain tidak dapat dibedakan walaupun dipandang dari segala arah. Bila tiap-tiap titik tersebut dihubungkan maka akan diperoleh kisi-kisi yang teratur dan periodik memenuhi ruang yang ada. Volume terkecil yang dibatasi oleh rusuk-rusuk kisi disebut dengan sel satuan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.13.

Volume kecil yang berulang bangunan yang sangat kecil. Gambar 2.13 menunjukkan kisi satuan kisi kubik sederhana CsCl (Cesium Clorida). Unit sel: Volume terkecil yang dibatasi oleh rusuk-rusuk kisi disebut dengan sel satuan. Panjang tiap-tiap rusuk sel yang searah dengan sumbu kristalografi disebut dengan tetapan kisi (lattice constant), dan lazim dinamakan dengan sumbu a , b , dan c (parameter kisi). Sudut yang dibentuk oleh bc , ac , dan ab berturut-turut disebut dengan α , β , dan γ [14].

Sedangkan dimensi yang disebut dengan sistem kristal seperti yang terlihat pada gambar 2.14. Konstanta kisi

Sistem Kristal						
Kubik	Tetragonal	Orto-rombik	Heksa-gonal	Mono-klirik	Tri-klirik	Rombo-hedral

Crystal System						
cubic	tetragonal	orthorhombic	hexagonal	monoclinic	triclinic	rhombohedral
	$a \neq c$ 	$a \neq b \neq c$ 	$a \neq c$ 	$\alpha \neq 90^\circ$ $\beta, \gamma = 90^\circ$ 	$\alpha, \beta, \gamma \neq 90^\circ$ 	$\alpha, \beta, \gamma \neq 90^\circ$
	$a \neq c$ 	$a \neq b \neq c$ 		$\alpha \neq 90^\circ$ $\beta, \gamma = 90^\circ$ 		
		$a \neq b \neq c$ 				
		$a \neq b \neq c$ 				

Gambar 2.14. Sistem kristal pada bahan secara tiga dimensi
 Kristal kubik memiliki pola yang sama sepanjang ketiga sumbu tegak lurus: $a_1 = a_2 = a_3$. Kebanyakan logam dan beberapa jenis keramik berbentuk kubik. Kristal bukan kubik terjadi bila pola ulangnya tidak sama dalam ketiga arah koordinat atau sudut antara ketiga sumbu kristal tidak sama dengan 90°

2.4.2. Perhitungan ukuran butir

2.4.2. Identifikasi fasa dengan menggunakan difraksi sinar-x terutama tergantung pada posisi puncak pada pola difraksi dan kadang juga tergantung pada intensitas relatif dari puncak-puncak tersebut. Akan tetapi bentuk dari puncak mengandung informasi tambahan dan penting. Bentuk, terutama lebar puncak merupakan ukuran dari besar osilasi termal atom-atom pada kisi kristalnya.

Juga bisa merupakan ukuran kehampaan dan konsentrasi unsur pengotor (*impurities*) dan bahkan deformasi plastis [15].

Metoda Scherrer dan Warren-Averbach

Persamaan Scherrer menerangkan pelebaran puncak sehubungan dengan divergensi cahaya masuk yang memungkinkan untuk memenuhi kondisi Bragg bidang difraksi yang tidak berdekatan. Setelah efek alat telah diselesaikan, ukuran butir kristal mudah dihitung sebagai fungsi dari lebar puncak, posisi puncak dan panjang gelombang.

Metoda Warren-Averbach tidak hanya memperhitungkan lebar puncak tapi juga bentuk dari puncak. Metoda ini didasarkan dekonvolusi Fourier dari puncak yang diukur dan pelebaran instrumentasi untuk mendapatkan pola difraksi sebenarnya. Metoda ini mampu menghasilkan kedua-duanya distribusi ukuran butir serta regangan mikro dari kisi.

Ukuran butir dengan persamaan Scherrer diberikan sebagai berikut:

$$D = \frac{K\lambda}{B_{1/2} \cos \theta_B} \dots\dots\dots(1)$$

dimana D adalah ukuran volume berbobot, K adalah konstanta Scherrer, θ_B adalah sudut Bragg, λ adalah panjang gelombang sinar-x, dan $B_{1/2}$ adalah lebar-penuh-setengah-maksimum (full-width-half-max) puncak setelah dikoreksi terhadap pelebaran yang disebabkan oleh difraktometer.

Salah satu cara menentukan $B_{1/2}$ adalah dengan persamaan:

$$B_{1/2}^2 = B_{obs}^2 - B_m^2 \dots\dots\dots(2)$$

dimana B_{obs} adalah lebar puncak yang diukur dan B_m adalah pelebaran paruh disebabkan mesin. Cara lain mendapatkan nilai $B_{1/2}$ adalah dari list analisa difraksi dengan RietAn.

Ukuran butir

Metoda Scherrer dan Warren-Averbach menghasilkan karakteristik rata-rata yang berbeda dari lebar kolom D . Scherrer menghasilkan D_{vol} sedangkan Warren-Averbach menghasilkan $\langle L \rangle_{area}$. Untuk mendapatkan ukuran butir dapat diasumsikan bentuk dari partikel. Dengan asumsi kristal berbentuk bola, maka diameter dari bola dapat diperkirakan yaitu:

$$\langle D \rangle_{area} = \frac{3}{2} \langle L \rangle_{area} \dots\dots\dots(3)$$

dan

$$\langle D \rangle_{vol} = \frac{4}{3} \langle L \rangle_{vol} \dots\dots\dots(4)$$

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Metode Penelitian

Preparasi lapisan dilakukan di PT. Teknokraft Indo Asia yang berlokasi di Tangerang, Banten, . Sedangkan Karakterisasi lapisan dilakukan di :

1. Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional
2. Departemen Fisika Fakultas MIPA, Universitas Indonesia
3. dan Departemen Metalurgi Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

Metode penelitian yang digunakan adalah Metode Eksperimen

3.2. Preparasi Lapisan dengan Metode High Velocity Oxygen Fuel

3.2.1. Bahan-bahan Dasar

Bahan dasar dari lapisan ini berasal dari PT. Teknokraft Indo Asia yang mempunyai nama komersial yaitu JK 7184 JETKOTE powder. JK 7184 JETKOTE powder ini memiliki kandungan unsur yang telah tersertifikasi berdasarkan ISO9001, yaitu Carbon (C) sebesar 9,556 %, Chromium (Cr) balance, Tungsten (W) low, Besi (Fe) low, dan Cobalt (Co) sebesar 20,2 %.

3.2.2. Teknik Preparasi

Preparasi sampel dilakukan dengan menyiapkan 4 buah substrat atau base metal yang akan digunakan sebagai dasar untuk pelapisan.

Untuk mengetahui struktur mikro dari bahan baku menggunakan Mikroskop Optik maka bahan baku tersebut perlu dipersiapkan sampelnya (dipreparasi). Karena memerlukan waktu dan biaya yang tidak sedikit maka diperlukan persiapan sample yang benar-benar baik yaitu menyangkut jumlah lokasi dan orientasi sample. Karena bahan komersial tidak homogen, sehingga pengambilan sample harus dapat menggambarkan kondisi rata-rata bahan maka pengambilan sampel harus dilakukan dengan metode dan berbagai persiapan [16].

Sedangkan jumlah sampel yang diperlukan untuk menentukan karakteristik bahan harus cukup memadai dan tergantung pada ukuran, bentuk dan tujuan penggunaan, sehingga hasil yang diperoleh secara statistik dapat memberikan deskripsi yang benar mengenai benda.

3.2.3 Proses Persiapan Sampel

Setelah mengetahui lokasi dan jumlah sampel tahap berikutnya adalah persiapan sampel yang meliputi pemotongan, Mounting, Pengampelasan, Pemolesan dan Etsa.

a. Pemotongan

Ada beberapa sistim pemotongan sample yaitu, pematahan, pengguntingan, penggergajian, pemotongan abrasi, gergaji kawat dan EDM (Electric Discharge Mechining).

Untuk mengurangi resiko kerja karena tidak rataanya permukaan hasil pemotongan, maka sebelum melakukan tahap berikutnya sample hasil pemotongan dapat dihaluskan.

b. Mounting.

Untuk memudahkan penanganan benda kerja yang miliki ukuran kecil maka harus di mounting (dilapisi) dengan polimer.

Pemilihan bahan dan teknik mounting harus mempertimbangkan kerusakan yang akan terjadi pada sample karena, perubahan struktur mikro dari sample, ketahanan bahan mounting terhadap larutan dan zat etsa, dan panas yang dihasilkan selama proses polimerisasi.

c. Pengampelasan

Pada proses ini permukaan sample digosokkan pada lembaran pengampelas yang memiliki kekerasan berbeda secara bertahap mulai dari ukuran grid yang paling kasar sampai grid yang paling halus.

Media amplas terdiri dari berbagai media yaitu silikon karbida, aluminium oksida atau intan, dimana masing-masing akan menghasilkan sifat goresan dan kedalaman deformasi tertentu.

Teknik pengampelasan selain gerakan satu arah juga harus tegak lurus terhadap arah pengampelasan sebelumnya setiap pindah grid, dan setelah selesai sample harus dicuci.

d. Pemolesan

Untuk menghasilkan permukaan yang halus bebas goresan maka sampel harus dipoles. Proses pemolesannya adalah kombinasi antara pemolesan elektronik dan mekanik, dimana piringan pemoles dilapisi dengan suatu kain sejenis flannel yang dilembabkan oleh suatu elektrolit yang dicampur partikel abrasif sebagai katoda sedangkan sample sebagai anoda yang dialiri arus listrik bolak balik berfrekuensi rendah. Dan untuk menghilangkan geram-geram yang timbul selama pemolesan menggunakan air yang diteteskan secara bertahap selama proses pemolesan.

Arah gerakan dari sample ke depan, ke belakang dan dimulai dari arah yang tegak lurus terhadap arah pengampelasan yang terakhir, agar partikel abrasif dapat terdistribusi merata diatas piringan.

e. Etsa (Etching)

Proses ini dilakukan untuk mendapatkan permukaan yang halus dan mengkilap tanpa goresan dan untuk mendapatkan batas butir yang jelas pada saat dilakukan pengamatan dengan mikroskop.

Sampel dicelupkan kedalam larutan pengetsa dimana permukaan yang di etsa menghadap ke muka kita dan sample selalu digerakkan agar larutan yang menyentuh permukaan sample selalu larutan yang segar.

Untuk memperoleh struktur mikro dari sample, larutan etsa yang digunakan dilarutkan dalam alcohol atau air agar kecepatan reaksinya dapat diperlambat, sehingga ion-ion positif dan negatif akan menuju anoda dan katoda permukaan yang dipoles pada akhirnya dapat memperjelas konfigurasi batas butir dan permukaan batas butir pada saat diamati di mikroskop.

Setelah selesai di etsa sample harus dicuci dengan air yang terus bergerak kemudian dibersihkan dengan alcohol dan dikeringkan dengan udara panas.

Berdasarkan fungsi dari variasi tekanan propane dan oksigen diperoleh nama sample dengan masing-masing perlakuan sebagai berikut : B1, B2, B3, dan B4 seperti yang diperlihatkan pada Tabel 3.1.

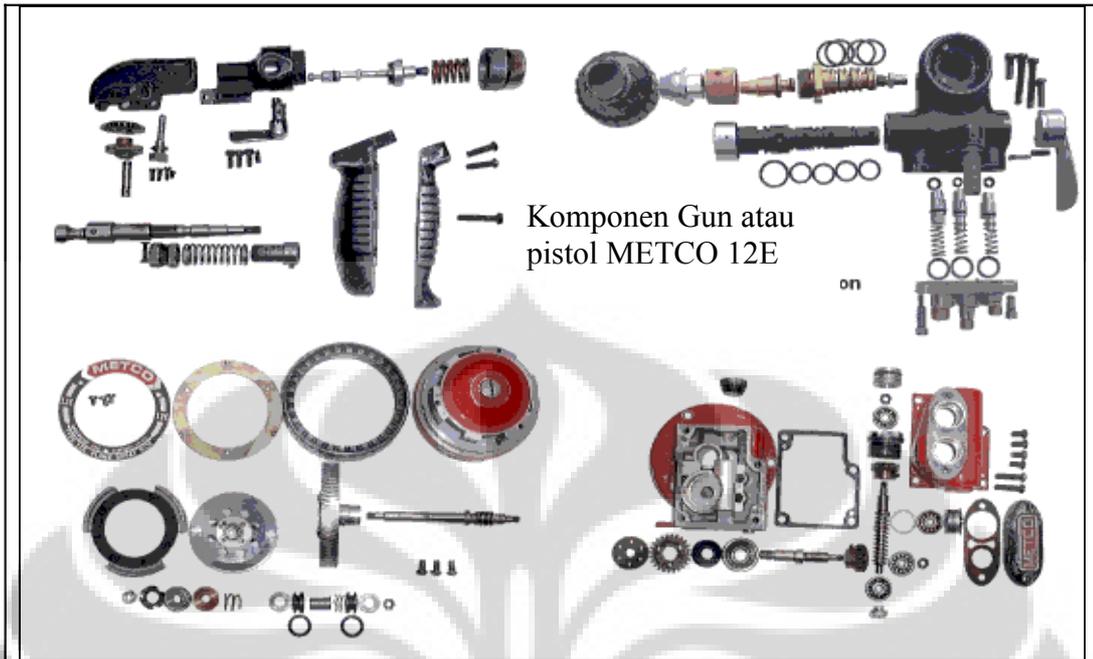
Tabel 3.1. Preparasi lapisan dengan metode HVOF

No.	Tekanan (bar)		Ketebalan Blasting (mm)	Nama Sampel
	Propana	Oksigen		
1.	1,4	8,2	$0,7 \pm 0,1$	B1
2.	1,3	7,8	$0,7 \pm 0,1$	B2
3	1,2	7,5	$0,7 \pm 0,1$	B3
4.	1,2	8,0	$0,7 \pm 0,1$	B4

3.2.4. Metode High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) Plasma Spray Coating

Setelah proses blasting dari substrat atau base metal selesai, kemudian substrat dijepit di alat HVOF siap untuk dicoating dengan variasi tekanan propane dan tekanan oxygen seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 di atas.

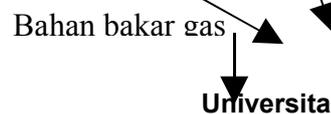
Pelapisan dengan metode HVOF ini menggunakan alat Sulzer METCO 12 E seperti yang terlihat pada Gambar 3.1.



Komponen Gun atau pistol METCO 12E

Gambar 3.1. Komponen-komponen dari Gun atau pistol Sulzer METCO12 E
Komponen-komponen peralatan gun atau pistol yang digunakan untuk pelapisan dengan teknik HVOF [17]

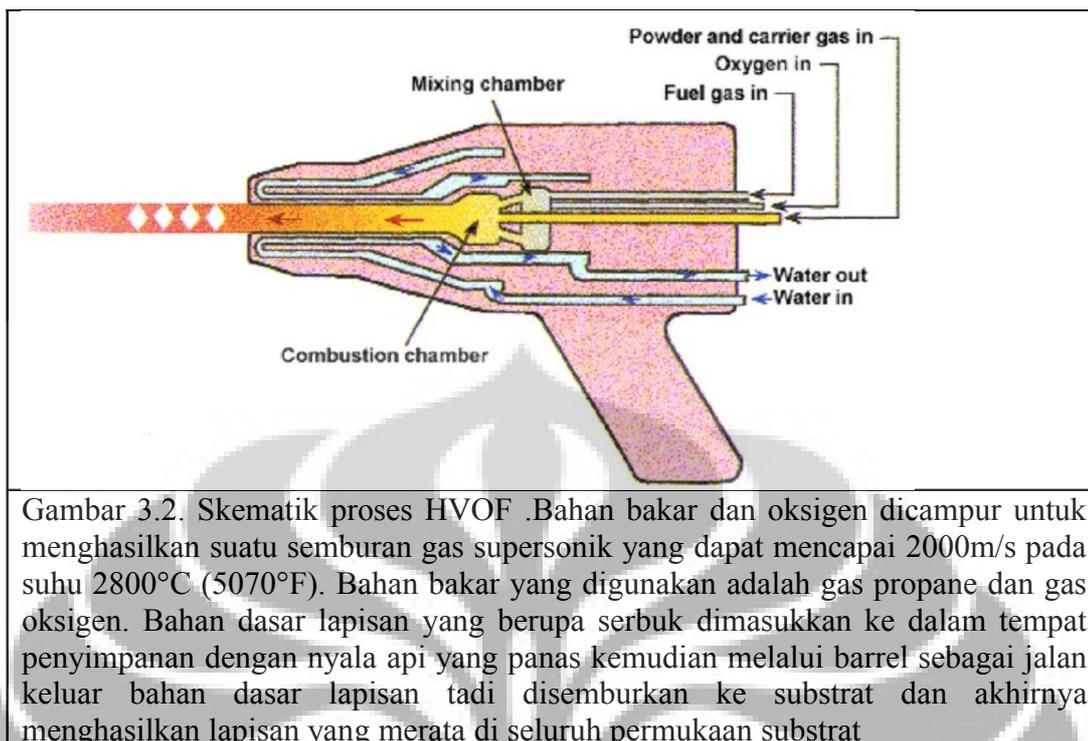
Sedangkan secara skematik proses yang 1 Bubuk dan gas pembawa pistol dari HVOF ini ditunjukkan Ruang pencampur Oksigen



Air keluar
Air masuk

Preparasi dan..., Sentot Imam Suwaji, FMIPA UI, 2008

Ruang pembakaran



Gambar 3.2. Skematik proses HVOF .Bahan bakar dan oksigen dicampur untuk menghasilkan suatu semburan gas supersonik yang dapat mencapai 2000m/s pada suhu 2800°C (5070°F). Bahan bakar yang digunakan adalah gas propane dan gas oksigen. Bahan dasar lapisan yang berupa serbuk dimasukkan ke dalam tempat penyimpanan dengan nyala api yang panas kemudian melalui barrel sebagai jalan keluar bahan dasar lapisan tadi disemburkan ke substrat dan akhirnya menghasilkan lapisan yang merata di seluruh permukaan substrat

Proses HVOF didasarkan pada suatu sistem pembakaran dengan menggunakan tekanan tinggi. Bahan bakar dan oksigen dicampur untuk menghasilkan suatu semburan gas supersonik yang dapat mencapai 2000m/s pada suhu 2800°C (5070°F). Bahan bakar yang digunakan adalah gas propane dan gas oksigen. Bahan dasar lapisan yang berupa serbuk dimasukkan ke dalam tempat penyimpanan dengan nyala api yang panas kemudian melalui ruang pembakaran sebagai jalan keluar bahan dasar lapisan tadi disemburkan ke substrat dan akhirnya menghasilkan lapisan yang merata di seluruh permukaan substrat. Bahan dasar lapisan tersebut pada dasarnya serbuknya berubah menjadi Semi-Molten Partikel yang dipercepat oleh arus gas dan melalui alat pemercik dapat tersembur dengan percepatan mencapai kira-kira 400m/s. Kondisi ini secara normal mengakibatkan berkurangnya jumlah partikelnya hingga mencapai 1% dengan suatu kekuatan lebih besar dari 60 MPa [18].

3.3 Karakterisasi Difraktometer sinar-x (XRD).

Pengamatan kualitas dan kuantitas fasa-fasa yang ada di dalam sampel menggunakan peralatan *x – ray Diffractometer (XRD) merek Philip, type*

PW1710. Pengukuran pola difraksi sampel dilakukan dengan berkas sinar-x dari *tube anode* Cu dengan panjang gelombang, $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$, *mode: continuous-scan*, *step size* : $0,02^\circ$, dan *time per step* : 0,5 detik. Karakterisasi XRD ini dilakukan di Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir - BATAN. Analisis profil difraktometer sinar-x yang diperoleh dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak program RIETAN (Rietveld Analysis). Program RIETAN ini dibuat oleh Fuji Izumi pada tahun 1994 [19]. Langkah untuk menganalisis dengan menggunakan metode rietveld ini, yaitu dengan memasukkan dua jenis data. Data pertama adalah data instrumen yang berisikan parameter struktur kristal dan data kedua adalah data intensitas. Parameter struktur kristal adalah data masukan dari suatu model perhitungan yang diajukan sebagai standar acuan. Sedangkan data intensitas adalah data yang diperoleh dari hasil pengukuran menggunakan XRD. Hasil pengolahan dari program ini memberikan beberapa informasi, diantaranya adalah data parameter struktur kristal dalam satu sel satuan, data intensitas hasil perhitungan (*calculation*) dan pengamatan (*observation*), data jumlah fraksi massa yang diperoleh apabila lebih dari satu fasa, dan data refleksi Bragg yang muncul.

3.4 Karakterisasi struktur mikro menggunakan scanning electron microscope (SEM) dan EDX

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk memeriksa topografi sampel pada perbesaran yang sangat tinggi. Pemeriksaan dengan SEM sering digunakan dalam analisis sekumpulan crack, melihat permukaan yang retak, dan cacat fisik pada permukaan. Selama pemeriksaan dengan SEM, berkas electron difokuskan pada setitik volume cuplikan, hasilnya berupa transfer energi ke titik tersebut. Sejumlah elektron terapan yang disebut dengan elektron primer, menumbuk dan mengeluarkan elektron dari cuplikan itu, sehingga electron dari cuplikan terpental. Electron yang terpental tersebut disebut dengan electron sekunder.

Elektron sekunder ini ditarik dan dikumpulkan oleh grid bias positif atau detektor, dan kemudian ditransfer ke dalam suatu sinyal. Untuk menghasilkan image dari SEM, berkas electron menyapu seluas permukaan yang diselidiki,

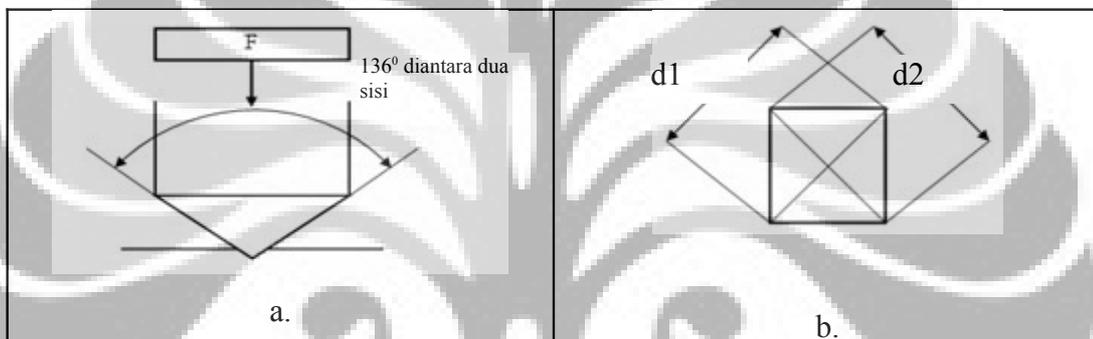
sehingga menghasilkan sinyal banyak. Sinyal-sinyal ini kemudian diperkuat, dianalisa, dan diterjemahkan atau diubah ke dalam image topography.

Energi dari berkas electron primer sangat menentukan besarnya electron sekunder yang terkumpul selama pemeriksaan. Pemancaran electron sekunder dari cuplikan meningkat seiring dengan meningkatnya energi dari electron primer sampai batas tertentu tercapai. Melebihi batas ini, electron sekunder yang terkumpul berkurang selama energi berkas electron primer dinaikkan, karena berkas electron primer siap mengaktifkan electron yang di bawah permukaan cuplikan. Elektron yang berasal dari kedalaman tertentu biasanya akan bergabung kembali sebelum mencapai permukaan selama proses pemancaran.

Selain dari electron sekunder, berkas electron primer dapat menghasilkan pemancaran backscattered (terpantul) electron dari cuplikan. Backscattered electrons memiliki energi yang lebih besar dari energi electron sekunder dan memiliki arah tertentu. Backscattered electrons tidak dapat begitu saja dikumpulkan oleh detektor electron sekunder, kecuali apabila detektor diarahkan langsung terhadap lintasan mereka. Semua pancaran yang memiliki energi diatas 50 eV akan dipertimbangkan untuk menjadi backscattered electrons. Backscattered electrons imaging berguna dalam membedakan material yang satu dengan material yang lainnya karena hasil backscattered electrons yang terkumpul bertambah secara monoton seiring dengan meningkatnya nomor atom cuplikan. Backscattered electrons imagine dapat membedakan unsur dengan nomor atom yang perbedaanya paling sedikit 3, sehingga dapat menampilkan image yang kontras [16].

3.5 . Microhardness Vickers

Metoda yang dipakai untuk menentukan kekerasan terdiri dari *indenter* material pengujian berbahan intan, dalam bentuk pyramid bagian kanan dengan sudut dasarnya 136 derajat, yang membentuk sudut diantara permukaan substrate untuk pembebanan dari 1 sampai 100 kgf. Pembebanan maksimum yang dilakukan 10-15 detik. Dua diagonal dari indenter dipermukaan material setelah beban diangkat dihitung menggunakan mikroskop untuk menentukan rata-rata di area lekukan permukaan indenter yang dihitung (gambar 3.3) [20]. Vickers hardness adalah hasil bagi didapat dengan membagi rata-rata kgf beban dengan luas dari indenter.



Gambar 3.3. Skema perhitungan *hardness*.

- a. Untuk menentukan kekerasan terdiri dari *indenter* material pengujian berbahan intan, dalam bentuk pyramid bagian kanan dengan sudut dasarnya 136 derajat.
 b. Dua diagonal dari indenter dipermukaan material setelah beban diangkat dihitung menggunakan mikroskop untuk menentukan rata-rata di area lekukan permukaan indenter yang dihitung.

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

$$Hv = 0,102 \frac{F}{s} = 0,102 \frac{2F \sin \frac{\theta}{2}}{d^2} = 0,1891 \frac{F}{d^2}$$

BAB IV PEMBAHASAN DAN ANALISA

4.1. Hasil Sintesis Lapisan

Bahan dasar dari lapisan ini berasal dari PT. Teknokraft Indo Asia yang berlokasi di Cilandak Commercial Estate Building 411-AW Jakarta. Bahan dasar ini mempunyai nama komersial yaitu JK 7184 JETKOTE powder.

JK 7184 JETKOTE powder ini digunakan untuk membuat atau melapisi suatu bahan logam (base metal) tertentu yang dibentuk melalui proses thermal spray. Metode yang digunakan adalah HVOF (high velocity oxygen fuel) Thermal Spray Coating. HVOF adalah termal spray yang memanfaatkan energi pemanasan plasma. Sedangkan hasil preparasi lapisan dengan menggunakan teknik HVOF ini ditunjukkan seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil preparasi lapisan dengan teknik HVOF

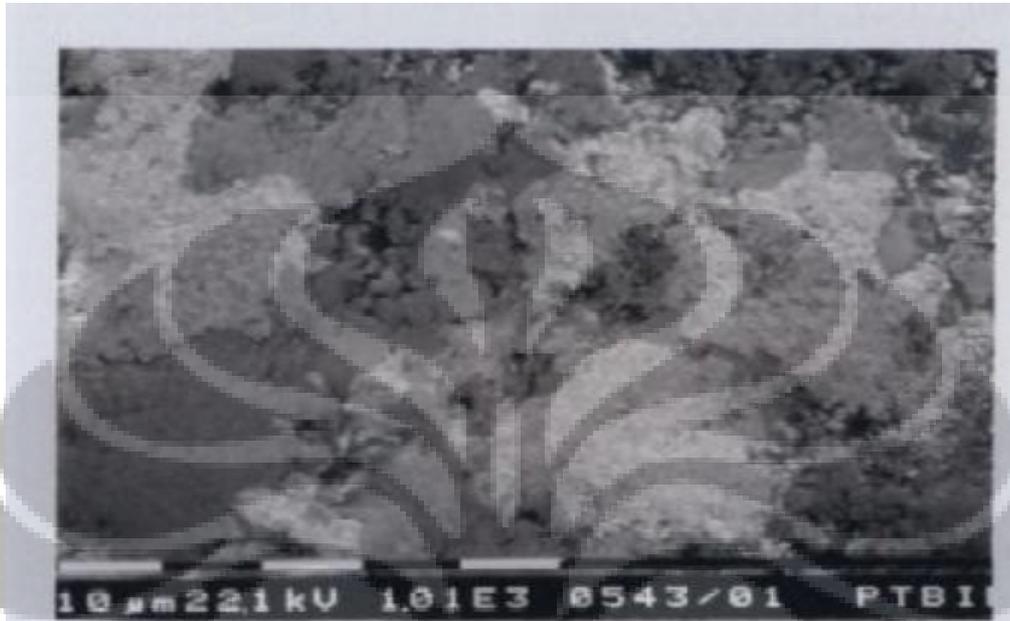
No.	Tekanan (atm)		Rasio Oksigen :Propana	Ketebalan (mm)	Nama Sampel
	Propana	Oksigen			
1.	1,4	8,2	5,9	0,7 ± 0,1	B1
2.	1,3	7,8	6,0	0,7 ± 0,1	B2
3	1,2	7,5	6,3	0,7 ± 0,1	B3
4.	1,2	8,0	6,7	0,7 ± 0,1	B4

Berdasarkan Tabel 4.1, nilai dari variasi tekanan antara Oksigen dan Propana oksigen dapat disimpulkan bahwa rasio tekanan tersebut menghasilkan kondisi peningkatan jumlah tekanan oksigen pada masing-masing sampel. Sedangkan waktu spray rata-rata selama 5 detik, sehingga menghasilkan lapisan yang memiliki ketebalan yang relatif sama sekitar 0,7 mm.

Variasi peningkatan tekanan oksigen ini diharapkan dapat memberikan pengaruh konsentrasi pada paduan yang terbentuk dengan demikian dapat menghasilkan karakteristik terutama sifat fisis dan mekanik yang optimum.

4.2. Karakterisasi struktur mikro dengan SEM dan EDX

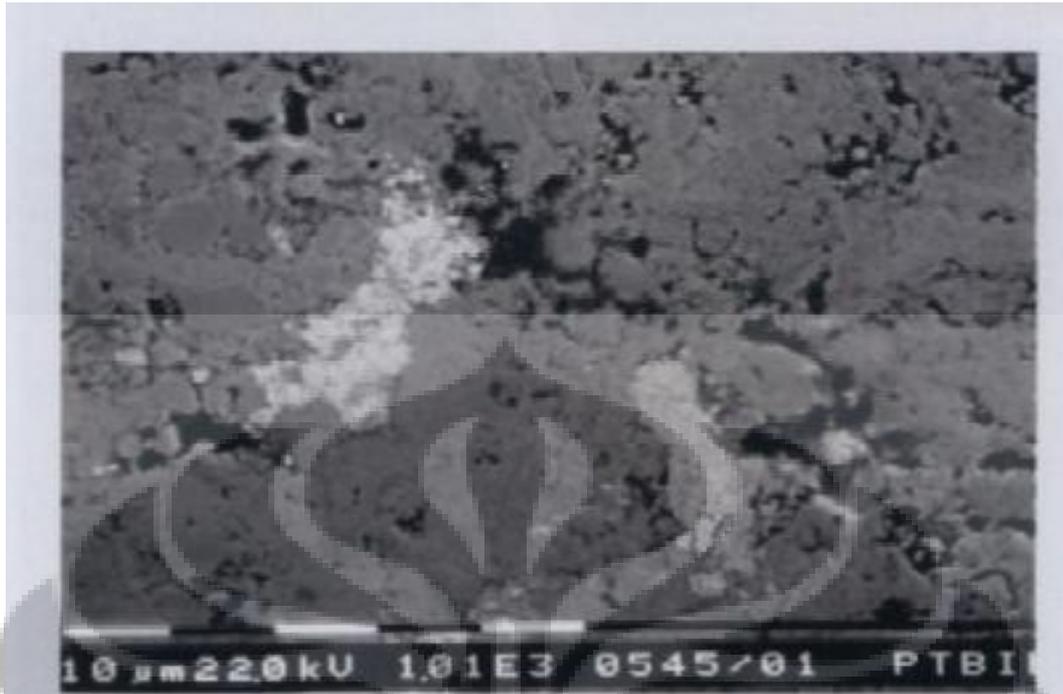
Hasil preparasi lapisan dengan menggunakan metode HVOF tersebut kemudian dilihat morfologi permukaannya dengan menggunakan scanning electron microscope (SEM). Gambar 4.1, Gambar 4.2, Gambar 4.3, dan Gambar 4.4, berturut-turut merupakan foto SEM sampel B1, B2, B3, dan B4.



Gambar 4.1. Foto SEM sampel B1 dengan rasio tekanan oksigen dan propana 5,9.



Gambar 4.2. Foto SEM sampel B2 dengan rasio tekanan oksigen dan propana 6,0.



Gambar 4.3. Foto SEM sampel B3 dengan rasio tekanan oksigen dan propana 6,3



Gambar 4.4. Foto SEM sampel B4 dengan rasio tekanan oksigen dan propana 6,7.

Tabel 4.2. Hasil Pengukuran EDX Sampel B

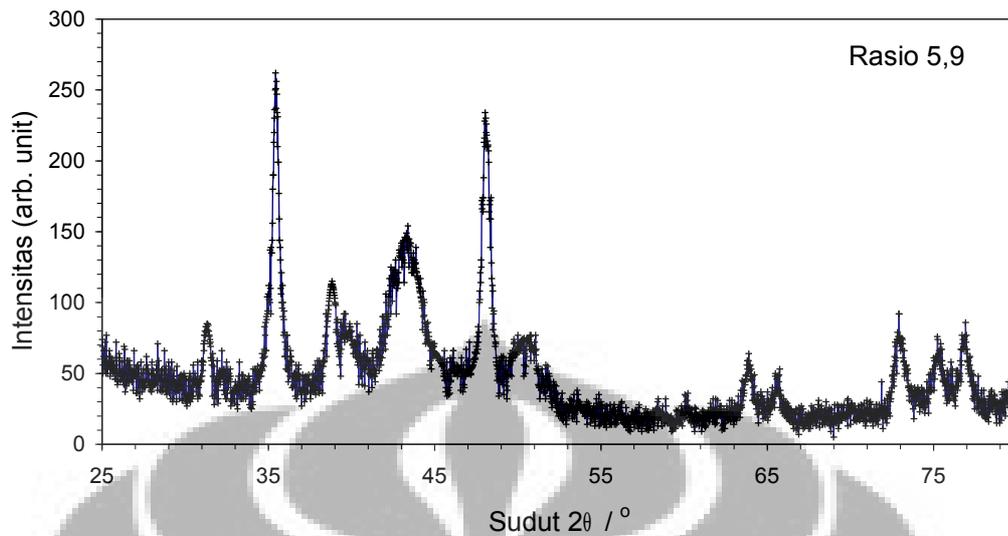
Sampel Rasio Tekanan (Oksigen:Propana)	% berat atom				Keterangan
	W	Cr	Fe	Co	
5,9	49,71	42,73	0,36	7,20	Spot abu-abu
	52,61	39,63	0,16	7,60	Spot putih
	44,66	47,68	0,26	7,40	Overall
6,0	20,29	76,02	0,38	3,31	Spot abu-abu
	56,5	35,32	0,31	7,87	Spot putih
	41,86	50,15	0,33	7,66	Overall
6,3	13,52	83,38	0,61	2,49	Spot abu-abu
	63,43	26,28	0,28	10,01	Spot putih
	42,21	49,35	0,46	7,98	Overall
6,7	9,44	88,43	0,76	1,37	Spot abu-abu
	78,1	12,86	0,23	8,81	Spot putih
	41,34	50,58	0,49	7,59	Overall

Tampak bahwa dari gambar foto SEM tersebut baik pada Gambar 4.1, Gambar 4.2, Gambar 4.3, maupun Gambar 4.4 terdapat tiga daerah warna, yaitu daerah warna putih, abu-abu, dan hitam. Berdasarkan hasil analisa dengan menggunakan EDX yang ditunjukkan pada Tabel 4.2, menunjukkan bahwa spot daerah yang berwarna putih didominasi dengan kandungan unsur Tungsten (W) yang cukup banyak sebesar 52,61%, 56,5%, 63,43%, 78,1% yang berturut-turut untuk sampel B1, B2, B3, dan B4. Dan daerah warna abu-abu didominasi dengan unsur Chromium yang cukup banyak, yaitu sebesar 47,68%, 76,02%, 83,38%, 88,43% yang berturut-turut untuk sampel B1, B2, B3, dan B4.

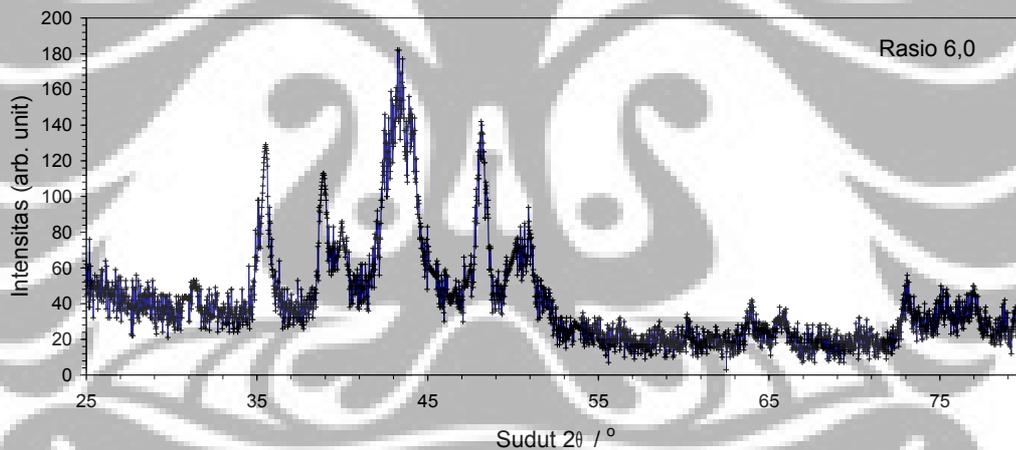
4.3. Hasil Pengukuran Difraktometer Sinar-X Lapisan

Karakterisasi awal yang dapat digunakan mengidentifikasi paduan yang terbentuk pada lapisan hasil proses HVOF ini adalah pengukuran dengan menggunakan difraksi sinar-x (XRD). Secara umum analisis dengan difraksi sinar-x ini dapat memberikan gambaran fasa-fasa yang terbentuk di dalam lapisan hasil proses HVOF ini.

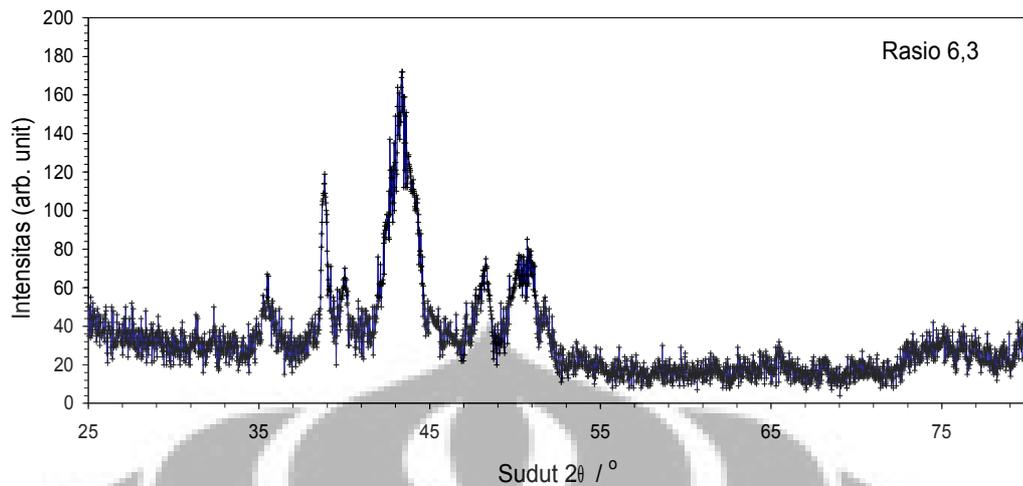
Hasil pengukuran difraksi sinar-x pada sampel B1, B2, B3, dan B4 berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 4.5, Gambar 4.6, Gambar 4.7, dan Gambar 4.8.



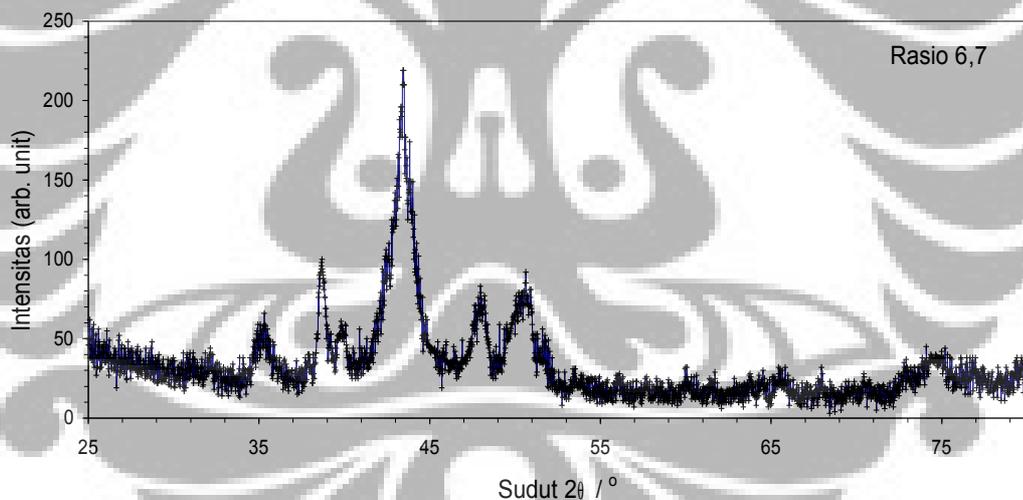
Gambar 4.5. Pola difraksi sinar-x sampel B1 dengan rasio tekanan Oksigen dan Propana 5,9. Profil difraksi ini merupakan hasil pengukuran XRD pada permukaan lapisan. Puncak tertinggi berada pada sudut 35,41°. Berdasarkan identifikasi dengan menggunakan Tabel Hanawalt diduga puncak ini dimiliki oleh fasa Tungsten Carbida (WC).



Gambar 4.6. Pola difraksi sinar-x sampel B2 dengan rasio tekanan Oksigen dan Propana 6,0. Profil difraksi ini merupakan hasil pengukuran XRD pada permukaan lapisan. Puncak tertinggi berada pada sudut 43,29°. Pada puncak ini terjadi pelebaran (broadening) sehingga berdasarkan identifikasi dengan menggunakan Tabel Hanawalt diduga puncak ini dimiliki oleh dua fasa, yaitu Cobalt (Co) dan Chromium Cobalt (CrCo).



Gambar 4.7. Pola difraksi sinar-x sampel B3 dengan rasio tekanan Oksigen dan Propana 6,3. Profil difraksi ini merupakan hasil pengukuran XRD pada permukaan lapisan. Puncak tertinggi berada pada sudut $43,33^\circ$. Pada puncak ini terjadi pelebaran (broadening) sehingga berdasarkan identifikasi dengan menggunakan Tabel Hanawalt diduga puncak ini dimiliki oleh dua fasa, yaitu Cobalt (Co) dan Chromium Cobalt (CrCo).

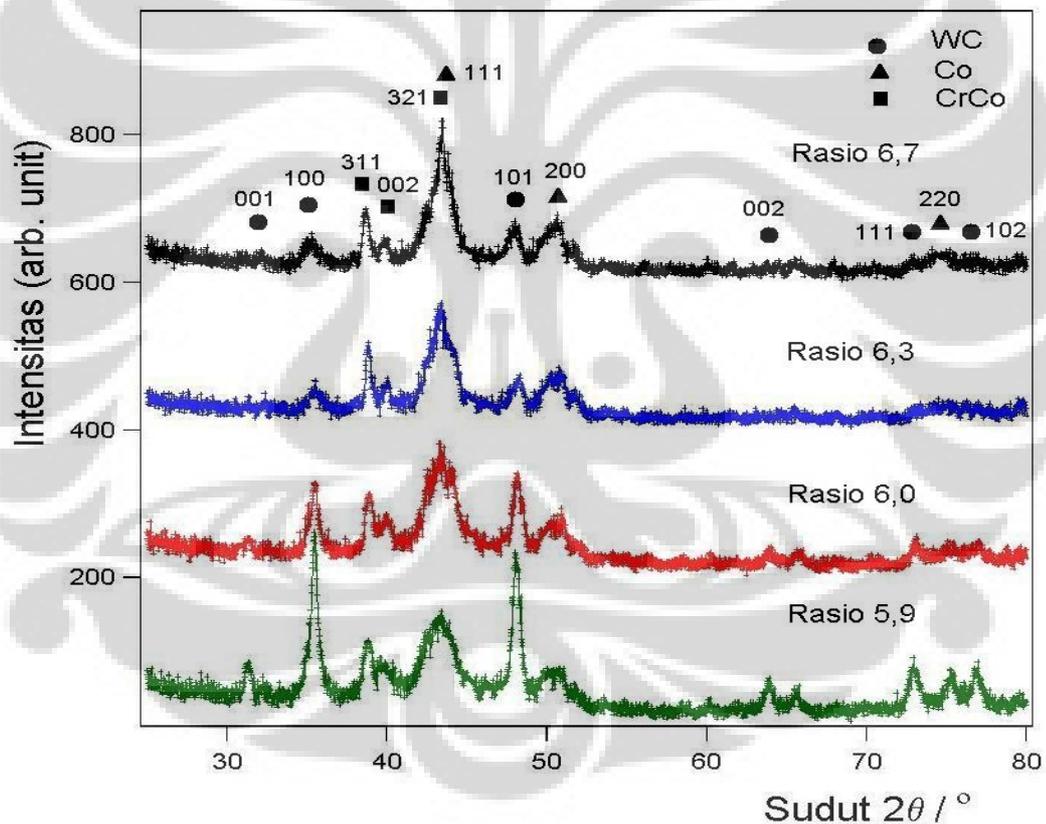


Gambar 4.8 Pola difraksi sinar-x sampel B4 dengan rasio tekanan Oksigen dan Propana 6,7. Profil difraksi ini merupakan hasil pengukuran XRD pada permukaan lapisan. Puncak tertinggi berada pada sudut $43,47^\circ$. Pada puncak ini terjadi pelebaran (broadening) sehingga berdasarkan identifikasi dengan menggunakan Tabel Hanawalt diduga puncak ini dimiliki oleh dua fasa, yaitu Cobalt (Co) dan Chromium Cobalt (CrCo).

4.4. Identifikasi Profil XRD dengan Tabel Hanawalt

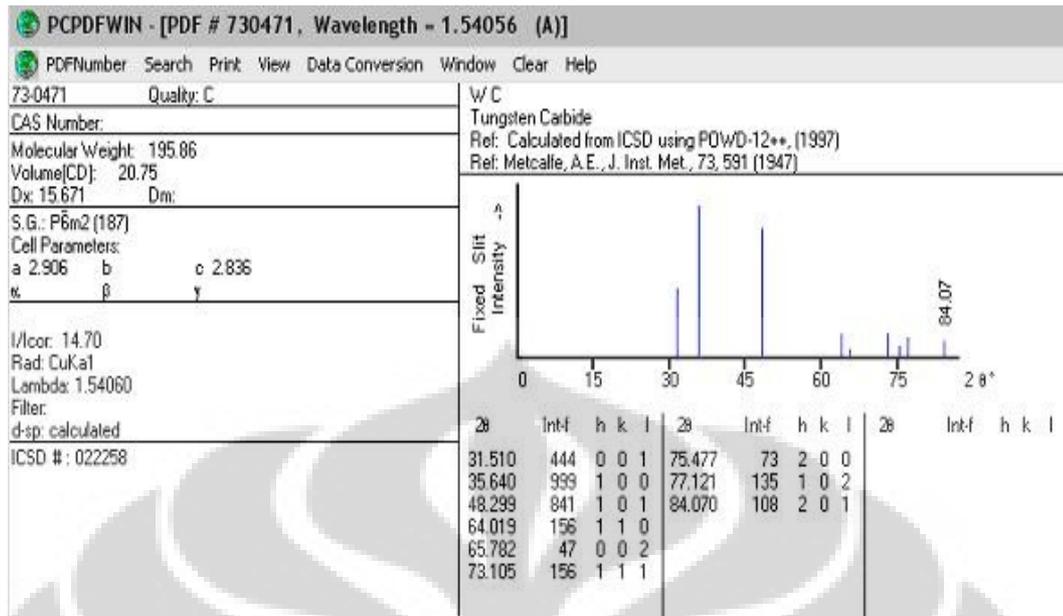
Berdasarkan hasil analisa SEM dan EDX, bahwa masing-masing sampel lt. tersebut terdapat 3 daerah warna, dimana setiap warna didominasi dengan unsur tertentu. Ketiga warna tersebut diduga memiliki fasa yang berbeda-beda. Dengan demikian dugaan fasa yang muncul dapat divariasikan dan hasil yang paling mendekati dengan fasa-fasa standar dari data base Tabel Hanawalt menunjukkan bahwa fasa-fasa tersebut adalah fasa Tungsten Carbida (WC), fasa Cobalt (Co), dan fasa Chromium Cobalt (CrCo). Hasil ini juga dari penelitian Agus Santosa yang melakukan proses yang sama dengan hasil komposit paduan Tungsten Carbida/Cobalt

Gabungan pola difraksi sinar-x dan identifikasi awal dengan Tabel Hanawalt dari keempat sampel tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.9

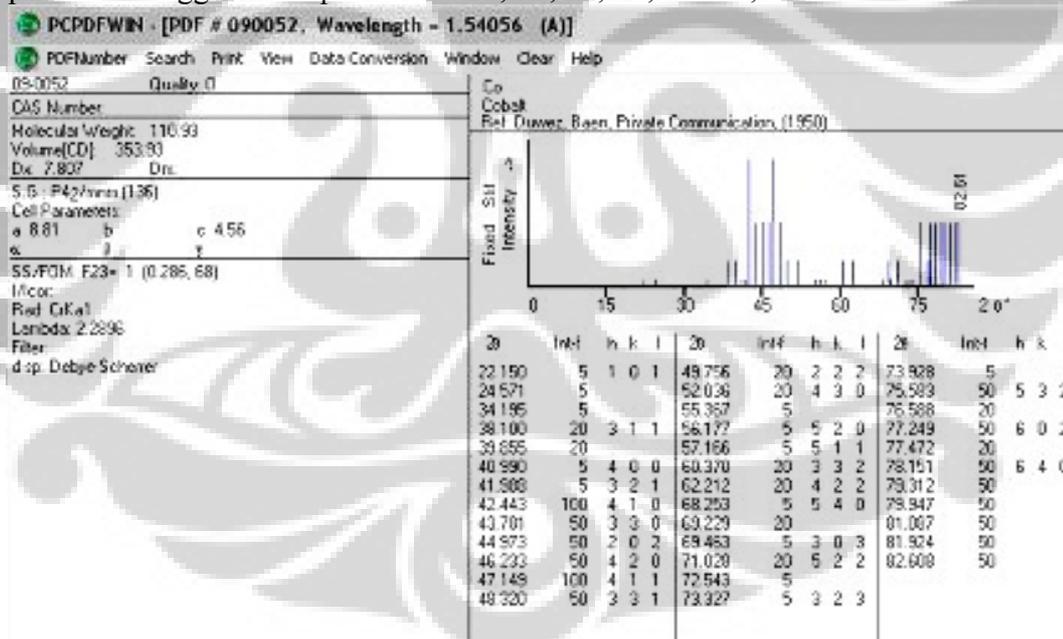


Gambar 4.9. Gabungan pola difraksi sinar-x sampel B1, B2, B3, dan B4. Keempat profil XRD ini menunjukkan terjadinya pertumbuhan dan penurunan fasa. Fasa WC tampak semakin menurun sedangkan fasa Co dan CrCo tampak semakin meningkat.

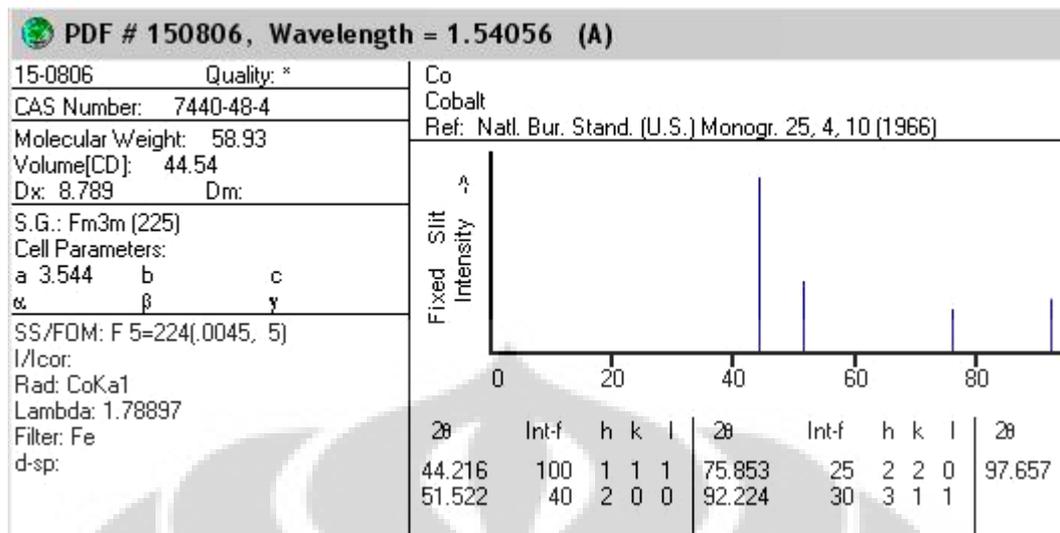
Identifikasi fasa-fasa pada Gambar 4.9 merujuk pada *database JCPDS – International Center for Diffraction Data (ICDD)*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.10, Gambar 4.11, dan 4.12.



Gambar 4.10. Referensi profil difraksi sinar-x pada paduan Tungsten Carbida. referensi Tabel Hanawalt untuk paduan Tungsten Carbida (WC) yang merujuk pada penelitian Metcalfe yang telah dipublikasikan pada tahun 1947. Tiga puncak tertinggi berada pada sudut 31,51°, 35,64°, dan 48,299°.



Gambar 4.11. Referensi profil difraksi sinar-x pada Cobalt. referensi Tabel Hanawalt untuk Cobalt (Co) yang merujuk pada penelitian Duwez dan Baen yang telah dipublikasikan pada tahun 1950. Dua puncak tertinggi berada pada sudut 42,443° dan 47,149°



Gambar 4.12. Referensi profil difraksi sinar-x pada Chromium Cobalt. referensi Tabel Hanawalt untuk Cobalt (Co) yang merujuk pada penelitian Natl. Bur. Stand. (USA) yang telah dipublikasikan pada tahun 1966. Dua puncak tertinggi berada pada sudut 44,216°, 51,522° dan 92,224°.

Gambar 4.10 adalah referensi Tabel Hanawalt untuk paduan Tungsten Carbida (WC) yang merujuk pada penelitian Metcalfe yang telah dipublikasikan pada tahun 1947 [19] dan Gambar 4.11. adalah referensi Tabel Hanawalt untuk Cobalt (Co) yang merujuk pada penelitian Duwez dan Baen yang telah dipublikasikan pada tahun 1950 [20]. Sedangkan Gambar 4.12 adalah referensi Tabel Hanawalt untuk Cobalt (Co) yang merujuk pada penelitian Natl. Bur. Stand. (USA) yang telah dipublikasikan pada tahun 1966 [21] dimana diduga sebagian besar atom Chromium tersubstitusi ke dalam atom Cobalt pada posisi atom yang sama.

Pada Gambar 4.10 menunjukkan bahwa sistem kristal paduan Tungsten Carbida ini adalah Heksagonal, dengan space group P-6m2 (187), mempunyai parameter kisi $a = b = 2,906 \text{ \AA}$, dan $c = 2,836 \text{ \AA}$, dan sudut yang dibentuk $\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma = 120^\circ$.

Dan pada Gambar 4.11. menunjukkan bahwa sistem kristal Cobalt ini adalah Tetragonal, dengan space group P4₂/mnm (136), mempunyai parameter kisi $a = b = 8,81 \text{ \AA}$, dan $c = 4,56 \text{ \AA}$, dan sudut yang dibentuk $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$.

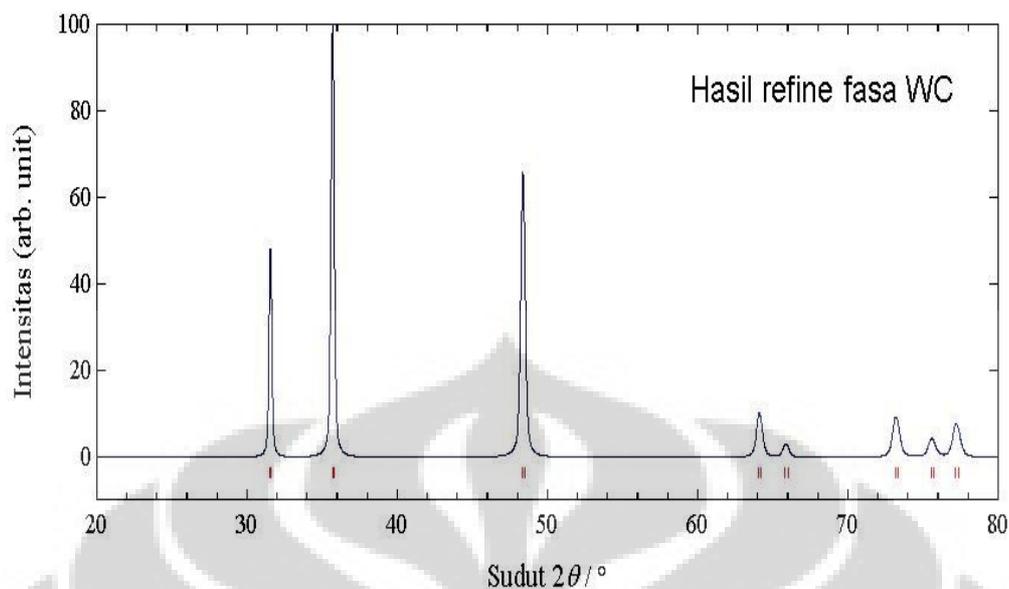
Sedangkan pada Gambar 4.12. menunjukkan bahwa sistem kristal Chromium Cobalt ini adalah Cubic mengikuti sistem kristal dari Cobalt, dengan

space group $Fm\bar{3}m$ (225), mempunyai parameter kisi $a = b = c = 3,544 \text{ \AA}$, dan sudut yang dibentuk $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$.

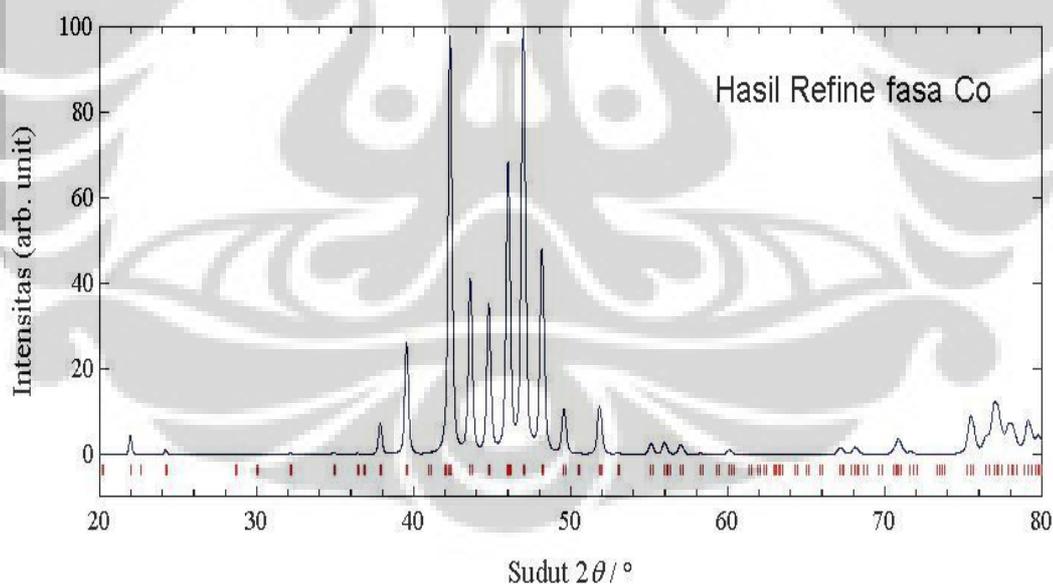
Tampak bahwa pola difraksi sinar-x pada Gambar 4.9 menunjukkan pola yang sesuai dengan pola difraksi sinar-x hasil penelitian Metcalfe untuk paduan WC, Duwez untuk Co, dan Natl. Bur. Stand. (USA) untuk CrCo, Jadi lapisan tersebut diasumsikan memiliki tiga fasa yaitu fasa WC, Co dan CrCo.

4.5. Analisa XRD dengan Menggunakan Metode Rietveld

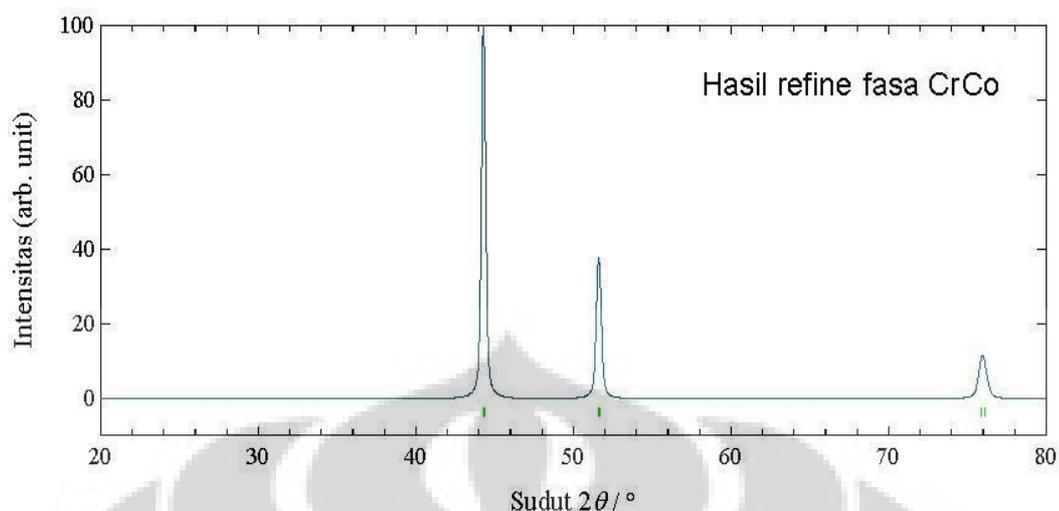
Analisis profil difraktometer sinar-x yang diperoleh dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak program RIETAN (Rietveld Analysis), Program RIETAN ini dibuat oleh Fuji Izumi pada tahun 1994 [19]. Langkah untuk menganalisis dengan menggunakan metode rietveld ini, yaitu dengan memasukkan dua jenis data. Data pertama adalah data instrumen yang berisikan parameter struktur kristal dan data kedua adalah data intensitas, Parameter struktur kristal adalah data masukan dari suatu model perhitungan yang diajukan sebagai standar acuan. Sedangkan data intensitas adalah data yang diperoleh dari hasil pengukuran menggunakan XRD. Hasil pengolahan dari program ini memberikan beberapa informasi, diantaranya adalah data parameter struktur kristal dalam satu sel satuan, data intensitas hasil perhitungan (calculation) dan pengamatan (observation), data jumlah fraksi massa yang diperoleh apabila lebih dari satu fasa, dan data refleksi Bragg yang muncul.



Gambar 4.13. Hasil refinement profil difraksi sinar-x pada paduan Tungsten Carbida. Hasil refinement ini berdasarkan input parameter dari Tabel Hanawalt yang merujuk pada penelitian Metcalfe yang telah dipublikasikan pada tahun 1947.



Gambar 4.14. Simulasi profil difraksi sinar-x pada Cobalt. Hasil refinement ini berdasarkan input parameter dari Tabel Hanawalt yang merujuk pada penelitian Duwez dan Baen yang telah dipublikasikan pada tahun 1950.



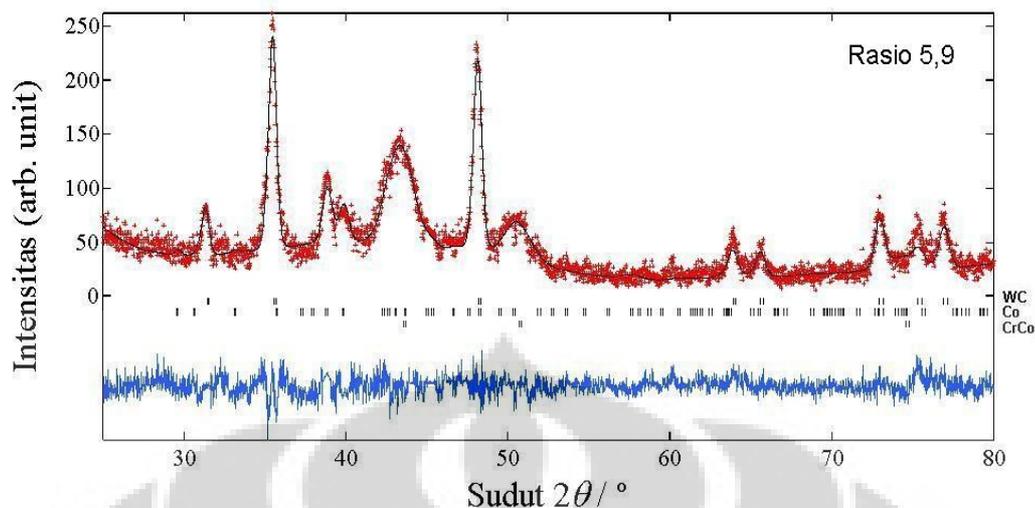
Gambar 4.15. Simulasi profil difraksi sinar-x pada Chromium Cobalt. Hasil refinement ini berdasarkan input parameter dari Tabel Hanawalt yang merujuk pada penelitian Natl. Bur. Stand. (USA) yang telah dipublikasikan pada tahun 1966.

Berdasarkan hasil identifikasi awal dengan menggunakan Tabel Hanawalt tersebut, maka hasil simulasi awal dari analisis Rietveld ini ditunjukkan pada Gambar 4.13, Gambar 4.14 dan Gambar 4.15, yang berturut-turut untuk simulasi fasa WC, Co dan CrCo.

Pola difraksi sinar-x dianalisis dengan metode *Rietveld* pada lapisan dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut : Referensi yang digunakan untuk fasa pertama adalah fasa WC, yaitu dengan memasukkan input parameter kisi dan posisi atom dari fasa tersebut, kemudian untuk fasa kedua adalah fasa Co. Dan fasa yang ketiga adalah CrCo.

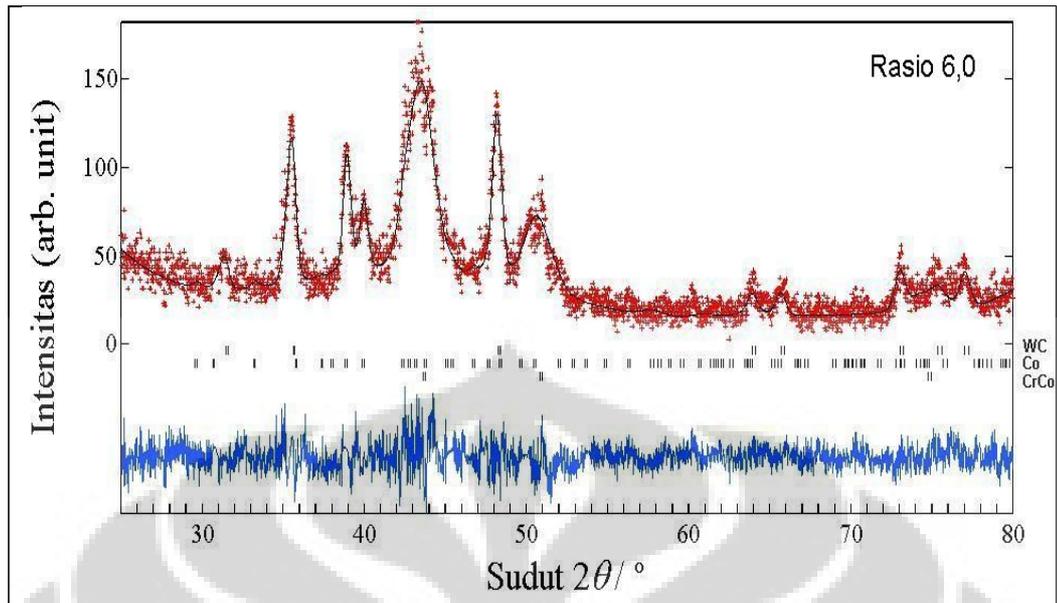
Fasa ini merupakan komposit Chromium dan Cobalt dengan komposisi rata-rata sesuai dengan analisis EDX, yaitu M (86% Cr dan 14% Co). *Occupation factor* g atom W, C, dan Co diasumsikan 1. Sedangkan untuk komposit CrCo diasumsikan Cr = 0,86 dan Co = 0,14 sehingga total *occupation factor* dalam satu atom tersebut adalah 1. Harga faktor suhu isotropik masing-masing atom diberikan nilai awal B = 1.

Pola difraksi hasil analisis menunjukkan adanya puncak-puncak yang berimpit dengan profil pola difraksi fasa WC, Co, dan CrCo seperti yang terlihat pada Gambar 4.16, 4.17, 4.18, dan 4.19 yang berturut-turut merupakan hasil refinement pola difraksi sinar-x untuk sampel B1, B2, B3, dan B4.

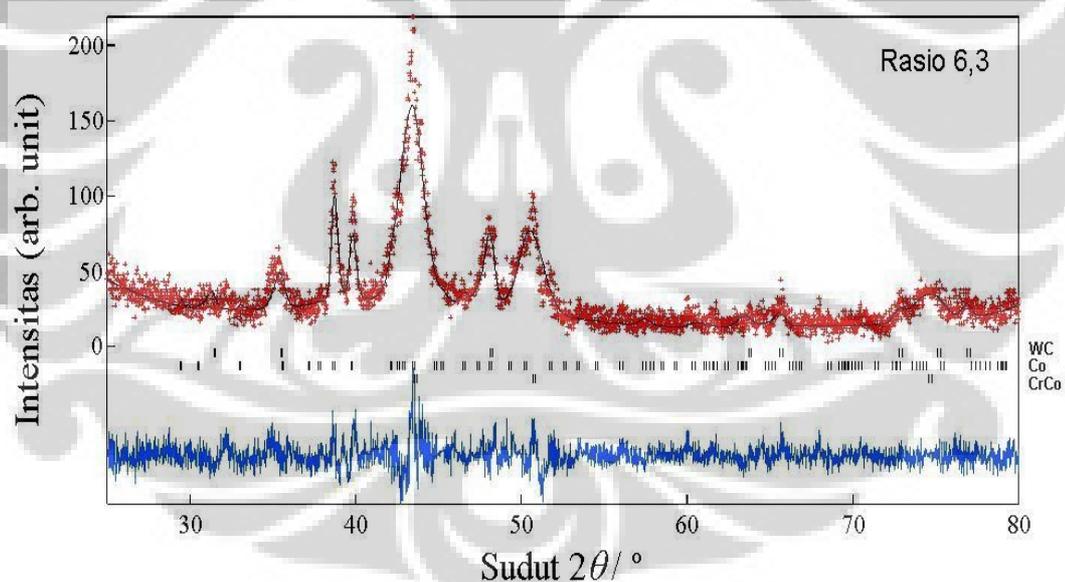


Gambar 4.16. Hasil refinement pola difraksi sinar-x sampel B1 dengan rasio perbandingan tekanan propana dan oksigen 1 : 5,9. Profil XRD ini menurut hasil refinement dengan menggunakan Metode Rietveld terdiri dari tiga fasa, yaitu : fasa WC, Co, dan CrCo.

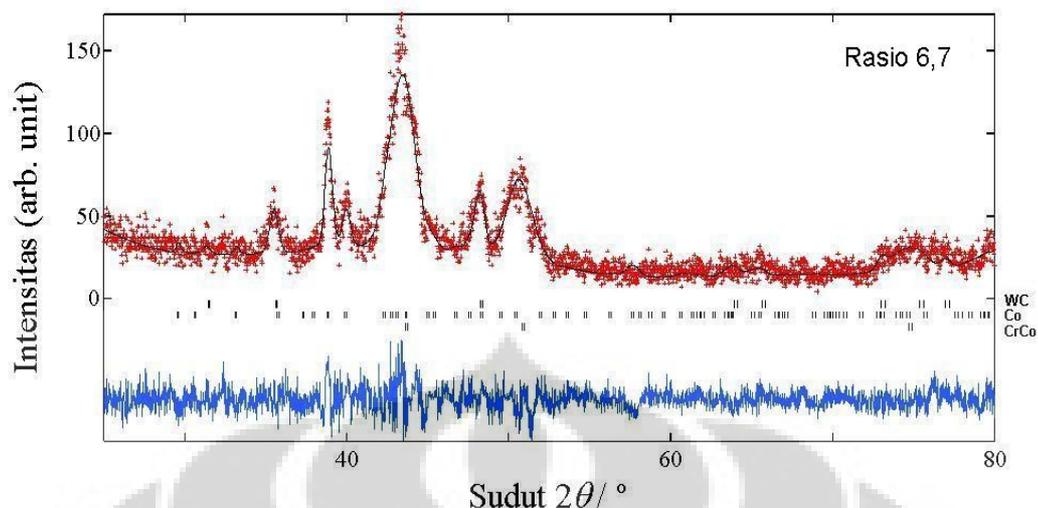
Simbol (+) merupakan hasil pengukuran sampel dengan menggunakan difraksi sinar-x yang lazim disebut garis observasi. Garis yang berada diantara simbol (+) adalah hasil perhitungan berdasarkan data yang diperoleh dari penelitian Metcalfe (referensi fasa WC), Duwez (referensi fasa Co) dan Natl. Bur. Stand. (referensi fasa CrCo) yang kemudian disebut dengan garis kalkulasi. Garis putus-putus berbentuk simbol bar (|) adalah titik-titik puncak fasa WC, Co, dan CrCo dari hasil perhitungan berdasarkan referensi. Garis yang berada pada posisi di bawah simbol bar (|) merupakan selisih dari profil hasil observasi dan profil hasil kalkulasi. Semakin datar garis biru ini berarti bahwa profil hasil observasi ini semakin cocok dan terfitting baik dengan profil hasil kalkulasi.



Gambar 4.17. Hasil refinement pola difraksi sinar-x sampel B2 dengan rasio perbandingan tekanan propana dan oksigen 1 : 6,0. Profil XRD ini menurut hasil refinement dengan menggunakan Metode Rietveld terdiri dari tiga fasa, yaitu : fasa WC, Co, dan CrCo.



Gambar 4.18. Hasil refinement pola difraksi sinar-x sampel B3 dengan rasio perbandingan tekanan propana dan oksigen 1 : 6,3. Profil XRD ini menurut hasil refinement dengan menggunakan Metode Rietveld terdiri dari tiga fasa, yaitu : fasa WC, Co, dan CrCo.



Gambar 4.19. Hasil refinement pola difraksi sinar-x sampel B4 dengan rasio perbandingan tekanan propana dan oksigen 1 : 6,7. Profil XRD ini menurut hasil refinement dengan menggunakan Metode Rietveld terdiri dari tiga fasa, yaitu : fasa WC, Co, dan CrCo.

Hal ini menunjukkan bahwa sampel yang terbentuk merupakan fasa yang diinginkan, yaitu fasa WC, Co dan CrCo.

Data parameter kisi untuk fasa Tungsten Carbida (WC), fasa Cobalt (Co), dan fasa Chromium Cobalt (CrCo) ditunjukkan pada tabel 4.3, sedangkan posisi atom, nilai faktor R (*criteria of fit*) dan *Chi square S (goodness of fit)* dari struktur kristal fasa Tungsten Carbida (WC), fasa Cobalt (Co), dan fasa Chromium Cobalt (CrCo) hasil analisis ini ditunjukkan pada Tabel 4.4, Tabel 4.5, Tabel 4.6, dan Tabel 4.7 yang berturut-turut untuk sampel B1, B2, B3, dan B4.

Tabel 4.3. Data parameter kisi hasil analisis dengan program RIETAN

Parameter kisi (Å)			
Tungsten Carbida (WC) space group P-6m2 (187)			
Ratio tekanan (Oksigen:Propana)	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>C</i>
5,90	2,913 ± 0,002	2,915 ± 0,002	2,845 ± 0,002
6,00	2,910 ± 0,003	2,910 ± 0,003	2,841 ± 0,002
6,30	2,910 ± 0,005	2,910 ± 0,005	2,843 ± 0,003
6,70	2,920 ± 0,002	2,920 ± 0,002	2,845 ± 0,002
Cobalt (Co) space group P4 ₂ /mnm (136)			
Ratio tekanan (Oksigen:Propana)	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>C</i>
5,90	8,555 ± 0,002	8,555 ± 0,002	4,531 ± 0,002
6,00	8,541 ± 0,013	8,541 ± 0,013	4,521 ± 0,007
6,30	8,555 ± 0,015	8,555 ± 0,022	4,520 ± 0,008
6,70	8,588 ± 0,003	8,588 ± 0,003	4,539 ± 0,003
Chromium Cobalt (CrCo) space group Fm3m (225)			
Ratio tekanan (Oksigen:Propana)	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>C</i>
5,90	3,598 ± 0,002	3,598 ± 0,002	3,598 ± 0,0020
6,00	3,590 ± 0,005	3,590 ± 0,005	3,590 ± 0,005
6,30	3,593 ± 0,004	3,593 ± 0,004	3,593 ± 0,004
6,70	3,598 ± 0,001	3,598 ± 0,001	3,598 ± 0,001

Tabel 4.4. Posisi atom, nilai faktor R (*criteria of fit*) dan *Chi square S (goodness of fit)* hasil refinement pola XRD sampel B1.

Unsur	Faktor Hunian	Posisi atom			Faktor R (%) dan chi square (S)
		x	y	z	

Tungsten Carbida (WC) space group P-6m2 (187)				
W	0,98(7)	0,00	0,00	0,00
C	1,0	0.34(2)	-0,90(6)	0,50
Cobalt (Co) space group P4 ₂ /mnm (136)				
Co1	1,0	0,00	0,00	0,00
Co2	1,0	0,42(3)	0,37(3)	0,00
Co3	1,0	0,45(2)	0,16(2)	0,00
Co4	1,0	0,76(3)	0,01(2)	0,00
Co5	1,0	0,21(2)	0,28(2)	0,37(1)
Chromium Cobalt (CrCo) space group Fm3m (225)				
M	1,0	0,00	0,00	0,00

$R_{wp} = 17,14$

$R_p = 12,63$

$S = 1,18$

WC

$R_I = 8,70$

$R_F = 5,95$

Co

$R_I = 6,62$

$R_F = 4,88$

CrCo

$R_I = 6,92$

$R_F = 3,97$

Tabel 4.5. Posisi atom, faktor faktor R (*criteria of fit*) dan *Chi square S (goodness of fit)* hasil refinement pola XRD sampel B2

Unsur	Faktor Hunian	Posisi atom			Faktor R (%) dan chi square (S)
		x	y	z	

Tungsten Carbida (WC) space group P-6m2 (187)				
W	1,0	0,00	0,00	0,00
C	1,0	0.34(8)	-0.86(3)	0,50
Cobalt (Co) space group P4 ₂ /mnm (136)				
Co1	0,83(1)	0,00	0,00	0,00
Co2	0,93(3)	0,43(5)	0,38(4)	0,00
Co3	0,93(7)	0,45(4)	0,17(3)	0,00
Co4	1.0	0.77(3)	0.02(2)	0,00
Co5	1.0	0,21(3)	0,28(2)	0,37(2)
Chromium Cobalt (CrCo) space group Fm3m (225)				
M	1,0	0,00	0,00	0,00

$R_{wp} = 17,65$

$R_p = 13,17$

$S = 1,14$

WC

$R_I = 8,21$

$R_F = 5,79$

Co

$R_I = 6,53$

$R_F = 4,51$

CrCo

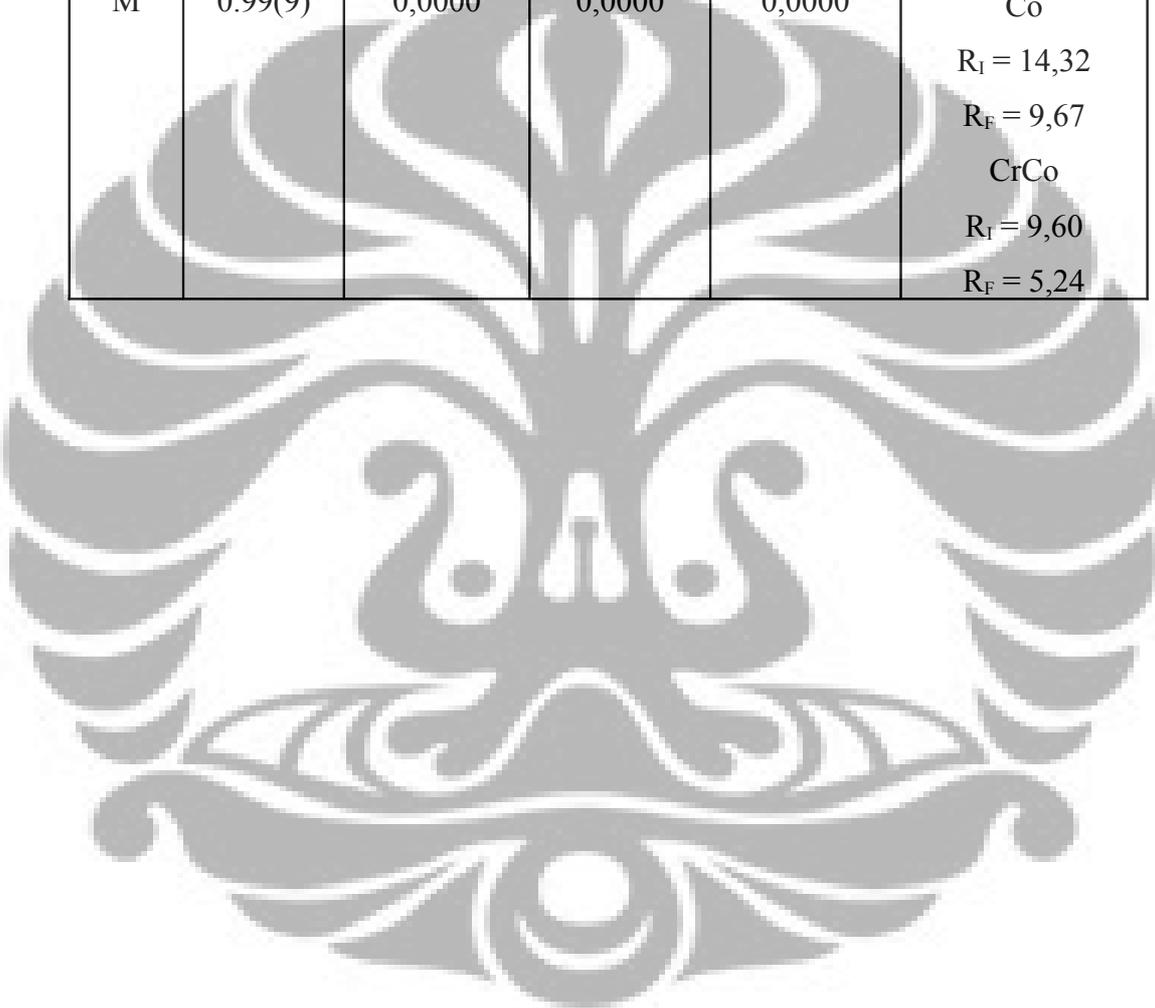
$R_I = 7,02$

$R_F = 3,91$

Tabel 4.6. Posisi atom, faktor faktor R (*criteria of fit*) dan *Chi square S (goodness of fit)* hasil refinement pola XRD sampel B3

Unsur	Faktor Hunian	Posisi atom			Faktor R (%) dan chi square (S)
		x	y	z	

Tungsten Carbida (WC) space group P-6m2 (187)				
W	0,98(7)	0,0000	0,0000	0,0000
C	1,0	0,34(2)	-0,90(6)	0,5000
Cobalt (Co) space group P4 ₂ /mnm (136)				
Co1	0,56(3)	0,00	0,00	0,00
Co2	0,47(2)	0,42(9)	0,37(6)	0,00
Co3	0,48(3)	0,45(6)	0,16(3)	0,00
Co4	0,47(6)	0,76(9)	0,01(9)	0,00
Co5	0,50(1)	0,21(2)	0,28(5)	0,37(7)
Chromium Cobalt (CrCo) space group Fm3m (225)				
M	0,99(9)	0,0000	0,0000	0,0000



$R_{wp} = 20,74$

$R_p = 15,69$

$S = 1,21$

WC

$R_I = 14,61$

$R_F = 8,65$

Co

$R_I = 14,32$

$R_F = 9,67$

CrCo

$R_I = 9,60$

$R_F = 5,24$

Tabel 4.7. Posisi atom, faktor faktor R (*criteria of fit*) dan *Chi square S (goodness of fit)* hasil refinement pola XRD sampel B4

Unsur	Faktor Hunian	Posisi atom			Faktor R (%) dan chi square (S)
		x	y	z	

Tungsten Carbida (WC) space group P-6m2 (187)					
W	1,0	0,00	0,00	0,00	$R_{wp} = 19,63$
C	1,0	0.34(1)	-0,90(5)	0,50	$R_p = 15,02$
Cobalt (Co) space group P4 ₂ /mnm (136)					$S = 1,12$
Co1	0,56(3)	0,00	0,00	0,00	WC
Co2	0,47(2)	0,43(2)	0,38(6)	0,00	$R_I = 15,61$
Co3	0,48(3)	0,45(2)	0,16(7)	0,00	$R_F = 9,88$
Co4	0,47(6)	0.78(5)	0.01(2)	0,00	Co
Co5	0,50(1)	0,21(3)	0,28(8)	0,37(4)	$R_I = 13,99$
Chromium Cobalt (CrCo) space group Fm3m (225)					$R_F = 8,58$
M	1,0	0,00	0,00	0,00	CrCo
					$R_I = 8,77$
					$R_F = 4,85$

Tampak bahwa faktor R relative kecil, dan faktor S bernilai lebih kecil dari nilai standar *Rietveld* ($S_{\text{standar}} = 1,30$). *Refinement* ini menunjukkan bahwa hasil *fitting* antara observasi dan kalkulasi sudah cukup baik. Hasil *refinement* pola difraksi sinar-x ini menunjukkan bahwa lapisan ini memiliki tiga fasa, yaitu : fasa Tungsten Carbida (WC) yang berstruktur kristal heksagonal dengan group ruang P-6m2 (187), fasa Cobalt (Co) yang berstruktur tetragonal dengan group ruang P4₂/mnm (136), dan fasa Chromium Cobalt (Cr Co) yang berstruktur kristal cubic dengan group ruang Fm3m (225).

Sedangkan berdasarkan data hasil dari analisis Rietvelt tersebut dapat diperoleh pula jumlah kandungan masing-masing baik fasa WC, Co maupun fasa CrCo dalam bentuk fraksi massa (%). Data fraksi massa dari sampel B1, B2, B3, dan B4 ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Data fraksi massa WC, Co, dan CrCo

Ratio tekanan (Oksigen:Propana)	Fraksi Massa (%)		
	WC	Co	CrCo
5,90	22,78	26,06	51,17
6,00	11,53	27,75	60,72
6,30	5,41	25,16	69,43

6,70	3,65	26,45	69,89
------	------	-------	-------

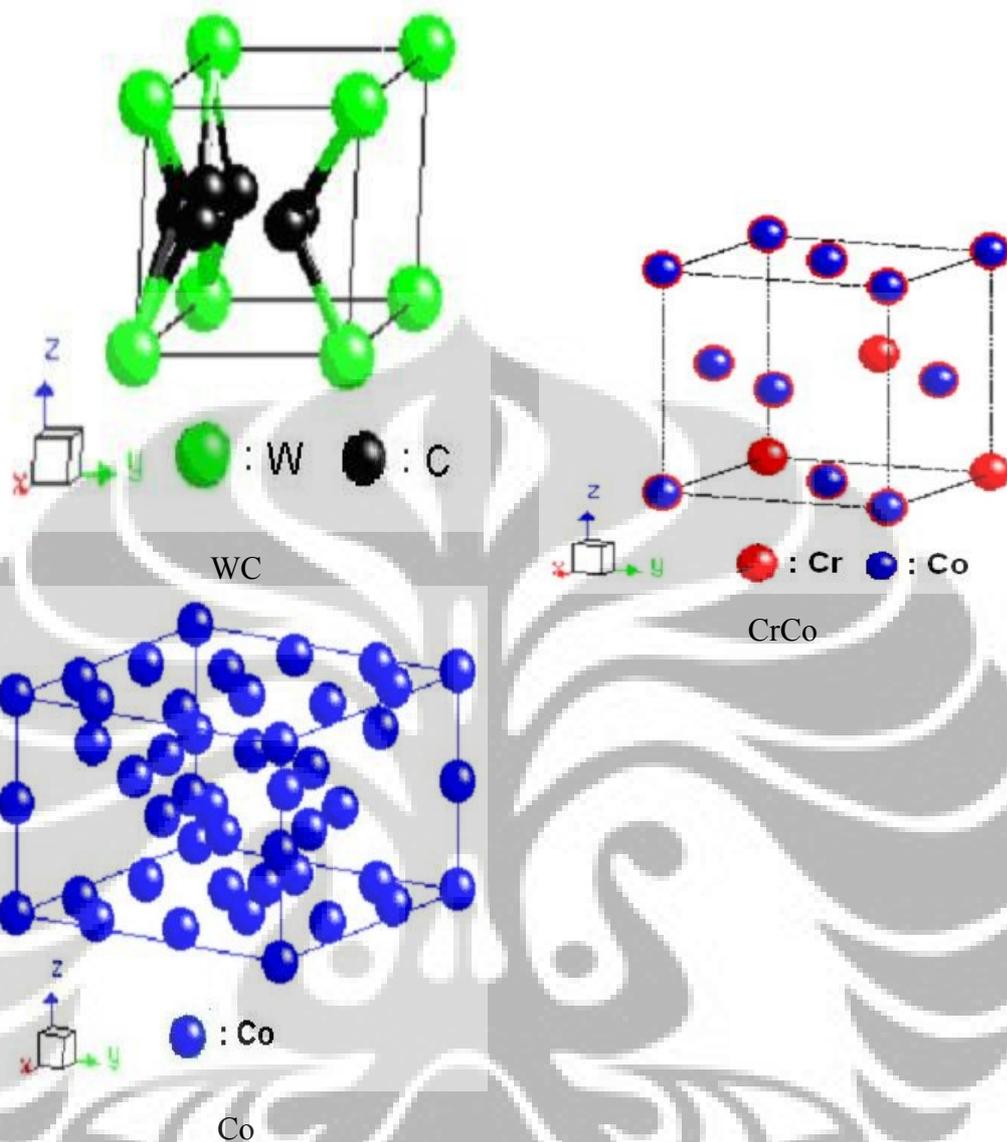
Sedangkan data kerapatan atom dan volume unit sel dari sampel B1, B2, B3, dan B4 ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9. Data kerapatan atom dan volume unit sel

Ratio tekanan (Oksigen:Propana)	Kerapatan atom (gr,cm ⁻³)			Volume unit sel (A ³)		
	WC	Co	CrCo	WC	Co	CrCo
5,90	15,5629	11,5927	7,4134	20,897	331,652	46,587
6,00	15,7481	11,7936	7,4811	20,832	329,806	46,275
6,30	15,5963	11,6220	7,4468	20,852	330,818	46,378
6,70	15,4916	11,5492	7,4081	21,011	334,705	46,57

4.6. Analisis Struktur Kristal

Analisis struktur kristal dilakukan dengan memberikan masukan data berdasarkan hasil analisis Rietvelt, yaitu parameter kisi, space group, posisi atom, dan jarak ikatan antar atom yang dapat diperoleh dari jari-jari masing-masing atom baik untuk fasa Tungsten Carbida (WC) maupun fasa Cobalt (Co). Dengan demikian sistem kristal baik untuk fasa Tungsten Carbida (WC), fasa Cobalt (Co) maupun fasa Chromium Cobalt (CrCo) dari lapisan ini dapat diilustrasikan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.20, Gambar 4.21, Gambar 4.22, dan Gambar 4.23. yang berturut-turut untuk sampel B1, B2, B3, dan B4. Sedangkan jarak antar atom baik untuk fasa Tungsten Carbida (WC) maupun fasa Cobalt (Co) dari lapisan ini ditunjukkan pada Tabel 4.10, Tabel 4.11, Tabel 4.12, dan Tabel 4.13 yang berturut-turut untuk sampel B1, B2, B3, dan B4.

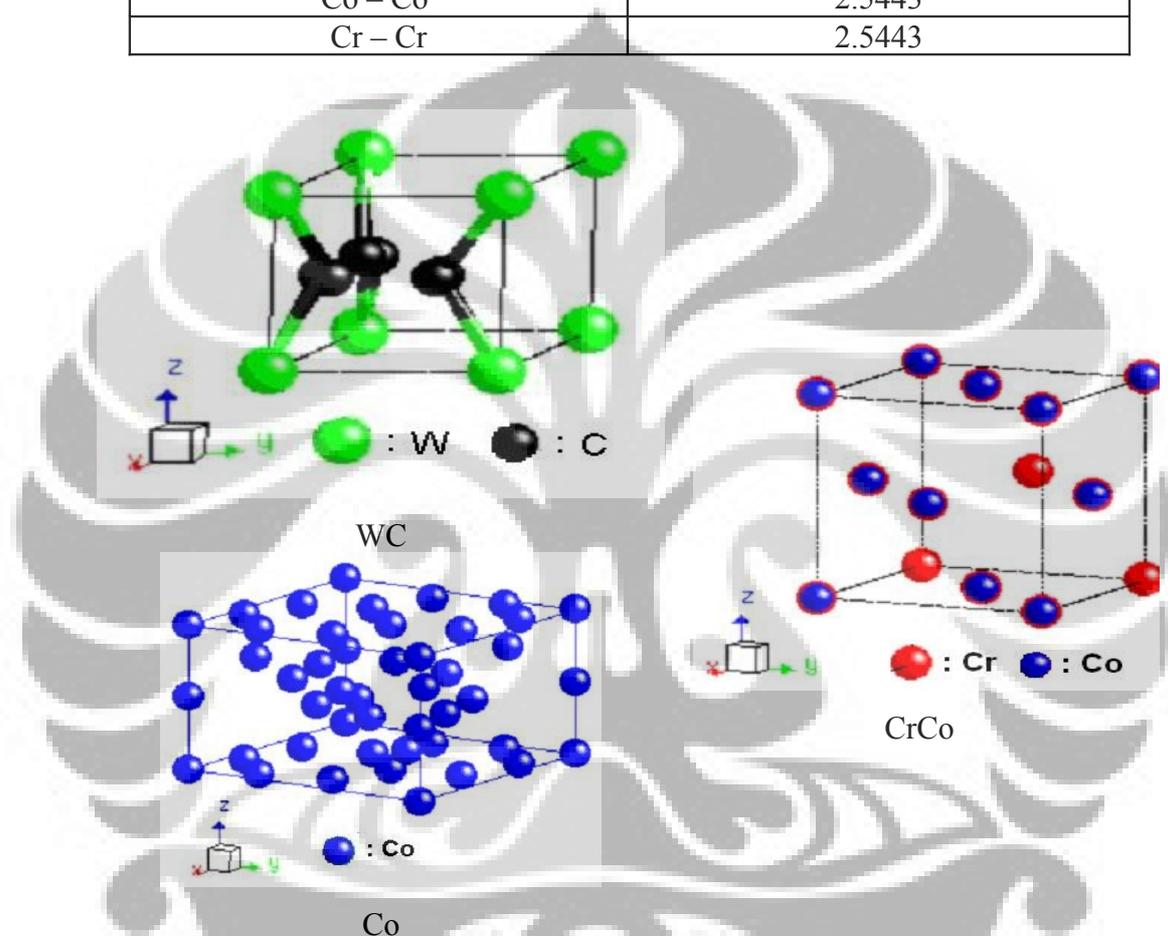


Gambar 4.20. Model sistem kristal dari sampel B1 dengan rasio tekanan Oksigen dan Propana 5,9 yang memiliki tiga fasa, yaitu : fasa WC, Co, dan CrCo.

Tabel 4.10. Ikatan antar atom pada sampel B1

Antar atom	Jarak (Å)
Fasa WC	

W – C	1.6734
C – C	0.4078
Fasa Co	
Co1 – Co2	5.2976
Co1 – Co3	4.6721
Co1 – Co4	2.0551
Co1 – Co5	3.0518
Fasa CrCo	
Co – Co	2.5443
Cr – Cr	2.5443

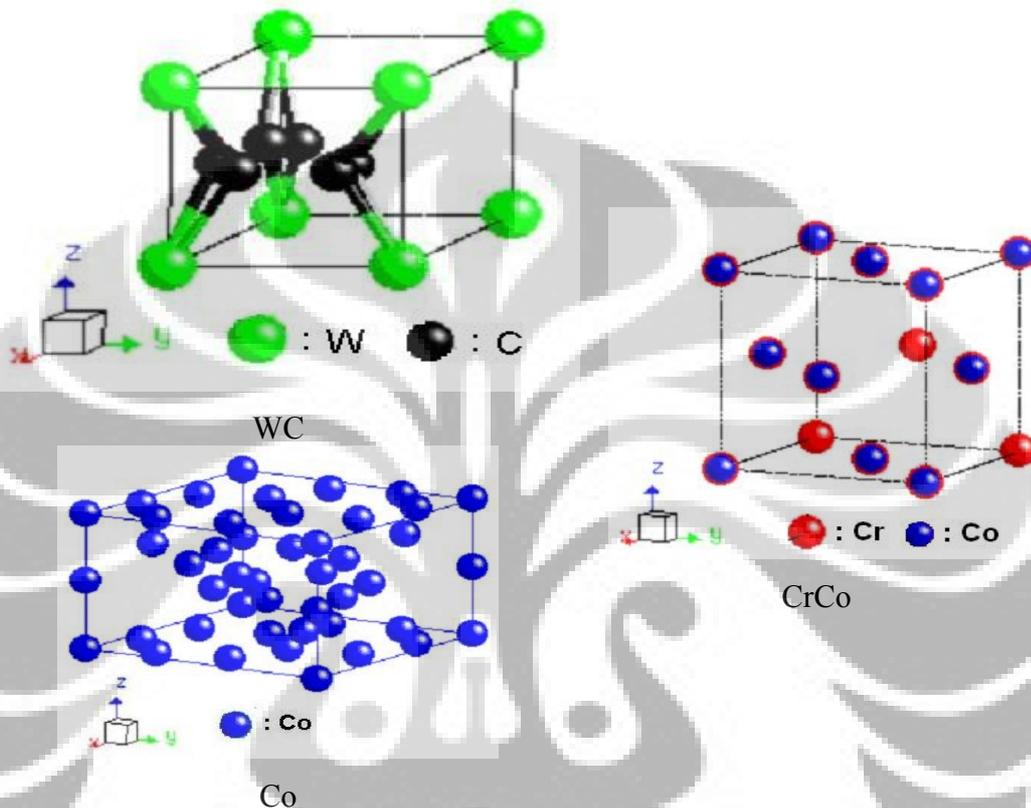


Gambar 4.21. Model sistem kristal dari sampel B2 dengan rasio tekanan Oksigen dan Propana 6,0 yang memiliki tiga fasa, yaitu : fasa WC, Co, dan CrCo.

Tabel 4.11. Ikatan antar atom pada sampel B2

Antar atom	Jarak (Å)
Fasa WC	
W – C	1.6610
C – C	0.1746
Fasa Co	
Co1 – Co2	5.3974
Co1 – Co3	4.6894

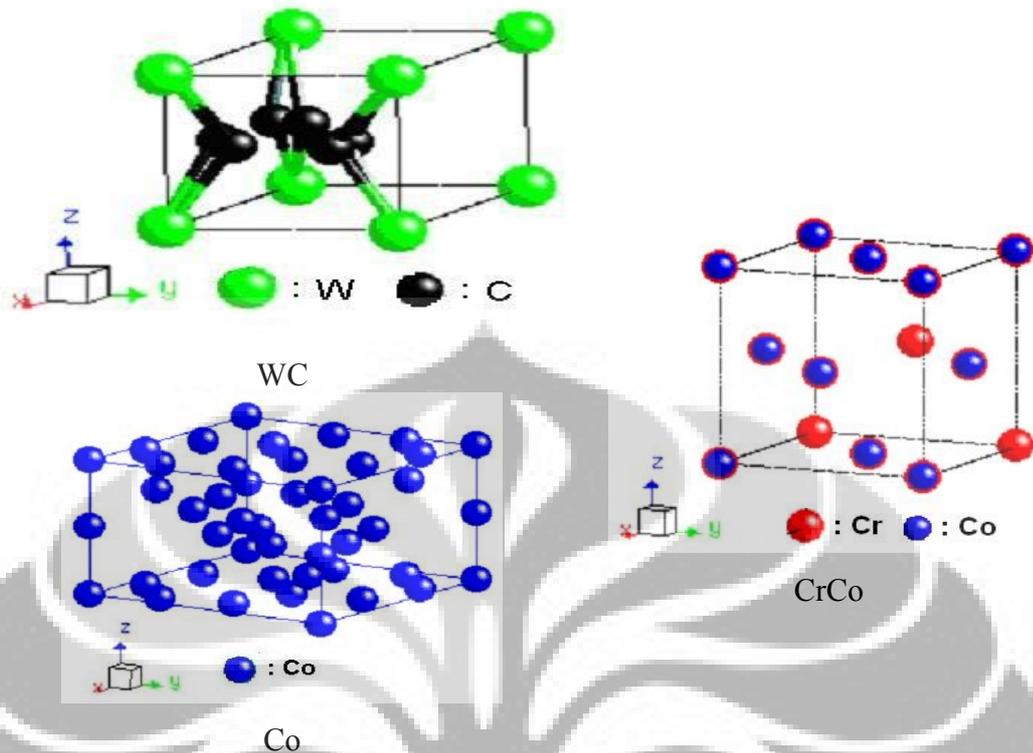
Co1 – Co4	1.9719
Co1 – Co5	3.0466
Fasa CrCo	
Co – Co	2.5387
Cr – Cr	2.5387



Gambar 4.22. Model sistem kristal dari sampel B3 dengan rasio tekanan Oksigen dan Propana 6,3 yang memiliki tiga fasa, yaitu : fasa WC, Co, dan CrCo.

Tabel 4.12. Ikatan antar atom pada sampel B3

Antar atom	Jarak (Å)
Fasa WC	
W – C	1.6723
C – C	0.4074
Fasa Co	
Co1 – Co2	5.2952
Co1 – Co3	4.6693
Co1 – Co4	2.0551
Co1 – Co5	3.0515
Fasa CrCo	
Co – Co	2.5405
Cr – Cr	2.5405



Gambar 4.23. Model sistem kristal dari sampel B4 dengan rasio tekanan Oksigen dan Propana 6,7 yang memiliki tiga fasa, yaitu : fasa WC, Co, dan CrCo.

Tabel 4.13. Ikatan antar atom pada sampel B4

Antar atom	Jarak (Å)
Fasa WC	
W – C	1.6747
C – C	0.4089
Fasa Co	
Co1 – Co2	5.4254
Co1 – Co3	4.6874
Co1 – Co4	1.8912
Co1 – Co5	3.0630
Fasa CrCo	
Co – Co	2.5440
Cr – Cr	2.5440

4.6.1. Perhitungan ukuran kristalit dengan Formula Debye – Scherrer

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

Universitas Indonesia

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

Hasil perhitungan ukuran grain/kristalit rata-rata tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.14, Tabel 4.15, Tabel 4.16, dan Tabel 4.17, yang berturut-turut untuk ukuran grain fasa WC sampel B1, B2, B3, dan B4. Dan Tabel 4.18, 4.19, 4.20, dan Tabel 4.21, berturut-turut untuk ukuran grain fasa Co sampel B1, B2, B3, dan B4. Sedangkan Tabel 4.22, 4.23, 4.24, dan Tabel 4.25, berturut-turut untuk ukuran grain fasa CrCo sampel B1, B2, B3, dan B4.

Tabel 4.14. Hasil perhitungan ukuran grain fasa WC sampel B1

No,	Bidang hkl	Sudut 2θ ($^{\circ}$)	K ($\text{rad}\cdot\text{A}^{-2}$)	Lamda (A)	FWHM ($^{\circ}$)	Ukuran grain (nm)
1.	001	31.421	0,9	1,5406	0.4804	17
2.	100	35.564	0,9	1,5406	0.4946	17
3.	101	48.177	0,9	1,5406	0.5405	16
Rata-rata ukuran grain						17

Tabel 4.15. Hasil perhitungan ukuran grain fasa WC sampel B2

No,	Bidang hkl	Sudut 2θ ($^{\circ}$)	K ($\text{rad}\cdot\text{A}^{-2}$)	Lamda (A)	FWHM ($^{\circ}$)	Ukuran grain (nm)
1.	001	31.469	0,9	1,5406	0.5833	14
2.	100	35.594	0,9	1,5406	0.5696	15
3.	101	48.234	0,9	1,5406	0.5521	16
Rata-rata ukuran grain						15

Tabel 4.16. Hasil perhitungan ukuran grain fasa WC sampel B3

No,	Bidang hkl	Sudut 2θ ($^{\circ}$)	K ($\text{rad}\cdot\text{A}^{-2}$)	Lamda (A)	FWHM ($^{\circ}$)	Ukuran grain (nm)
1.	001	31.42	0,9	1,5406	0.5839	14
2.	100	35.464	0,9	1,5406	0.5941	14
3.	101	48.099	0,9	1,5406	0.6262	14
Rata-rata ukuran grain						14

Tabel 4.17. Hasil perhitungan ukuran grain fasa WC sampel B4

Universitas Indonesia

No,	Bidang hkl	Sudut 2θ ($^{\circ}$)	K ($\text{rad}\cdot\text{A}^{-2}$)	Lamda (A)	FWHM ($^{\circ}$)	Ukuran grain (nm)
1.	001	31.44	0,9	1,5406	0.5138	16
2.	100	35.592	0,9	1,5406	0.5239	16
3.	101	48.34	0,9	1,5406	0.5553	16
Rata-rata ukuran grain						16

Tabel 4.18. Hasil perhitungan ukuran grain fasa Co sampel B1

No,	Bidang hkl	Sudut 2θ ($^{\circ}$)	K ($\text{rad}\cdot\text{A}^{-2}$)	Lamda (A)	FWHM ($^{\circ}$)	Ukuran grain (nm)
1.	311	38.806	0,9	1,5406	0.5154	16
2.	002	39.846	0,9	1,5406	0.5383	16
3.	410	43.074	0,9	1,5406	0.6415	13
Rata-rata ukuran grain						15

Tabel 4.19. Hasil perhitungan ukuran grain fasa Co sampel B2

No,	Bidang hkl	Sudut 2θ ($^{\circ}$)	K ($\text{rad}\cdot\text{A}^{-2}$)	Lamda (A)	FWHM ($^{\circ}$)	Ukuran grain (nm)
1.	311	38.732	0,9	1,5406	0.6581	13
2.	002	39.754	0,9	1,5406	0.6912	12
3.	410	42.993	0,9	1,5406	0.7943	11
Rata-rata ukuran grain						12

Tabel 4.20. Hasil perhitungan ukuran grain fasa Co sampel B3

No,	Bidang hkl	Sudut 2θ ($^{\circ}$)	K ($\text{rad}\cdot\text{A}^{-2}$)	Lamda (A)	FWHM ($^{\circ}$)	Ukuran grain (nm)
1.	311	38.604	0,9	1,5406	0.4133	20
2.	002	39.685	0,9	1,5406	0.4395	19
3.	410	42.844	0,9	1,5406	0.5137	17
Rata-rata ukuran grain						19

Tabel 4.21. Hasil perhitungan ukuran grain fasa Co sampel B4

No,	Bidang hkl	Sudut 2θ ($^{\circ}$)	K ($\text{rad}\cdot\text{A}^{-2}$)	Lamda (A)	FWHM ($^{\circ}$)	Ukuran grain (nm)
1.	311	38.759	0,9	1,5406	0.4993	17
2.	002	39.858	0,9	1,5406	0.5245	16
3.	410	43.017	0,9	1,5406	0.5959	14
Rata-rata ukuran grain						16

Tabel 4.22. Hasil perhitungan ukuran grain fasa CrCo sampel B1

No,	Bidang hkl	Sudut 2θ ($^{\circ}$)	K ($\text{rad}\cdot\text{A}^{-2}$)	Lamda (A)	FWHM ($^{\circ}$)	Ukuran grain (nm)
1.	311	43.631	0,9	1,5406	1.9069	5
2.	002	50.822	0,9	1,5406	2.1924	4
3.	410	74.724	0,9	1,5406	3.0578	3
Rata-rata ukuran grain						4

Tabel 4.23. Hasil perhitungan ukuran grain fasa CrCo sampel B2

No,	Bidang hkl	Sudut 2θ ($^{\circ}$)	K ($\text{rad}\cdot\text{A}^{-2}$)	Lamda (A)	FWHM ($^{\circ}$)	Ukuran grain (nm)
1.	311	43.528	0,9	1,5406	1.8899	5
2.	002	50.7	0,9	1,5406	2.0886	4
3.	410	74.528	0,9	1,5406	2.8865	4
Rata-rata ukuran grain						4

Tabel 4.24. Hasil perhitungan ukuran grain fasa CrCo sampel B3

No,	Bidang hkl	Sudut 2θ ($^{\circ}$)	K ($\text{rad}\cdot\text{A}^{-2}$)	Lamda (A)	FWHM ($^{\circ}$)	Ukuran grain (nm)
1.	311	43.533	0,9	1,5406	1.6301	5
2.	002	50.706	0,9	1,5406	1.7689	5
3.	410	74.538	0,9	1,5406	2.3285	4
Rata-rata ukuran grain						5

Tabel 4.25. Hasil perhitungan ukuran grain fasa CrCo sampel B4

No,	Bidang hkl	Sudut 2θ ($^{\circ}$)	K ($\text{rad}\cdot\text{A}^{-2}$)	Lamda (A)	FWHM ($^{\circ}$)	Ukuran grain (nm)
1.	311	43.597	0,9	1,5406	1.7832	5
2.	002	50.781	0,9	1,5406	1.9378	6
3.	410	74.659	0,9	1,5406	2.5619	4
Rata-rata ukuran grain						5

4.7. Karakterisasi Kekerasan

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

$$Hv = 0,102 \frac{F}{s} = 0,102 \frac{2F \sin \theta / 2}{d^2} = 0,1891 \frac{F}{d^2}$$

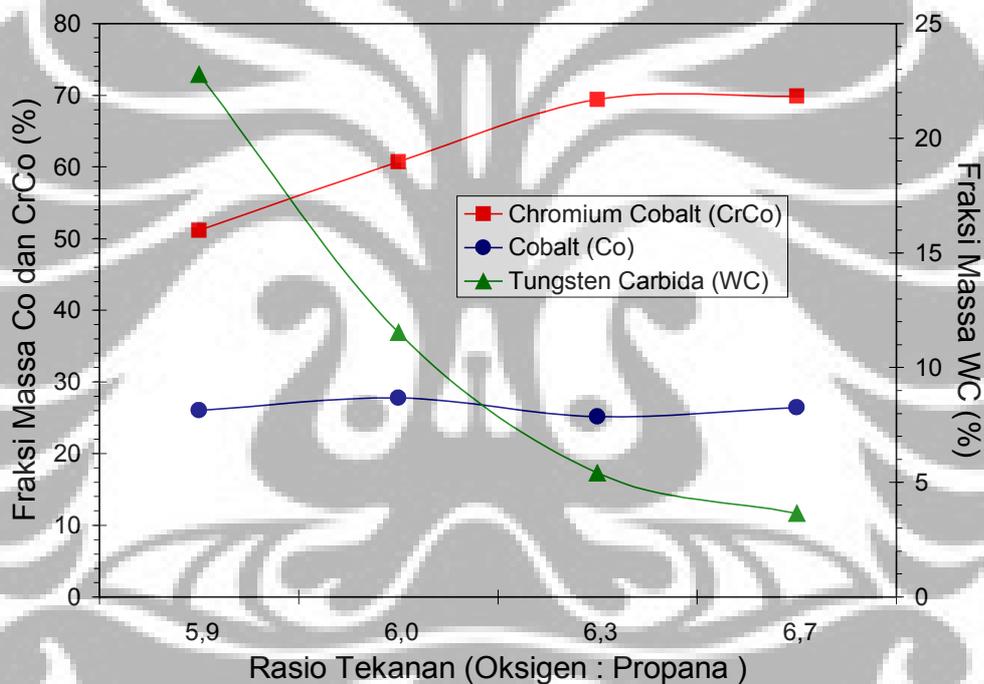
Sampel dipersiapkan dalam bentuk plat, kemudian sampel dimounting dengan tujuan untuk memperoleh bidang datar pada saat dilakukan pengukuran. Setelah sampel dinyatakan siap diukur, dilakukan penjejakan dengan variasi indentor 200 gram, 300 gram, dan 400 gram. Tabel 4.26. merupakan hasil pengukuran kekerasan yang telah dikonversi ke HV dengan beban indentor 200 gram, 300 gram, dan 400 gram.

Tabel 4.26. Hasil pengukuran kekerasan dengan variasi indentor 200 gram, 300 gram dan 400 gram.

Nilai Kekerasan (HV)			
Sampel Rasio tekanan (Oksigen:Propana)	Beban Indentor (gram)		
	200	300	400
5,90	593,8	586,9	588,8
6,00	682,5	650,6	620,3
6,30	534,5	556,6	452,4
6,70	533,0	448,1	394,3

4.8.Diskusi

Pada Gambar 4.24 menunjukkan hubungan antara fraksi massa fasa yang terkandung di dalam sampel dari hasil analisis Rietveld dengan tingkat tekanan oksigen pada proses preparasi sampel. Berdasarkan hasil dari analisis Rietveld menunjukkan bahwa semakin tinggi tekanan oksigen pada saat proses preparasi sampel mengakibatkan semakin menurunnya fasa WC dan meningkatnya fasa CrCo di dalam lapisan. Sedangkan fasa Co tampak tidak berubah dengan meningkatnya variasi tekanan oksigen.

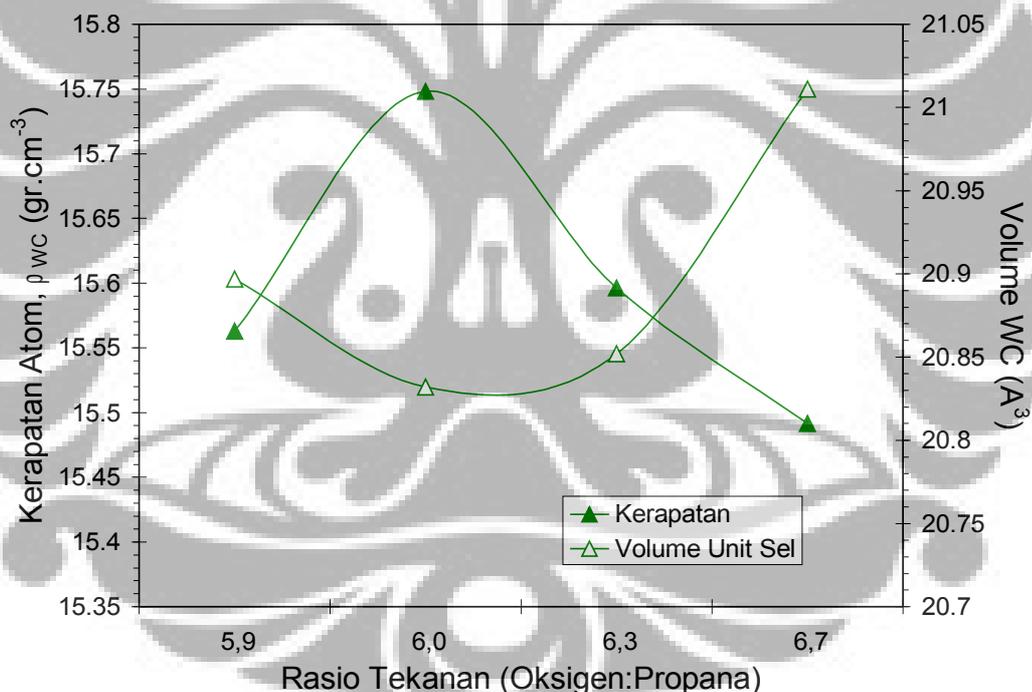


Gambar 4.24. Fraksi massa pada lapisan dengan variasi rasio tekanan propane dan oksigen. Dengan meningkatnya rasio tekanan oksigen, fraksi massa fasa WC semakin menurun, fraksi massa CrCo semakin meningkat, dan fraksi massa Co hampir tidak berubah.

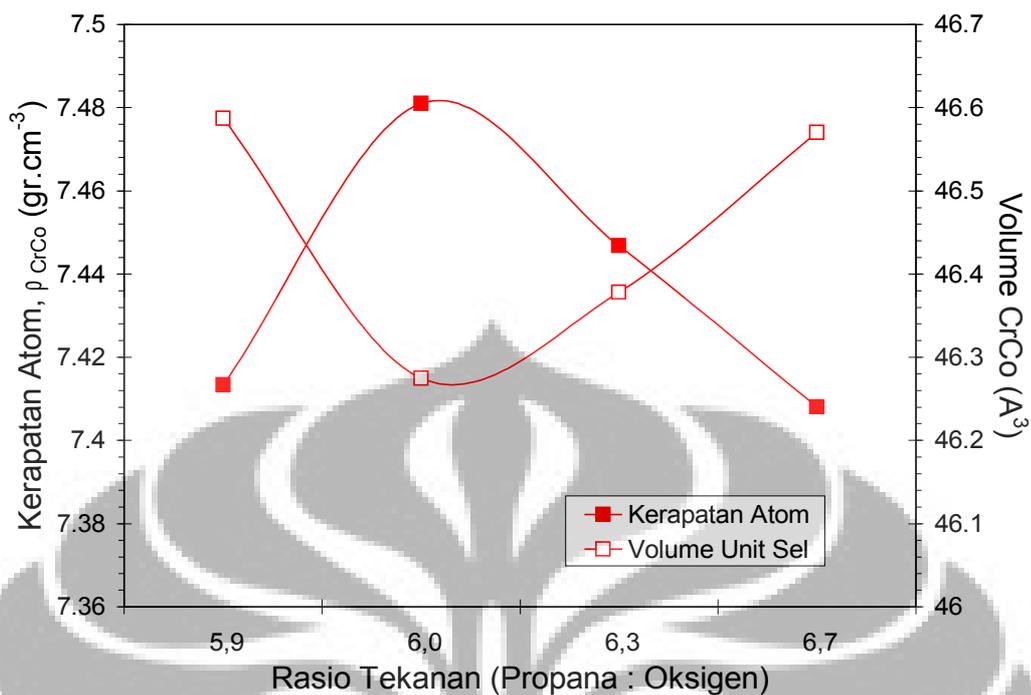
Semakin tinggi tekanan oksigen dapat mempercepat proses pemanasan dan meningkatkan suhu pemanasan. Hal ini berarti bahwa fasa yang memiliki titik lebur yang lebih rendah akan segera melebur atau bereaksi dan segera menempel pada dinding base metal. Sedangkan fasa yang memiliki titik lebur yang tinggi, tidak akan cepat bereaksi. WC memiliki titik lebur lebih tinggi (melting point 2870 °C) dibandingkan dengan Co (melting point 1768 °C), sedangkan Cr

memiliki titik lebur pada 2180 °C sehingga dengan meningkatnya komposisi tekanan oksigen ini semakin banyak fasa Co ini yang melebur, sebagian menempel ke base metal dan berdiri sendiri, sebagian lagi mengikat Cr membentuk paduan CrCo dan fasa WC akan semakin sedikit bereaksi dan membentuk lapisan. Cobalt ini sangat mudah mengikat Chromium karena perbedaan melting point yang tidak terlalu jauh bila dibandingkan dengan Tungsten Carbida.

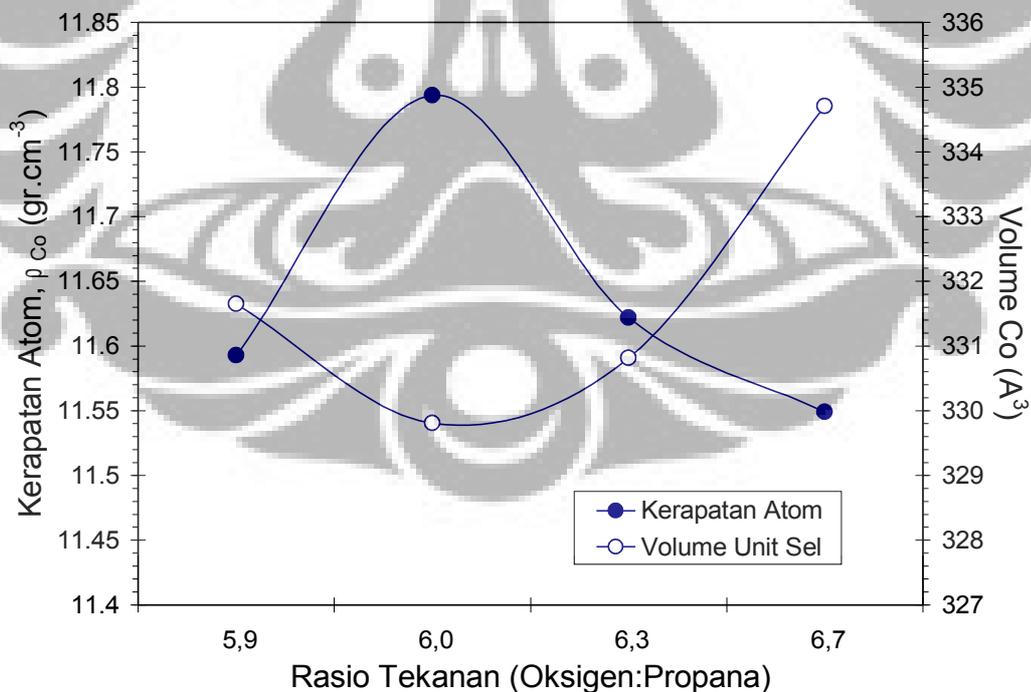
Secara mikroskopik berdasarkan hasil analisis XRD dengan metode Rietveld menyebutkan bahwa berkurangnya fraksi massa fasa WC dan meningkatnya fraksi massa CrCo ini ternyata memberikan dampak pada kerapatan atom pada masing-masing fasa seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.25, Gambar 4.26, dan Gambar 4.27 yang berturut-turut untuk fasa WC, CrCo, dan Co.



Gambar 4.25. Kerapatan atom dan volume unit sel pada fasa WC. Kerapatan atom tertinggi dan volume unit sel terendah untuk fasa WC ini berada pada rasio tekanan propane dan oksigen 1 : 6,0.



Gambar 4.26. Kerapatan atomic pada fasa CrCo. Kerapatan atom tertinggi dan volume unit sel terendah untuk fasa CrCo ini berada pada rasio tekanan propane dan oksigen 1 : 6,0.

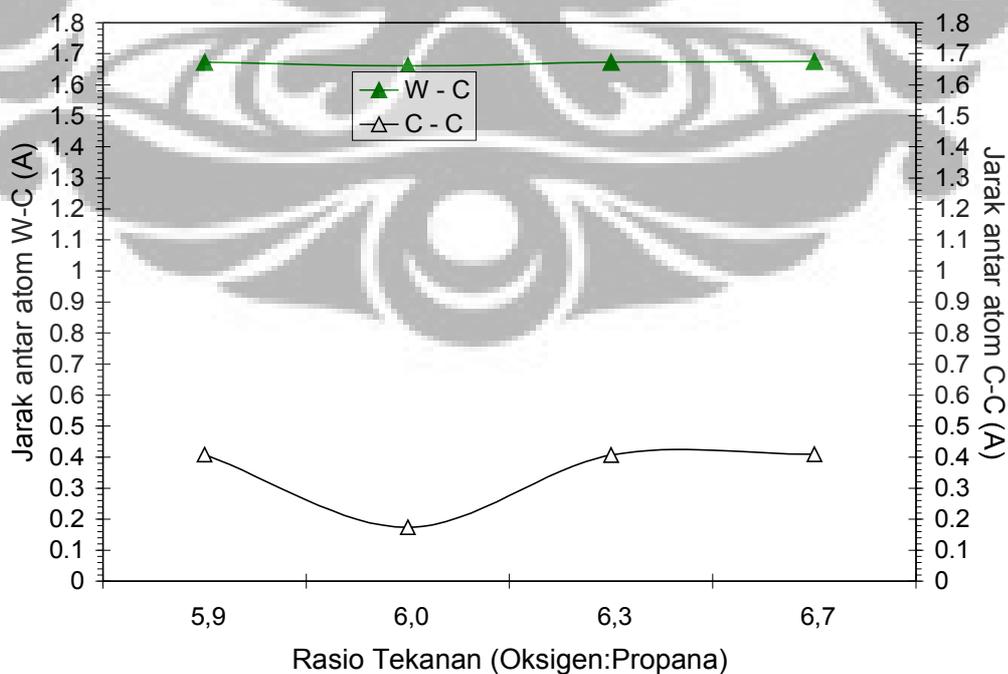


Gambar 4.27. Kerapatan atomic pada fasa Co. Kerapatan atom tertinggi dan volume unit sel terendah untuk fasa Co ini berada pada rasio tekanan propane dan oksigen 1 : 6,0.

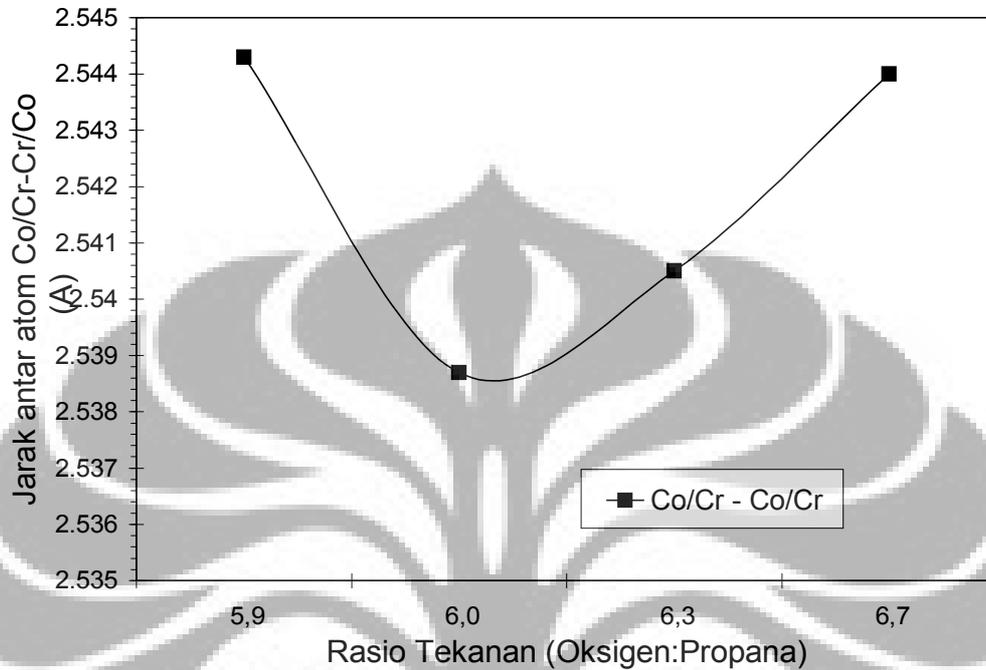
Tampak pada Gambar 4.25 bahwa dengan meningkatnya tekanan oksigen pada preparasi lapisan ini, kerapatan atom fasa WC pada awalnya meningkat sampai rasio tekanan propane dan oksigen 1 : 6, kemudian menurun setelah rasio tekanan oksigen ditingkatkan menjadi 1 : 6,3 dan 1 : 6,7. Begitu pula hal yang sama terjadi pada kerapatan atom fasa CrCo dan fasa Co seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.26 dan 4.27.

Kondisi ini sangat bersesuaian dengan hukum kerapatan bahwasanya kerapatan itu berbanding lurus dengan massanya dan berbanding terbalik dengan volumenya. Baik pada fasa WC, CrCo, dan Co, volume unit sel pada awalnya turun sampai pada rasio tekanan propane dan oksigen 1 : 6, kemudian bertambah kembali setelah rasio tekanan propane dan oksigen ditingkatkan menjadi 1 : 6,3 dan 1 : 6,7. Sehingga diduga secara mikroskopik bahwa pada komposisi perbandingan tekanan propane dan oksigen 1 : 6 ini memiliki kerapatan lapisan yang paling tinggi (optimal).

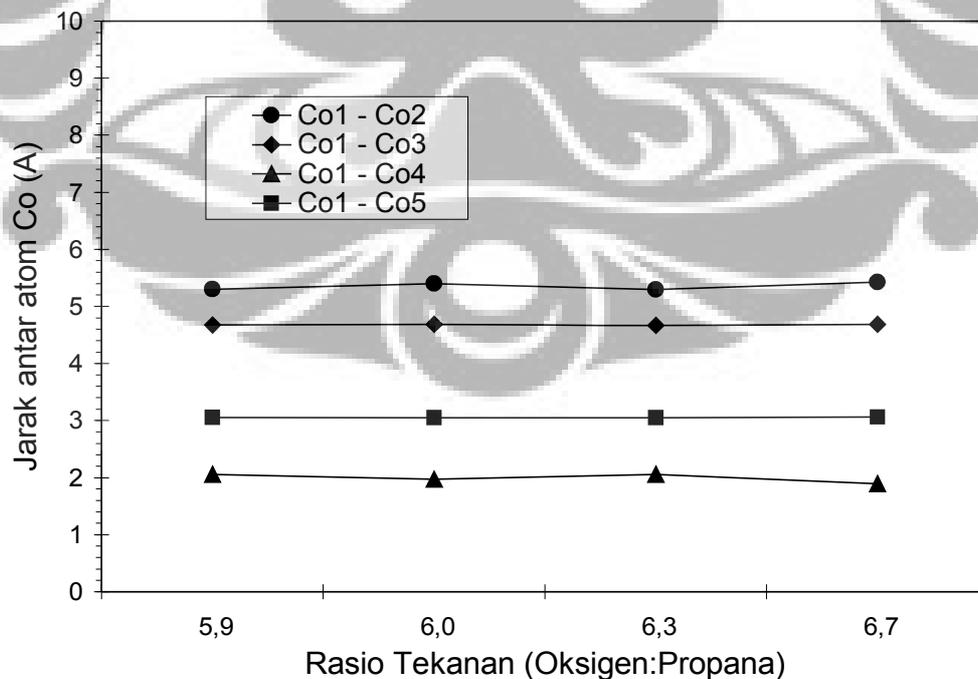
Berdasarkan hasil analisis dari system kristal menunjukkan kesesuaian hasil dimana kerapatan atomic fasa WC, Co, dan CrCo sangat tinggi pada komposisi rasio tekanan propane dan oksigen 1 : 6, yang disebabkan karena jarak ikatan antar atom W-C, C-C, Co-Co, dan Co/Cr-CoCr yang pendek seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.28, Gambar 4.29, dan Gambar 4.30.



Gambar 4.28. Jarak antar atom fasa WC. Jarak ikatan antar atom yang terdekat baik W-C maupun C-C terdapat pada rasio tekanan propane dan oksigen 1 : 6.



Gambar 4.29. Jarak antar atom fasa CrCo. Jarak ikatan antar atom yang terdekat baik Co-Co maupun Cr-Cr terdapat pada rasio tekanan propane dan oksigen 1 : 6.



Gambar 4.30. Jarak antar atom fasa Co. Jarak ikatan antar atom baik Co1-Co2, Co1-Co3, Co1-Co4 maupun Co1-Co5 dengan meningkatnya rasio tekanan

propane dan oksigen, hampir tidak berubah.

Pada awalnya jarak antar atom W – C dan jarak atom C – C cukup jauh pada batas rasio tekanan propane dan oksigen 1 : 5,9, kemudian semakin dekat setelah tekanan oksigen dinaikkan pada rasio 1 : 6,0, setelah itu jaraknya kembali semakin jauh.

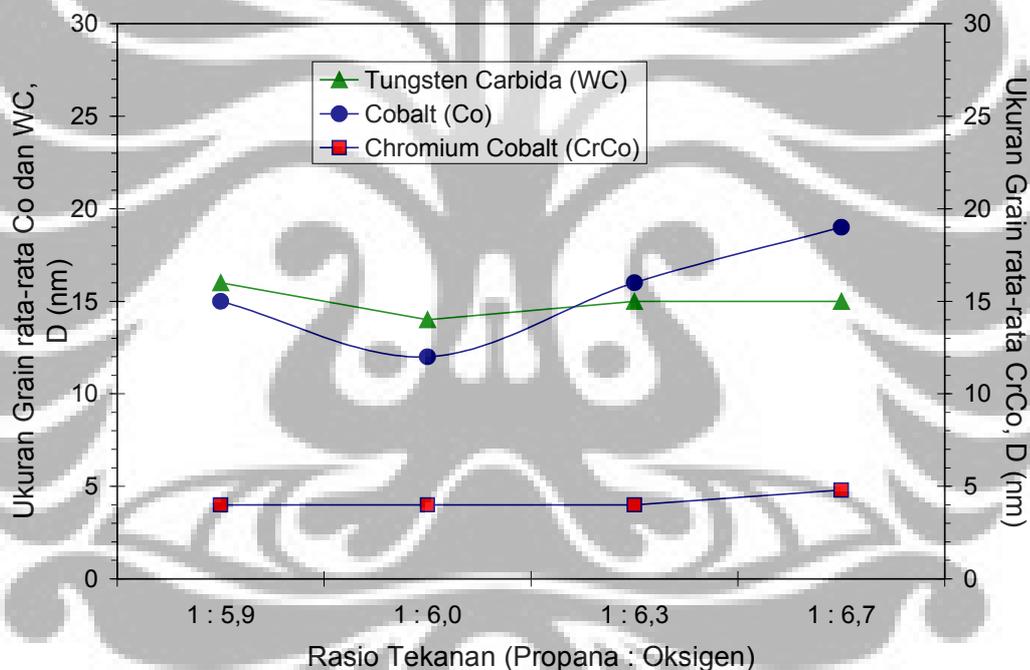
Sedangkan jarak antar atom Co relatif tidak berubah dengan meningkatnya rasio tekanan propane dan oksigen. Pada saat jarak antar atom W – C dan C – C ini semakin dekat pada komposisi tekanan propane dan oksigen 1 : 6, dan jarak antar atom Co – Co atau Cr – Cr semakin dekat juga pada komposisi tekanan propane dan oksigen 1 : 6, sedangkan jarak antar atom Co kecenderungan tetap, maka pada rasio ini diduga lapisan memiliki kerapatan yang paling tinggi.

Sehingga memberikan kesimpulan pula bahwa pada komposisi tekanan propane dan oksigen 1 : 6 merupakan komposisi optimum yang diperoleh untuk mendapatkan kerapatan yang maksimal pada lapisan tersebut. Dan hasil ini didukung dengan perhitungan ukuran grain/kristalit dari masing-masing fasa. Hipotesisnya adalah bahwa semakin kecil ukuran grain/kristalitnya maka kerapatannya semakin tinggi. Hal ini karena semakin kecil ukuran grain/kristalit berakibat semakin besar luas permukaan kontak antar grain tersebut sehingga berdampak meningkatnya kerapatan bahan tersebut.

Pada Gambar 4.31 diperlihatkan hubungan antara ukuran grain/kristalit masing-masing fasa terhadap komposisi tekanan oksigen. Tampak bahwa dengan meningkatnya rasio tekanan oksigen, ukuran diameter grain/kristalit baik fasa WC dan CrCo pada dasarnya turun sampai pada batas rasio tekanan propane dan oksigen 1 : 6, kemudian meningkat setelah rasio tekanan propane dan oksigen dinaikkan menjadi 1 : 6,3 dan 1 : 6,7, namun sangat kecil sekali sehingga boleh dikatakan bahwa ukuran diameter grain/kristalit baik fasa WC dan CrCo relatif tidak berubah. Sedangkan ukuran diameter grain/kristalit Co tampak jelas sekali pada awalnya turun sampai pada batas rasio tekanan propane dan oksigen 1 : 6, kemudian meningkat setelah rasio tekanan propane dan oksigen dinaikkan menjadi 1 : 6,3 dan 1 : 6,7.

Meningkatnya ukuran diameter grain/kristalit baik pada fasa Co pada rasio tekanan propane dan oksigen 1 : 6,3 dan 1 : 6,7 ini disebabkan karena bertambahnya jumlah tekanan oksigen dapat meningkatkan suhu pemanasan operasi, sedangkan dengan meningkatnya suhu pemanasan operasi dimungkinkan sekali mengakibatkan terjadinya difusi antar butir untuk membentuk butiran yang lebih besar sehingga di tingkat pemanasan yang cukup tinggi ini butir-butir mengalami pertumbuhan (growth).

Hal ini bersesuaian sekali bila ditinjau dari suhu melting point dari Cobalt yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan Chromium dan Tungsten. Dan dampak pertumbuhan butir ini dapat dilihat dari semakin menjamahnya puncak-puncak pada bidang-bidang yang tumbuh dari profil difraksi sinar-x tersebut.



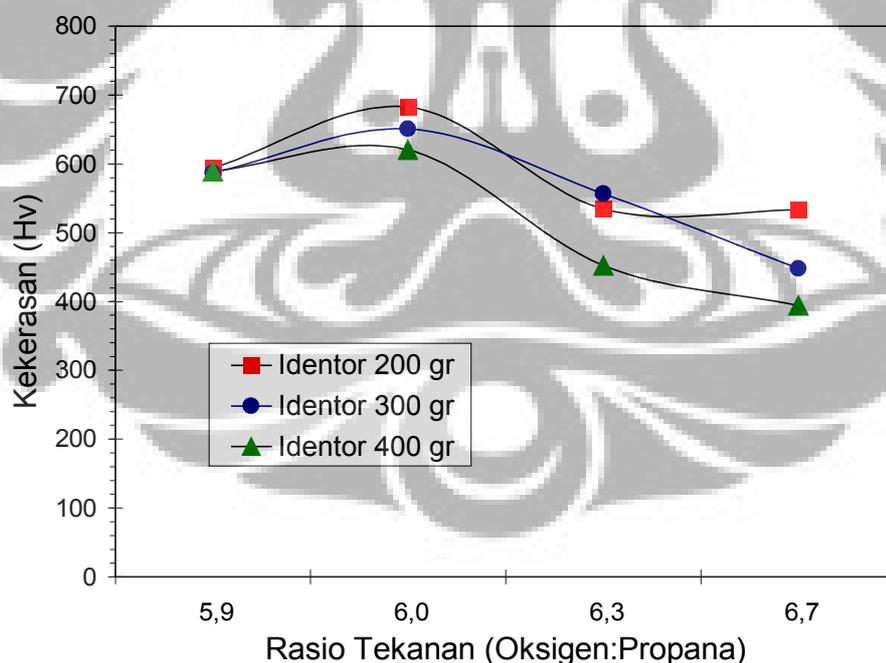
Gambar 4.31. Ukuran diameter grain/kristalit pada fasa WC, Co, dan CrCo. Ukuran diameter grain/kristalit terkecil pada fasa WC dan Co terdapat pada rasio tekanan oksigen dan propana = 6. Sedangkan ukuran diameter grain/kristalit pada fasa WC hampir tidak berubah dengan meningkatnya rasio tekanan oksigen dalam proses pelapisan.

Jadi pada rasio tekanan oksigen dan propana = 6 memiliki ukuran diameter grain yang paling kecil baik fasa WC, Co, maupun CrCo. Fasa Co pada rasio tekanan tersebut memiliki ukuran diameter grain/kristalit yang relatif sangat

kecil, dengan demikian hasil ini sangat bersesuaian dengan hasil kerapatan atom yang diperoleh dari analisis XRD metode Rietveld.

Secara mikroskopik dapat ditarik kesimpulan sementara bahwa pada komposisi rasio tekanan oksigen dan propana sebesar 6 merupakan komposisi optimum yang diperoleh untuk mendapatkan kerapatan yang maksimal pada lapisan ini. Hal ini dapat dijadikan referensi bahwa pada komposisi rasio tekanan tersebut untuk bahan JK 7184 Jetkote dapat menghasilkan sifat mekanik yang relatif lebih baik bila dibandingkan dengan komposisi rasio tekanan yang lain.

Secara makroskopik menunjukkan bahwa pada komposisi rasio tekanan oksigen dan propana sebesar 6, untuk bahan ini dapat menghasilkan sifat mekanik yang relatif lebih baik adalah dengan memperlihatkan salah satu uji mekanik, yaitu sifat kekerasan lapisan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.32.



Gambar 4.32. Hasil pengukuran kekerasan sebagai fungsi rasio tekanan. Pengukuran kekerasan ini menggunakan variasi indentor 200 gram, 300 gram dan 400 gram. Hasil kekerasan tertinggi berada pada rasio tekanan (oksigen: propana) sebesar 6.

Hasil uji kekerasan paling tinggi terdapat pada komposisi rasio tekanan oksigen dan propana sebesar 6 yaitu 600 Hv sampai 700 Hv.



BAB V KESIMPULAN

Dari hasil penelitian preparasi dan karakterisasi lapisan dari bahan dasar JK 7184 Powder pada substrat baja yang dibuat dengan teknik High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) Thermal Spray Coating diperoleh kesimpulan:

1. Hasil pengukuran dengan difraksi sinar-x (XRD) menunjukkan bahwa lapisan JK 7184 Jetkote pada substrat baja memiliki tiga fasa, yaitu: Fasa Chromium Cobalt (CrCo), Fasa Tungsten Carbida (WC), Fasa Cobalt (Co).
2. Fraksi massa fasa Chromium Cobalt (CrCo) semakin meningkat dan fasa Tungsten Carbida (WC) semakin menurun, sedangkan fraksi massa Cobalt (Co) cenderung tidak berubah (tetap) seiring dengan meningkatnya rasio tekanan propana dan oksigen.
3. Kerapatan atomik fasa Chromium Cobalt (CrCo), Tungsten Carbida (WC) dan Cobalt (Co) pada awalnya meningkat sampai rasio tekanan Oksigen dan Propana sebesar 6, kemudian menurun setelah rasio tekanan oksigen ditingkatkan menjadi 6,3 dan 6,7.
4. Berdasarkan hasil perhitungan ukuran grain rata-rata pada rasio tekanan Oksigen dan Propana sebesar 6, baik fasa Chromium Cobalt (CrCo), Tungsten Carbida (WC) maupun Cobalt (Co) memiliki ukuran grain/kristalit yang paling kecil. Dan kontribusi yang paling besar terdapat pada fasa Cobalt (Co) dimana pada rasio Oksigen dan Propana sama dengan 6 memiliki ukuran grain rata-rata yang relatif sangat kecil.
5. Berdasarkan hasil pengukuran kekerasan menunjukkan bahwa tingkat kekerasan lapisan paling tinggi berada pada komposisi rasio tekanan Oksigen dan Propana sama dengan 6, yaitu sebesar 600 Hv sampai 700 Hv.
6. Pada rasio tekanan propane dan oksigen 1 : 6 dengan komposisi tekanan propane 1,3 bar dan tekanan oksigen 7,8 bar merupakan komposisi tekanan propane dan oksigen paling optimum untuk mendapatkan nilai kekerasan paling tinggi pada lapisan dari bahan dasar JK 7184 Powder pada substrat baja yang dibuat dengan teknik High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) Thermal Spray Coating.

DAFTAR REFERENSI

1. George E. Totten, *Physical vapor deposition, chemical vapor deposition, electrolytic hard chromium, high velocity oxygen fuel, plasma*
<http://www.industrialheating.com>
2. Thermal spraying - High velocity oxyfuel (HVOF), arc and flame processes, http://www.twi.co.uk/j32k/protected/band_3/ksrdh002.html
3. Harvey, D., The Ultimate Coating – Thermal Spray at Abington, The Welding Institute Bulletin 2, pp 28-30, March/April 1994.
4. Image thermal spray, <http://www.gordonengland.co.uk/thumbs.htm>
5. 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)
6. Tesis: Studi Pembuatan Nanopartikel Stellite Dengan Plasma Spray, Irman Bustamam, NPM: 6301000314, Program Pasca Sarjana Program Studi Ilmu Material FMIPA Universitas Indonesia, 2005
7. Richard Halldearn, Flame spraying,
http://www.twi.co.uk/j32k/protected/band_3/ksrdh002.html
8. Smallma, R.E., *Metalurgi Fisik Modern*, Edisi keempat, alih bahasa oleh Ir. Sriati Djaprie, M.Met., Ir. Bustanul Arifin, M.Phil., Ir. Myrna A., Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1991.
9. Plasma Spraying,
http://www.twi.co.uk/j32k/protected/band_3/ksrdh002.html
10. Richard Halldearn, Arc spraying,
http://www.twi.co.uk/j32k/protected/band_3/ksrdh002.html
11. HVOF process, <http://www.hvof.com/hvof.htm>
12. 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.
13. Kittel, C, *Introduction to Solid State Physics*, 5th edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1976.

14. Palmer, D., Crystal Maker 2, Interactive Crystallography for MacOs, Cambridge University Technical Service, Ltd., England, 1994
15. Warren, B.E., X-ray Diffraction, Dover Publications, Inc., New York, 1990.
16. David Brandon and Wayne D. Kaplan, Microstructural Characterization of Materials, John Wiley & Sons, Inc., New York, 2003.
17. HVOF process, <http://www.hvof.com/hvof.htm>
18. 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.
19. Operating Manual for X-ray Diffractometer PW1710 Philip, Philip Electronic Instruments, Co. Ltd., New Jersey, 1976.
20. 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)
21. B.D. Cullity, Elements of X-Ray Diffraction, second edition, Notre Dame, Indiana, 1977.

LAMPIRAN

Catatan Perbaikan Oleh Dr. Azwar Manaf

Untuk mempertajam pembahasan terhadap hasil-hasil penelitian perlu membandingkan hasil pengukuran yang diperoleh dibandingkan dengan nilai acuan. Demikian juga masalah penulisan hasil seperti ukuran grain perlu memperhatikan (angka di belakang koma) karena hal ini terkait dengan tingkat ketelitian metode.

Hitung kembali fraksi massa Cr_4Ni bisa mencapai 24% mengingat kandungan Ni dari serbuk hanya 2,5%.

Berdasarkan identifikasi menggunakan tabel Hanawalt menunjukkan bahwa sampel A dan sampel B diduga memiliki 2 fasa yaitu fasa Chromium Cobalt (CrCo) dengan komposisi 35% Chromium 65% cobalt, dan fasa Chromium Nickel (Cr_4Ni). Sedangkan baik sampel A maupun sampel B yang telah dilakukan quenching pada suhu $1000\text{ }^\circ\text{C}$ diduga memiliki tiga fasa, yaitu fasa Chromium Cobalt (CrCo) dengan komposisi 35% Chromium 65% cobalt (lihat komposisi Cr dan Co pada Tabel 3.1), fasa Chromium Nickel (Cr_4Ni) dengan komposisi 80% Chromium 20% Nickel, dan fasa Chromium Oksida (Cr_2O_3).

Sampel A Cr_4Ni = 18,98% (Hasil refinement)

Sampel B Cr_4Ni = 18,84% (Hasil refinement)

Tabel 1: Kandungan unsur Stellite 6.

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Unsur	Co	Cr	W	Ni	Fe	Si	C	Mn	Mo	B
Kandungan(%)	57,21	30,6	4,5	2,52	2,17	1,39	1,15	0,34	0,12	0,0

Berdasarkan hasil sertifikasi dari bahan Stellite 6, kandungan Ni sebanyak 2,52%

Persamaan stoikiometri **ideal** (impurity negligible) :

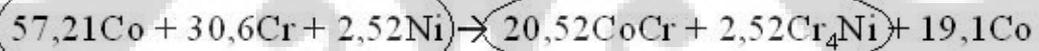


Empirisnya :



90,33%

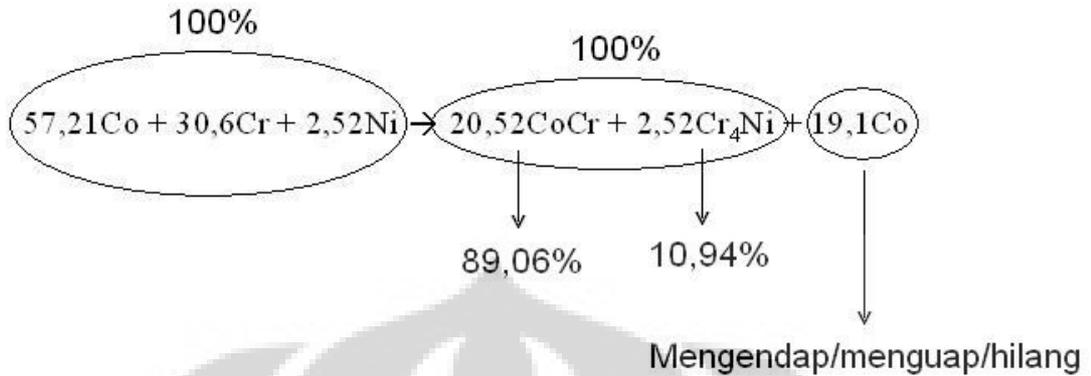
71,23%



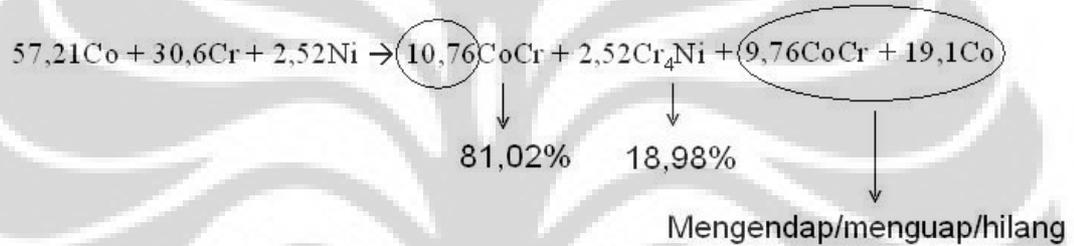
63,44%

7,79%

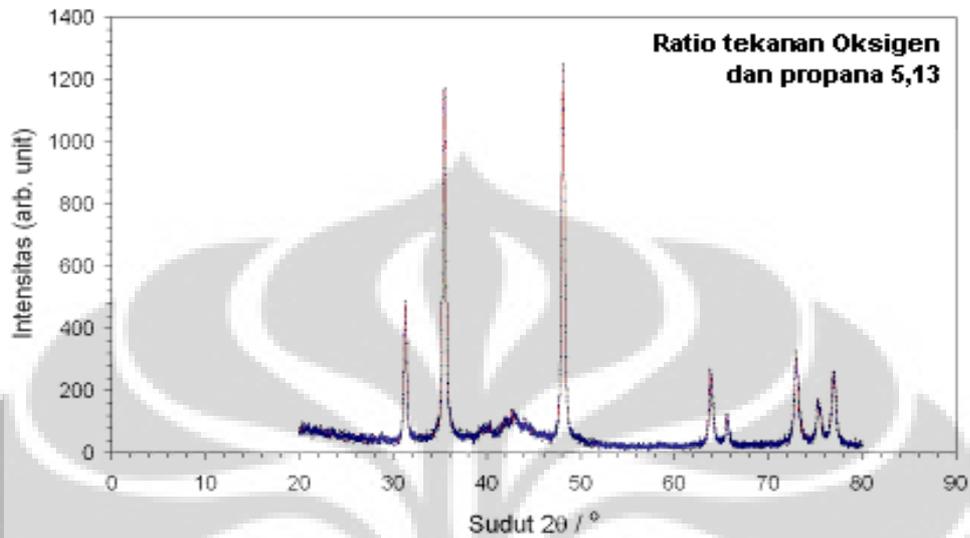
Persamaan stoikiometri **not ideal** (impurity negligible) :



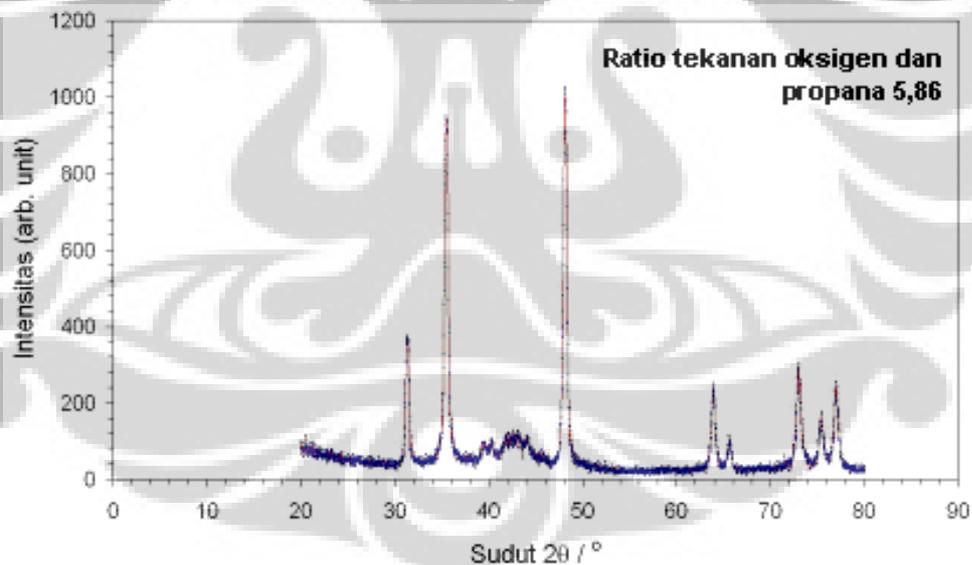
Persamaan stoikiometri **hasil eksperimen** (impurity negligible) :



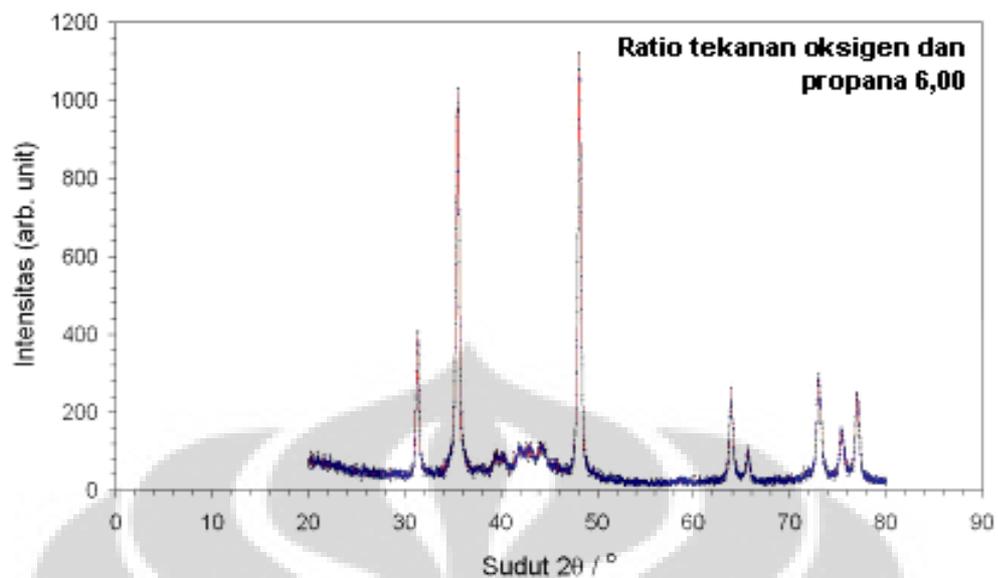
Jadi menurut dugaan dari hasil persamaan reaksi tersebut memang diduga bahwa dengan nominal unsure Ni hanya 2,52% sedangkan dapat menghasilkan paduan Cr₄Ni sebanyak 18,98% merupakan reaksi yang tidak sempurna. Tampak bahwa persamaan tersebut menghasilkan residu atau sisa reaksi sebanyak 9,76CoCr dan 19,1Co. Dan dari faktanya berdasarkan hasil pengukuran dengan XRD bahwa residu ini tidak pernah ada, secara logika bahwa residu tersebut mengendap/menempel di dasar substrat kemudian tertutup dengan yang lain atau bahkan telah terjadi penguapan.

LAMPIRAN 1**HASIL PENGUKURAN DIFRAKTOMETER SINAR-X (XRD) LAPISAN**

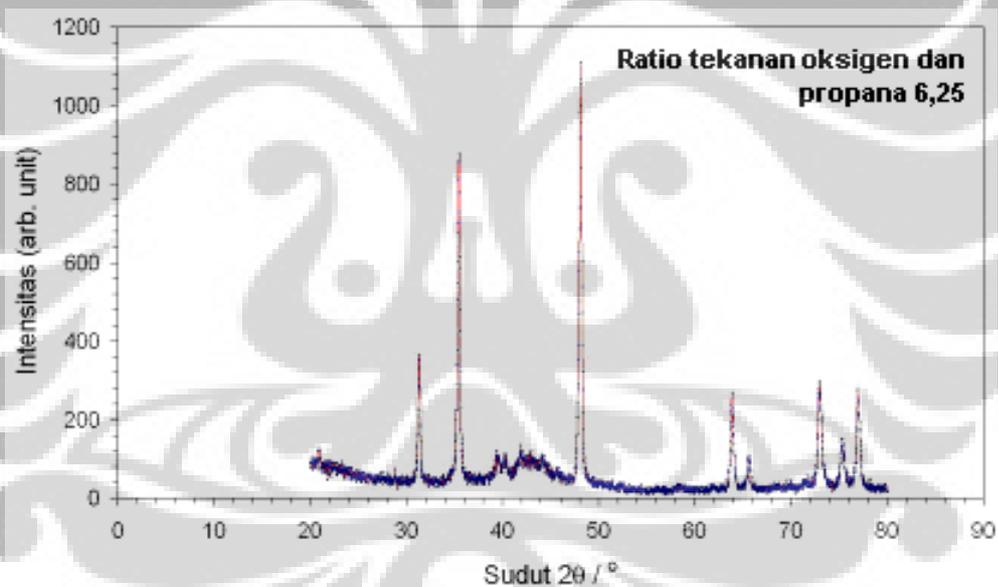
Gambar 4.2. Pola difraksi sinar-x sampel A1 dengan ratio tekanan oksigen dan propana = 5,13



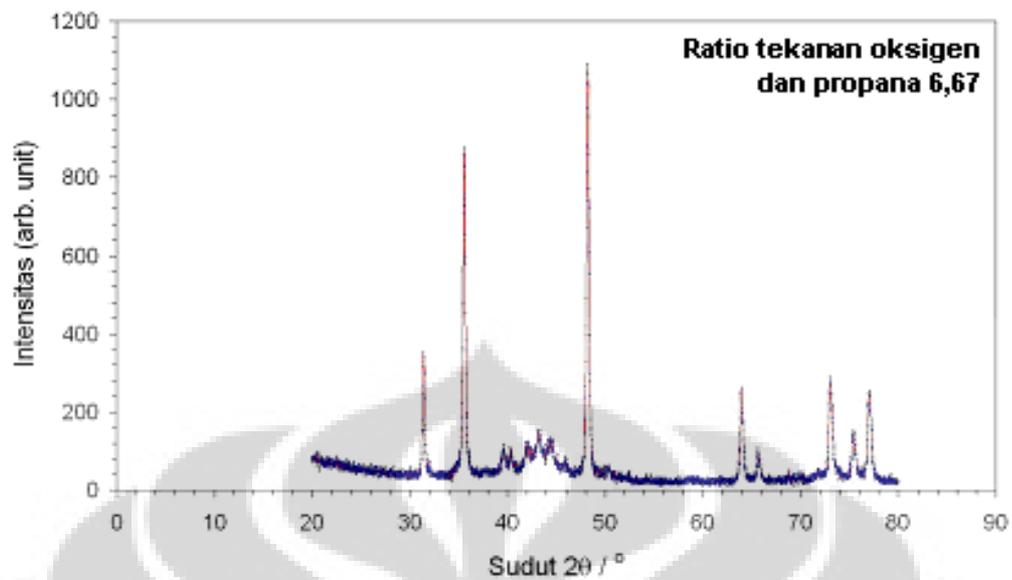
Gambar 4.3. Pola difraksi sinar-x sampel A2 dengan ratio oksigen dan propana = 5,86



Gambar 4.4. Pola difraksi sinar-x sampel A3 dengan ratio oksigen dan propana = 6,00



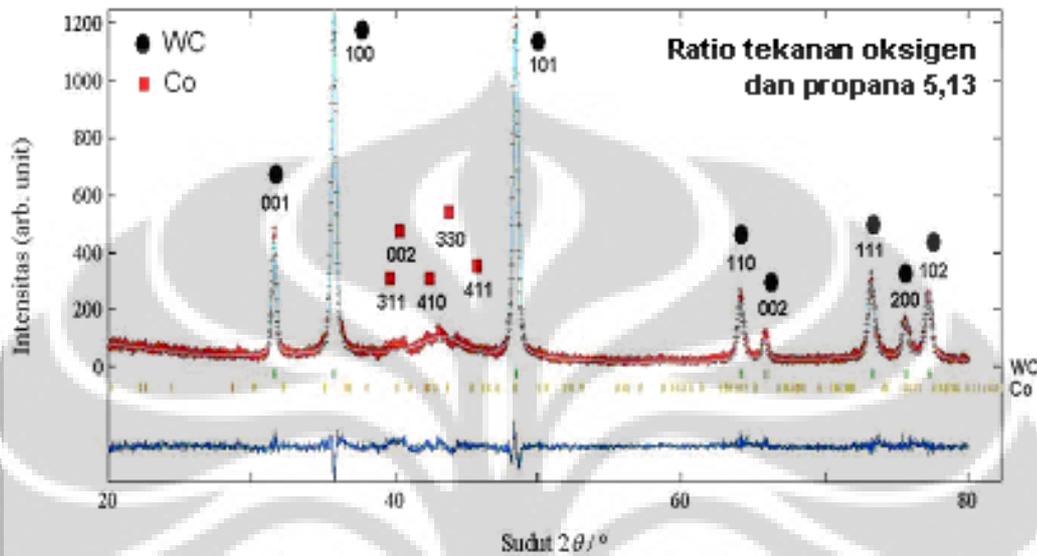
Gambar 4.5. Pola difraksi sinar-x sampel A4 dengan ratio oksigen dan propana = 6,25



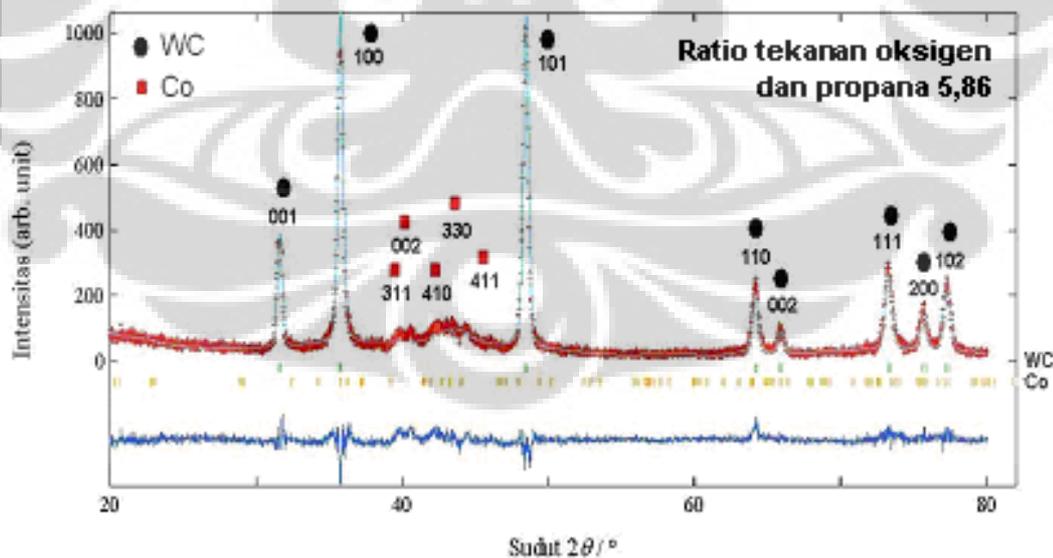
Gambar 4.6. Pola difraksi sinar-x sampel A5 dengan ratio oksigen dan propana = 6,67

LAMPIRAN 2

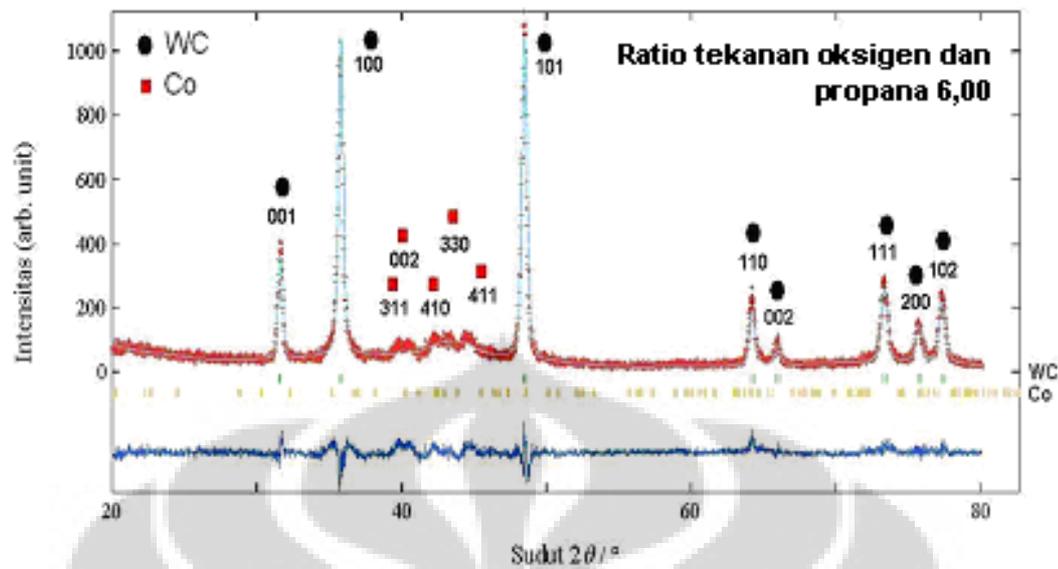
POLA DIFRAKSI HASIL ANALISIS MENUNJUKKAN ADANYA PUNCAK-PUNCAK YANG BERIMPIT DENGAN PROFIL POLA DIFRAKSI FASA WC DAN CO.



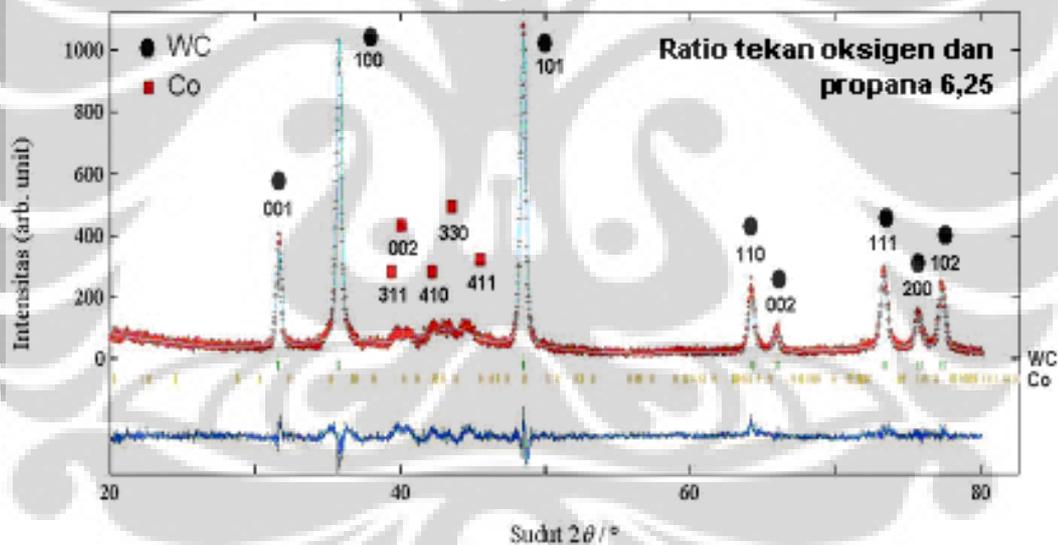
Gambar 4.12. Pola difraksi sinar-X dengan ratio tekanan oksigen dan propana 5,13. WC adalah Wolfram Carbide, Co adalah Cobalt. (●) adalah puncak-puncak fasa Wolfram Carbide (WC) (■) adalah puncak-puncak fasa Cobalt (Co)



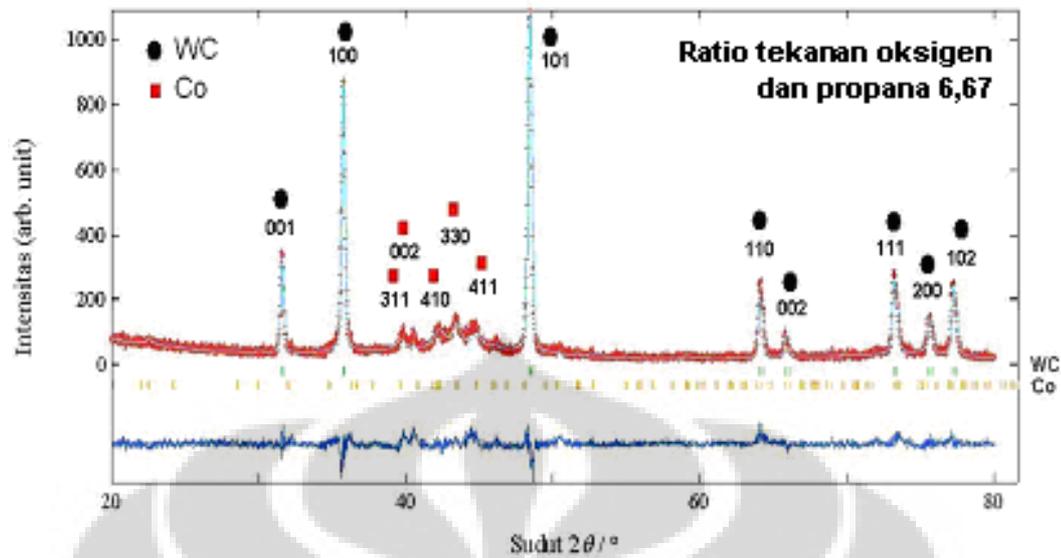
Gambar 4.13. Pola difraksi sinar-X sampel A2 dengan ratio bahan bakaran 5,86 WC adalah Wolfram Carbide, Co adalah Cobalt. (●) adalah puncak-puncak fasa Wolfram Carbide (WC) (■) adalah puncak-puncak fasa Cobalt (Co)



Gambar 4.14. Pola difraksi sinar-X sampel A3 dengan ratio bahan bakar 6,00 WC adalah Wolfram Carbide, Co adalah Cobalt. (●) adalah puncak-puncak fasa Wolfram Carbide (WC) (■) adalah puncak-puncak fasa Cobalt (Co)



Gambar 4.15. Pola difraksi sinar-X sampel A4 dengan ratio bahan bakar 6,25 WC adalah Wolfram Carbide, Co adalah Cobalt. (●) adalah puncak-puncak fasa Wolfram Carbide (WC) (■) adalah puncak-puncak fasa Cobalt (Co)



Gambar 4.16. Pola difraksi sinar-X sampel A5 dengan ratio bahan bakar 6,68 WC adalah Wolfram Carbide, Co adalah Cobalt. (●) adalah puncak-puncak fasa Wolfram Carbide (WC) (■) adalah puncak-puncak fasa Cobalt (Co)

LAMPIRAN 3

POSISI ATOM, FAKTOR R DAN CHI HASIL REFINEMENT POLA XRD.

Kode sampel A1 dengan ratio tekanan oksigen dan propana 5,13

Unsur	Faktor Hunian	Posisi atom			Faktor R (%) dan chi square (S)
		x	y	z	
Tungsten Carbida (WC) space group P-6m2 (187)					$R_{wp} = 16,37$ $R_p = 12,30$ $S = 1,40$ WC $R_1 = 9,35$ $R_F = 5,41$
W	0,99(9)	0,0000	0,0000	0,0000	Co $R_1 = 4,57$ $R_F = 2,60$
C	0,97(9)	0,4534(2)	-0,6427(7)	0,5000	
Cobalt (Co) space group P4 ₂ /mnm (136)					
Co1	0,56(3)	0,0000	0,0000	0,0000	
Co2	0,47(2)	0,3934(5)	0,3912(3)	0,0000	
Co3	0,48(3)	0,4674(2)	0,1323(3)	0,0000	
Co4	0,47(6)	0,7370(1)	0,0675(1)	0,0000	
Co5	0,50(1)	0,1729(4)	0,1746(6)	0,2589(2)	

Kode sampel A2 dengan ratio tekanan oksigen dan propana 5,86

Unsur	Faktor Hunian	Posisi atom			Faktor R (%) dan chi square (S)
		x	y	z	

Tungsten Carbida (WC) space group P-6m2 (187)					$R_{wp} = 14,41$ $R_p = 10,52$ $S = 1,25$ WC $R_1 = 3,85$ $R_F = 2,56$ Co $R_1 = 2,34$ $R_F = 1,47$
W	1,00	0,0000	0,0000	0,0000	
C	0,82(5)	0,4268(4)	-0,4769(3)	0,5000	
Cobalt (Co) space group P4 ₂ /mnm (136)					
Co1	0,71(6)	0,0000	0,0000	0,0000	
Co2	0,83(5)	0,5888(1)	-0,1551(3)	0,0000	
Co3	0,72(4)	0,4588(9)	0,2037(1)	0,0000	
Co4	0,14(7)	0,0873(1)	0,3138(5)	0,0000	
Co5	0,79(8)	0,1871(5)	0,1765(8)	0,2030(2)	
Kode sampel A3 dengan ratio tekanan oksigen dan propana 6					
Unsur	Faktor Hunian	Posisi atom			Faktor R (%) dan chi square (S)
		x	y	z	
Tungsten Carbida (WC) space group P-6m2 (187)					$R_{wp} = 15,95$ $R_p = 12,16$ $S = 1,33$ WC $R_1 = 6,51$ $R_F = 3,95$ Co $R_1 = 2,86$ $R_F = 1,85$
W	0,99(1)	0,0000	0,0000	0,0000	
C	0,83(8)	0,4564(2)	-0,4707(4)	0,5000	
Cobalt (Co) space group P4 ₂ /mnm (136)					
Co1	0,60(8)	0,0000	0,0000	0,0000	

Co2	0,90(6)	0,3901(1)	0,2317(6)	0,0000	
Co3	0,65(4)	0,4744(8)	0,1628(4)	0,0000	
Co4	0,28(7)	0,7249(5)	0,0930(6)	0,0000	
Co5	0,76(8)	0,1945(1)	0,1827(9)	0,0120(5)	

Kode sampel A4 dengan ratio tekanan oksigen dan propana 6,25

Unsur	Faktor Hunian	Posisi atom			Faktor R (%) dan chi square (S)
		x	y	z	
Tungsten Carbida (WC) space group P-6m2 (187)					$R_{wp} = 16,25$ $R_p = 12,44$ $S = 1,30$ WC $R_1 = 5,62$ $R_F = 3,32$ Co $R_1 = 4,06$ $R_F = 2,23$
W	0,95(3)	0,0000	0,0000	0,0000	
C	1,00	0,5660(4)	-0,5619(1)	0,5000	
Cobalt (Co) space group P4 ₂ /mnm (136)					
Co1	0,50	0,0000	0,0000	0,0000	
Co2	0,18(7)	0,4065(8)	0,3448(5)	0,0000	
Co3	0,62(3)	0,5083(5)	0,2020(3)	0,0000	
Co4	0,86(7)	0,6878(7)	0,0644(5)	0,0000	
Co5	0,86(1)	0,1960(1)	0,1935(2)	0,4534(9)	

Kode sampel A5 dengan ratio tekanan oksigen dan propana 6,67

Unsur	Faktor Hunian	Posisi atom			Faktor R (%) dan chi square (S)
		x	y	z	
Tungsten Carbida (WC) space group P6m2 (187)					$R_{wp} = 16,20$ $R_p = 12,27$ $S = 1,25$ WC $R_I = 6,13$ $R_F = 3,49$
W	0,86(8)	0,0000	0,0000	0,0000	Co $R_I = 6,08$
C	0,98(3)	0,5600(1)	-0,6416(1)	0,5000	$R_F = 4,15$
Cobalt (Co) space group P4 ₂ /mnm (136)					
Co1	0,88(6)	0,0000	0,0000	0,0000	
Co2	0,60(5)	0,4640(5)	0,1395(4)	0,0000	
Co3	0,72(5)	0,5278(9)	0,1313(5)	0,0000	
Co4	0,87(3)	0,6438(4)	-0,0007(9)	0,0000	
Co5	0,89(5)	0,1930(5)	0,1592(1)	0,2165(6)	

LAMPIRAN 4

DATA FRAKSI FASA DATA KERAPATAN ATOM DAN VOLUME UNIT SEL .

Data fraksi massa

Ratio	Fraksi Massa (%)	
	Tungsten Carbida (WC)	Cobalt (Co)
5,13	83.42	16.58
5,86	80.09	19.91
6,00	72.19	27.81
6,25	64.08	35.92
6,67	57.92	42.08

Data kerapatan atom dan volume unit sel

Ratio	Kerapatan atom (gr.cm^{-3})		Volume unit sel (A^3)	
	WC	Co	WC	Co
5,13	15.69	3.58	20.70	378.80
5,86	15.53	4.73	20.71	349.22
6,00	15.41	4.89	20.70	345.98
6,25	15.05	5.44	20.71	349.81
6,67	13.73	6.24	20.72	357.14

LAMPIRAN 5**HASIL PERHITUNGAN UKURAN GRAIN FASA WC**

Kode sampel A1 dengan ratio tekanan oksigen dan propana 5,13

No.	Bidang hkl	Sudut 2θ ($^{\circ}$)	K ($\text{rad}\cdot\text{A}^{-2}$)	Lamda (A)	FWHM ($^{\circ}$)	Ukuran grain (nm)
1.	001	31,52	0,9	1,5406	0,3765	22
2.	100	35,77	0,9	1,5406	0,3873	22
3.	101	48,33	0,9	1,5406	0,4196	22
4.	110	64,09	0,9	1,5406	0,4597	20
5.	002	65,80	0,9	1,5406	0,4641	20
6.	111	73,18	0,9	1,5406	0,4832	20
7.	200	75,57	0,9	1,5406	0,4894	20
8.	102	77,17	0,9	1,5406	0,4937	20
Rata-rata ukuran grain						21

Kode sampel A2 dengan ratio tekanan oksigen dan propana 5,86

No.	Bidang hkl	Sudut 2θ ($^{\circ}$)	K ($\text{rad}\cdot\text{A}^{-2}$)	Lamda (A)	FWHM ($^{\circ}$)	Ukuran grain (nm)
1.	001	31,521	0,9	1,5406	0,3422	24
2.	100	35,671	0,9	1,5406	0,3501	24
3.	101	48,331	0,9	1,5406	0,371	23
4.	110	64,079	0,9	1,5406	0,3892	24
5.	002	65,809	0,9	1,5406	0,3905	24
6.	111	73,167	0,9	1,5406	0,3934	25
7.	200	75,551	0,9	1,5406	0,3932	26
8.	102	77,164	0,9	1,5406	0,3927	26
Rata-rata ukuran grain						25

Kode sampel A3 dengan ratio tekanan oksigen dan propana 6,00

No.	Bidang hkl	Sudut 2θ ($^{\circ}$)	K ($\text{rad}\cdot\text{A}^{-2}$)	Lamda (A)	FWHM ($^{\circ}$)	Ukuran grain (nm)
1.	001	31,521	0,9	1,5406	0,3567	23
2.	100	35,679	0,9	1,5406	0,3645	23
3.	101	48,338	0,9	1,5406	0,3856	23
4.	110	64,095	0,9	1,5406	0,4049	23
5.	002	65,809	0,9	1,5406	0,4064	23

6.	111	73,182	0,9	1,5406	0,4109	24
7.	200	75,571	0,9	1,5406	0,4115	24
8.	102	77,169	0,9	1,5406	0,4116	25
Rata-rata ukuran grain						24

Kode sampel A4 dengan ratio tekanan oksigen dan propana 6,25

No.	Bidang hkl	Sudut 2θ ($^{\circ}$)	K ($\text{rad}\cdot\text{A}^{-2}$)	Lamda (A)	FWHM ($^{\circ}$)	Ukuran grain (nm)
1.	001	31,521	0,9	1,5406	0,2584	32
2.	100	35,669	0,9	1,5406	0,2654	31
3.	101	48,33	0,9	1,5406	0,2838	32
4.	110	64,075	0,9	1,5406	0,3	31
5.	002	65,809	0,9	1,5406	0,3012	31
6.	111	73,163	0,9	1,5406	0,3046	32
7.	200	75,546	0,9	1,5406	0,3049	32
8.	102	77,163	0,9	1,5406	0,3049	33
Rata-rata ukuran grain						32

Kode sampel A5 dengan ratio tekanan oksigen dan propana 6,67

No.	Bidang hkl	Sudut 2θ ($^{\circ}$)	K ($\text{rad}\cdot\text{A}^{-2}$)	Lamda (A)	FWHM ($^{\circ}$)	Ukuran grain (nm)
1.	001	31,521	0,9	1,5406	0,2508	33
2.	100	35,662	0,9	1,5406	0,256	33
3.	101	48,324	0,9	1,5406	0,2676	33
4.	110	64,239	0,9	1,5406	0,2706	35
5.	002	65,809	0,9	1,5406	0,2699	35
6.	111	73,15	0,9	1,5406	0,2628	38
7.	200	75,529	0,9	1,5406	0,2587	39
8.	102	77,159	0,9	1,5406	0,2552	40
Rata-rata ukuran grain						36

LAMPIRAN 6

HASIL PERHITUNGAN UKURAN GRAIN FASA Co

Kode sampel A1 dengan ratio tekanan oksigen dan propana 5,13

No.	Bidang hkl	Sudut 2θ ($^{\circ}$)	K ($\text{rad}\cdot\text{A}^{-2}$)	Lamda (A)	FWHM ($^{\circ}$)	Ukuran grain (nm)
1.	311	37,283	0,9	1,5406	1,8844	5
2.	002	37,552	0,9	1,5406	1,5670	5
3.	410	42,212	0,9	1,5406	1,6875	5
4.	330	43,497	0,9	1,5406	1,7214	5
5.	411	46,460	0,9	1,5406	1,8014	5
Rata-rata ukuran grain						5

Kode sampel A2 dengan ratio tekanan oksigen dan propana 5,86

No.	Bidang hkl	Sudut 2θ ($^{\circ}$)	K ($\text{rad}\cdot\text{A}^{-2}$)	Lamda (A)	FWHM ($^{\circ}$)	Ukuran grain (nm)
1.	311	37,954	0,9	1,5406	2,7244	3
2.	002	40,059	0,9	1,5406	2,7975	3
3.	410	42,254	0,9	1,5406	2,8756	3
4.	330	43,541	0,9	1,5406	2,9222	3
5.	411	47,038	0,9	1,5406	3,0569	3
Rata-rata ukuran grain						3

Kode sampel A3 dengan ratio tekanan oksigen dan propana 6,00

No.	Bidang hkl	Sudut 2θ ($^{\circ}$)	K ($\text{rad}\cdot\text{A}^{-2}$)	Lamda (A)	FWHM ($^{\circ}$)	Ukuran grain (nm)
1.	311	37,907	0,9	1,5406	4,0048	2
2.	002	40,369	0,9	1,5406	4,1315	2
3.	410	42,163	0,9	1,5406	4,226	2
4.	330	43,333	0,9	1,5406	4,2886	2
5.	411	46,922	0,9	1,5406	4,486	2
Rata-rata ukuran grain						2

Kode sampel A4 dengan ratio tekanan oksigen dan propana 6,25

No.	Bidang hkl	Sudut 2θ ($^{\circ}$)	K ($\text{rad}\cdot\text{A}^{-2}$)	Lamda (A)	FWHM ($^{\circ}$)	Ukuran grain (nm)
1.	311	38,079	0,9	1,5406	2,9551	3
2.	002	40,154	0,9	1,5406	3,0321	3
3.	410	42,411	0,9	1,5406	3,118	3
4.	330	43,702	0,9	1,5406	3,1682	3
5.	411	47,202	0,9	1,5406	3,3076	3
Rata-rata ukuran grain						3

Kode sampel A5 dengan ratio tekanan oksigen dan propana 6,67

No.	Bidang hkl	Sudut 2θ ($^{\circ}$)	K ($\text{rad}\cdot\text{A}^{-2}$)	Lamda (A)	FWHM ($^{\circ}$)	Ukuran grain (nm)
1.	311	37,679	0,9	1,5406	0,6529	13
2.	002	39,524	0,9	1,5406	0,6792	12
3.	410	42,043	0,9	1,5406	0,7158	12
4.	330	43,323	0,9	1,5406	0,7348	12
5.	411	46,727	0,9	1,5406	0,7864	11
Rata-rata ukuran grain						12