

**PENGARUH MIKROSTRUKTUR TERHADAP KEKERASAN  
PADA LAPISAN Co-Cr-W YANG DIBUAT DENGAN *PLASMA  
TRANSFERRED ARC-WELDING***



**Tesis Magister Fisika Murni Dan Terapan**

**Aries Resdian  
NPM: 6305220092**

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



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH MIKROSTRUKTUR TERHADAP KEKERASAN  
PADA LAPISAN Co-Cr-W YANG DIBUAT DENGAN *PLASMA  
TRANSFERRED ARC-WELDING***

**Tesis Magister Fisika Murni Dan Terapan**

Tesis ini diajukan sebagai salah satu syarat utama memperoleh gelar Magister  
Ilmu Fisika Murni dan Terapan Pascasarjana Universitas Indonesia

**Aries Resdian  
NPM: 6305220092**

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

## LEMBAR PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh

Nama : Aries Resdian  
NPM : 6305220092  
Program Studi : Fisika Murni dan Terapan  
Judul Tesis : Pengaruh Mikrostruktur Terhadap Kekerasan Pada Lapisan Co-Cr-W Yang Dibuat Dengan *Plasma Transferred Arc-Welding*.

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

Jakarta, 08 April 2008

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing

Pembimbing

Dr. rer.nat. Kebamoto  
NIP. 131 881 135

Dr. Muhammad Hikam  
NIP. 131 103 736

Penguji

Penguji

Penguji

Azwar Manaf  
NIP. 131 472 301

Ariadne L. Juwono  
NIP. 131 851 261

Budhy Kurniawan  
NIP. 132 058 060

Mengtahui,  
Ketua Program Megister Fisika  
Program Pascasarjana FMIPA UI

Dr. Dedi Suyanto  
NIP. 130 935 271

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami ucapkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia-Nya sehingga penulisan tugas akhir dapat kami selesaikan dengan judul **Pengaruh Mikrostruktur terhadap Pelapisan Co-Cr-W Dengan Menggunakan Plasma Transfer Arc-Welding**. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan penulis khususnya.

Tesis ini merupakan tugas akhir dari rangkaian perjalanan panjang penulis selama mengikuti perkuliahan di Universitas Indonesia dan ditulis untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk mencapai gelar Megister Fisika.

Dalam setiap penyelesaian tugas tentunya ada halangan yang harus dilalui, demikian juga halnya dengan penyelesaian tugas akhir ini kami menemui halangan secara pribadi maupun kelompok antara lain dengan kesibukan pekerjaan kantor sehari-hari dan perjalanan panjang dalam menjalani permasalahan perkuliahan, namun berkat bantuan serta bimbingan dan motivasi semua pihak, tugas akhir ini dapat juga kami selesaikan.

Pada kesempatan kali ini, kami menghaturkan banyak terima kasih atas bantuannya, khususnya kepada:

- Bapak Dr. rer.nat. Kebamoto selaku pembimbing dalam pengerjaan tugas ini. Beliau sangat membantu dalam menganalisa dan menstrukturkan ide-ide dalam pengerjaan penelitian ini.
- Bapak Dr. Muhammad Hikam selaku pembimbing dalam pengerjaan tugas ini. Beliau sangat membantu kelancaran penyelesaian tugas akhir ini.
- Bapak Dr. Dedi Suyanto selaku Ketua Program Studi fisika Pasca Sarjana Universitas Indonesia.
- Bapak Trisna, General Manager, PT Teknokraf atas bantuan beliau untuk dapat melakukan penelitian di workshop PT Teknokraf

- Bapak Sidk Latuconsina, Manager Produksi, PT Teknokraf atas bantuan teknis selama pengambilan sampel untuk penelitian.
- Bapak Zanal atas bantuannya dalam mempersiapkan sampel uji.
- Teman-teman senasip Agus Santosa, Teguh Santoso, Darmawan Santoso, Arif Sartono, Sentot Imam dan Muhammad Manan.
- Kepala SMAN 17 beserta Stafnya yang telah memberikan kesempatan kepada saya untuk menuntut ilmu.
- Kedua Orang tua, kakak dan adik atas bantuan dan dukungan moril selama Penulis mengikuti perkuliahan.

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

**Penulis**

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

---

---

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

Nama : Aries Resdian  
NPM : 6305220092  
Program Studi : Fisika Murni dan Terapan  
Fakultas : Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis Karya : Tesis

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

**Pengaruh Mikrostruktur Terhadap Kekerasan Pada Lapisan Co-Cr-W Yang  
Dibuat Dengan *Plasma Transferred Arc-Welding*.**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 8 April 2008  
Yang menyatakan

(Aries Resdian)

## ABSTRAK

Nama : Aries Resdian  
Program Studi : Fisika Murni dan Terapan  
Judul : Pengaruh Mikrostruktur Terhadap Kekerasan Pada Lapisan Co-Cr-W Yang Dibuat dengan *Plasma Transferred Arc-Welding*.

Penelitian ini menggunakan *Plasma Transferred Arc-Welding* (PTAW) untuk mendapatkan material keras melalui modifikasi mikrostruktur dari bubuk Co-Cr-W yang jatuh ke dalam plasma.

Sampel dibuat berdasarkan variasi kuat arus listrik dan laju bubuk yang jatuh ke dalam plasma. Dari beberapa sampel yang berbeda, dianalisa mikrostrukturnya dengan menggunakan SEM dan sifat kekerasannya diukur dengan menggunakan Vickers Hardness Tester.

Dari hasil penelitian diperoleh beban kekerasan maksimum sebesar  $450 \text{ kg/mm}^2$  bila sampel dibuat dengan arus 125 A dan flowrate 2,2 lb/h. Dengan demikian mikrostruktur dapat dimodifikasi dengan menggunakan PTAW dengan melakukan variasi laju bubuk, kuat arus dan komposisi material-material logam yang akan dicampur.

Kata kunci: Mikrostruktur, Laju bubuk, kekerasan.

## ABSTRACT

Name : Aries Resdian  
Study Program: Fisika Murni dan Terapan  
Title : Influence of Microstructure To Hardness At Coating Co-Cr-W  
Made with Plasma of Transferred Arc-Welding.

In this research we have used Plasma Transferred Arc-Welding (PTAW) to get hard material through modification microstructure from powder Co-Cr-W which falls into plasma.

The sample was prepared by varying the electric current and flowrate of the falling. For variety of the specimen, we have utilized SEM to analyze the microstructure and the hardness is measured by using Vickers Hardness Tester.

The result show that the maxim hardness load is obtained at  $450 \text{ kg/mm}^2$  while the current is 125 A and flowrate 2,2 lb/h. It is concluded that microstructure can be modified by using PTAW by conducting variation flowrate, electric current and metal materials composition to be mixed.

Keyword: Microstructure, Flowrate, hardness.



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>LEMBAR PERSUTUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Metoda Penelitian.....	3
1.4 Pembatasan Masalah.....	3
1.5 Terminologi.....	3
<b>BAB 2 KERANGKA TEORITIS</b> .....	4
2.1 Deskripsi Teoritis.....	4
2.1.1 Plasma Spray.....	4
2.1.1.1 <i>Plasma Arc-Welding</i> .....	6
2.1.1.2 <i>High Velocity Oxy/Fuel (HVOF)</i> .....	11
2.1.1.3 <i>Spray Fusion (FS)</i> .....	13
2.1.2 Kurva Paschen.....	14
<b>BAB 3 LANGKAH PENELITIAN</b> .....	16
3.1 Langkah Penelitian.....	16
3.1.1 Persiapan Penelitian.....	17
3.1.2 Analisa Sampel.....	19
3.2 Prinsip dan Skema peralatan yang digunakan.....	18
3.2.1 <i>Plasma Transfer Arc-Welding (PTAW)</i> .....	18
3.2.2 <i>Microhardness Vickers</i> .....	21
3.3 Material.....	24
3.4 Ukuran Butir.....	27
<b>BAB 4 ANALISIS HASIL</b> .....	31
4.1 Teknis Penelitian.....	31
4.2 Hasil SEM.....	32
4.3 Perhitungan Besar Butir dengan Persamaan O.K Rieger .....	39
4.4 Analisis Grain Size Fasa CrCo dan Cr4Ni.....	42
4.5 Kekerasan.....	44
4.6 Hubungan Mikrostruktur Terhadap Kekerasan.....	50
4.7 Pengaruh Laju Bubuk pada Rapat Batas Butir dan Kekerasan .....	58
<b>BAB 5 KESIMPULAN</b> .....	60
<b>DAFTAR REFERENSI</b> .....	61

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Nilai komposisi kimia, persentase berat.....	17
Tabel 3.2	Variasi Arus dan Laju Bubuk ( <i>Flowrate</i> ).....	18
Tabel 3.3	Sifat fisik dan sifat mekanik material Co-Cr.....	24
Tabel 3.4	Analisis Mikro dari Komposisi Material Co-Cr.....	26
Tabel 4.1	Konversi PRM.....	32
Tabel 4.2	Distribusi Batas Butir.....	39
Tabel 4.3	Hubungan Laju Bubuk, Kuat Arus dan Batas Butir.....	40
Tabel 4.4	$\bar{d}$ dari Hasil Uji Kekerasan.....	45
Tabel 4.5	Hubungan Kekerasan, Arus dan Laju Bubuk.....	45
Tabel 4.6	Hubungan Batas Butir Terhadap Kekerasan.....	50

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema proses plasma Spray.....	5
Gambar 2.2	Proses <i>plasma transfer arc-welding</i> .....	7
Gambar 2.3	Skema <i>Plasma arc-welding</i> .....	8
Gambar 2.4	Perbandingan desain suluh GTAW dengan PTAW dilihat dari bentuk gas, suhu, arus dan tegangannya.....	9
Gambar 2.5	Skema suluh <i>Gas Metal Arc-Welding (GMAW)</i> .....	10
Gambar 2.6	Proses HVOF.....	11
Gambar 2.7	Skema Pengoprasian suluh Gun HVOF.....	12
Gambar 2.8	Pengoprasian permukaan suluh <i>Spray Fusion</i> .....	12
Gambar 2.9	Skema suluh <i>Spray Fusion</i> .....	13
Gambar 2.10	Kurva Paschen.....	14
Gambar 3.1	Diagram Alur Penelitian.....	16
Gambar 3.2	Komposisi Kimia Material Bubuk.....	17
Gambar 3.3	Sampel yang diperoleh dari pekerjaan coating dengan menggunakan <i>Plasma Transferred Arc-Welding</i> . ....	18
Gambar 3.4	Peralatan PTA EUTRONIC GAP Sistem 375.....	19
Gambar 3.5	Skema <i>Indenter</i> Microhardness Vickers.....	22
Gambar 3.6	Skema tampak potongan <i>Indenter</i> Microhardness Vickers.....	22
Gambar 3.7	Hasil SEM material Cobalt-Chromium.....	25
Gambar 3.8	Struktur permukaan yang dihasilkan dari komposisi material bubuk Cobalt, Chromium dan Molybdenum.....	26
Gambar 3.9	Struktur permukaan Material Cobalt-Chromium .....	27
Gambar 3.10	Grafik hubungan ukuran butir terhadap kekerasan .....	28
Gambar 3.11	Perhitungan daerah Rapat Batas Butir .....	29

Gambar 4.1	Hasil SEM dengan perbesaran 2.000x pada lapisan Co-Cr-W menggunakan PTAW dengan arus 100 A dan laju bubuk 1,6 lb/h. ....	33
Gambar 4.2	Hasil SEM dengan perbesaran 500x pada lapisan Co-Cr-W menggunakan PTAW dengan arus 125 A dan laju bubuk 1,6 lb/h. ....	34
Gambar 4.3	Hasil SEM dengan perbesaran 2.000x pada lapisan Co-Cr-W menggunakan PTAW dengan arus 100 A dan laju bubuk 1,8 lb/h. ....	35
Gambar 4.4	Hasil SEM dengan perbesaran 500 kali untuk lapisan Co-Cr-W yang menggunakan arus 125 A dan dengan laju bubuk 1.8 lb/h.....	36
Gambar 4.5	Hasil SEM dengan perbesaran 1.000x pada lapisan Co-Cr-W menggunakan PTAW dengan arus 100 A dan laju bubuk 2,2 lb/h. ....	37
Gambar 4.6	Hasil SEM dengan perbesaran 1.000x pada lapisan Co-Cr-W menggunakan PTAW dengan arus 125 A dan laju bubuk 2,2 lb/h. ....	38
Gambar 4.7	Grafik Perbandingan Rapat Batas Butir terhadap laju bubuk sampel menggunakan arus 100 A dan 125 A.....	41
Gambar 4.8	Grafik hubungan laju bubuk terhadap ukuran butir pada arus 100 A dengan fasa Cr <sub>4</sub> Ni dan CrCo.....	43
Gambar 4.9	Grafik hubungan laju bubuk terhadap ukuran butir pada arus 125 A dengan fasa Cr <sub>4</sub> Ni dan CrCo.....	44
Gambar 4.10	Grafik tingkat kekerasan sampel dengan arus 100 A pada beban <i>indenter</i> 200, 500 dan 1000 gr.....	46
Gambar 4.11	Grafik tingkat kekerasan sampel dengan arus 125 A pada beban indenter 200, 500 dan 1000 gr.....	47
Gambar 4.12	Grafik tingkat kekerasan sampel dengan arus 100 A terhadap laju bubuk 1.6, 1.8 dan 2.2 pon/jam dengan beban indenter 200, 500 dan 1000 gr.....	48
Gambar 4.13	Grafik tingkat kekerasan sampel dengan arus 125 A terhadap laju bubuk 1.6, 1.8 dan 2.2 pon/jam dengan beban indenter 200, 500 dan 1000 gr.....	49

Gambar 4.14	Grafik Rapat Batas Butir terhadap kekerasan sampel dengan arus 100 A dengan beban indenter 200, 500 dan 1000 gr.....	51
Gambar 4.15	Grafik Rapat Batas Butir terhadap kekerasan sampel dengan arus 100 A dengan beban <i>indenter</i> 500 gr.....	52
Gambar 4.16	Grafik Rapat Batas Butir terhadap kekerasan sampel dengan arus 125 A dengan beban <i>indenter</i> 1000 gr.....	53
Gambar 4.17	Grafik rapat batas butir terhadap kekerasan sampel dengan arus 100 A dan 125 A.....	54
Gambar 4.18	Grafik Rapat Batas Butir terhadap kekerasan sampel dengan arus 125 A dengan beban indenter 200, 500 dan 1000 gr.....	55
Gambar 4.19	Pengaruh kekerasan terhadap <i>grain size</i> fasa Cr <sub>4</sub> Ni.....	56
Gambar 4.20	Pengaruh kekerasan terhadap <i>grain size</i> fasa CrCo.....	57
Gambar 4.21	Grafik hubungan rapat batas butir terhadap kekerasan pada masing-masing laju bubuk 1.6, 1.8 dan 2.2 lb/h .....	56

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil SEM Sampel Arus 100 A dengan Laju Bubuk 1.6 lb/h.....	62
Lampiran 2 Hasil SEM Sampel Arus 100 A dengan Laju Bubuk 1.8 lb/h.....	63
Lampiran 3 Hasil SEM Sampel Arus 100 A dengan Laju Bubuk 2.2 lb/h.....	64
Lampiran 4 Hasil SEM Sampel Arus 125 A dengan Laju Bubuk 1.6 lb/h.....	65
Lampiran 5 Hasil SEM Sampel Arus 125 A dengan Laju Bubuk 1.8 lb/h.....	66
Lampiran 6 Hasil SEM Sampel Arus 125 A dengan Laju Bubuk 2.2 lb/h.....	67
Lampiran 7 Sertifikat Bubuk Material.....	68
Lampiran 8 Hasil perhitungan ukuran <i>grain size</i> fasa CrCo sampel Arus 100 A dan 125 A .....	69
Lampiran 9 Hasil perhitungan ukuran <i>grain size</i> fasa Cr <sub>4</sub> Ni sampel Arus 100 A dan 125 A .....	70

# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Dewasa ini makin banyak material yang dapat diperbaiki sifat-sifat fisiknya, seperti kekuatan, ketahanan terhadap korosi dan ketahanan terhadap aus. Salah satu unsur teknis yang menyebabkan dapat dirubahnya sifat material supaya sesuai dengan keinginan dengan mengubah struktur mikronya. Akhir-akhir ini telah berkembang dengan pesat teknologi miniaturisasi peralatan elektronik. Metoda pembuatan mikro elektronik oleh industri telah diperhalus untuk menghasilkan peralatan lebih kecil [1]. Teknologi miniaturisasi ini menggunakan material yang sifat-sifat fisiknya dimodifikasi.

Salah satu teknik yang digunakan untuk mengubah sifat-sifat dari suatu material sesuai dengan yang diinginkan dengan menciptakan kondisi pembuatan atau pembentukan material yang memungkinkan terbentuknya struktur baru [2]. Dengan mengubah struktur bertujuan untuk memperoleh sifat material atau barang industri yang jauh lebih unggul dan berkualitas dari yang ada saat ini. Sifat-sifat yang dihasilkan pada pembentukan mikrostruktur dari bahan material yang dihasilkan diperoleh dari komposisi kimia, pengontrolan energi reaksi dan pengontrolan tekanan pada proses pengolahannya.

Plasma spray merupakan salah teknik yang digunakan untuk memproses material. Pada proses ini, suatu pancaran plasma temperatur tinggi digunakan untuk melarutkan dan menghamburkan bahan material dengan cara dimasukan ke dalam plasma. Secara umum, plasma spray digunakan untuk menghasilkan perlindungan dan meningkatkan lapisan. Karakteristik khusus pengerjaan cairan plasma seperti suatu kerapatan entalpi tinggi, temperatur tinggi, percepatan tinggi, aktifitas lingkungan (laju pendinginan) dan pemanasan sangat tinggi [3]. Misalnya pembuatan campuran besi yang dikembangkan untuk *hardfacing* industri dengan menggunakan *plasma transferred arc-welding* [5] atau transfer plasma dengan las

busur cahaya menghasilkan material dengan pertumbuhan grain dan ukuran butir lebih baik sehingga diperoleh kekerasan (*hardness*) dan ketangguhan (*toughness*).

Tiga aspek yang dilakukan dalam pembentukan mikrostruktur; pertama, mengidentifikasi tiap tahap kristalografi yang dihasilkan pada pembentukan material. Kedua, *morphology* dari fase ukuran material, distribusi dan pembentukan di dalamnya. Ketiga, komposisi kimia dan pada tahap ini selanjutnya merupakan penentuan skala mikrostruktur [4].

Ada dua cara untuk melakukan karakterisasi material. Pertama yaitu menentukan sifat material, dengan mengetahui sifat fisik, kimia dan sifat mekanik sebelum diketahui bentuk dan komponennya. Kedua dari karakterisasi dengan menggunakan alat-alat karakterisasi material, khusus untuk menentukan sifat kimia, Kristalografi setelah melalui serangkaian perhitungan.

Dalam menentukan mikrostruktur suatu material tahap yang dilakukan secara efektif dengan melakukan langkah-langkah antara lain melakukan proses pemotongan, perlakuan panas, pengerjaan mekanis dan lain-lain. Pemeriksaan sifat fisik kimia dan sifat mekanik material merupakan penggambaran sifat dari masing-masing konsep mikrostruktur seperti ukuran butir, yang berorientasi lebih kepada lapisan fraksi volume.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan material keras melalui modifikasi mikrostruktur dengan menggunakan plasma spray. Untuk itu sampel berupa *coating* yang dibuat dengan menggunakan plasma spray. Diharapkan dengan penelitian ini diperoleh informasi mikrostruktur yang optimal dilihat dari ukuran butir dan kekerasannya.



### 1.3 Metode Penelitian

Dalam melaksanakan penelitian ini, metoda yang dilakukan adalah:

- Preparasi sampel.
- Melakukan pemeriksaan awal mikrostruktur sampel dengan menggunakan mikroskop optik.
- Melakukan pemeriksaan bentuk partikel yang terjadi dengan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*)
- Melakukan uji kekerasan sampel dengan menggunakan *micro hardness vickers*.

### 1.4 Pembatasan Masalah

Pada penulisan ini yang dilakukan adalah mulai dari preparasi sampel sampai penentuan mikrostruktur dan hubungannya dengan kekerasan. Sampel yang digunakan berupa lapisan yang terbentuk dipermukaan *Substrate* baja. Mikrostruktur yang terbentuk dari hasil SEM dianalisa dengan persamaan O.K Rieger dan penentuan kekerasannya dengan menggunakan *micro hardness vickers*.

### 1.5 Terminologi

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

- Laju bubuk (*flowrate*): bubuk rata-rata dari *Plasma Transferred Arc-Welding* berdasarkan yang tertera pada alat pengontrol.
- Mikrostruktur: Struktur mikro yang terbentuk pada *coating*.
- Lapisan (*coating*): Lapisan yang terbentuk dipermukaan *substrate*.
- Lantai kerja (*substrate*): material yang akan dilapisi.
- Butir (*grain*): kumpulan beberapa kristal dengan arah atau orientasi tertentu.

## BAB 2 KERANGKA TEORITIS

### 2.1 Deskripsi Teoritis

Pelapisan (*coating*) material adalah penambahan atau penempatan suatu material atas permukaan material lain. Banyak sekali teknik pelapisan yang tersedia untuk menentukan teknik terbaik didasarkan pada beberapa persyaratan seperti ukuran, bentuk, serta sifat metalurgi material yang akan dilapisi (*substrate*).

*Coating* yang sering dipakai untuk permukaan material berfungsi untuk [1]:

1. Melindungi material yang dilapisi dari pengaruh lingkungan terhadap korosi atau reaksi yang lebih buruk.
2. Menjadikan material yang dilapisi menjadi menarik, dan
3. Sebagai penyekat listrik jika dari bahan isolator.

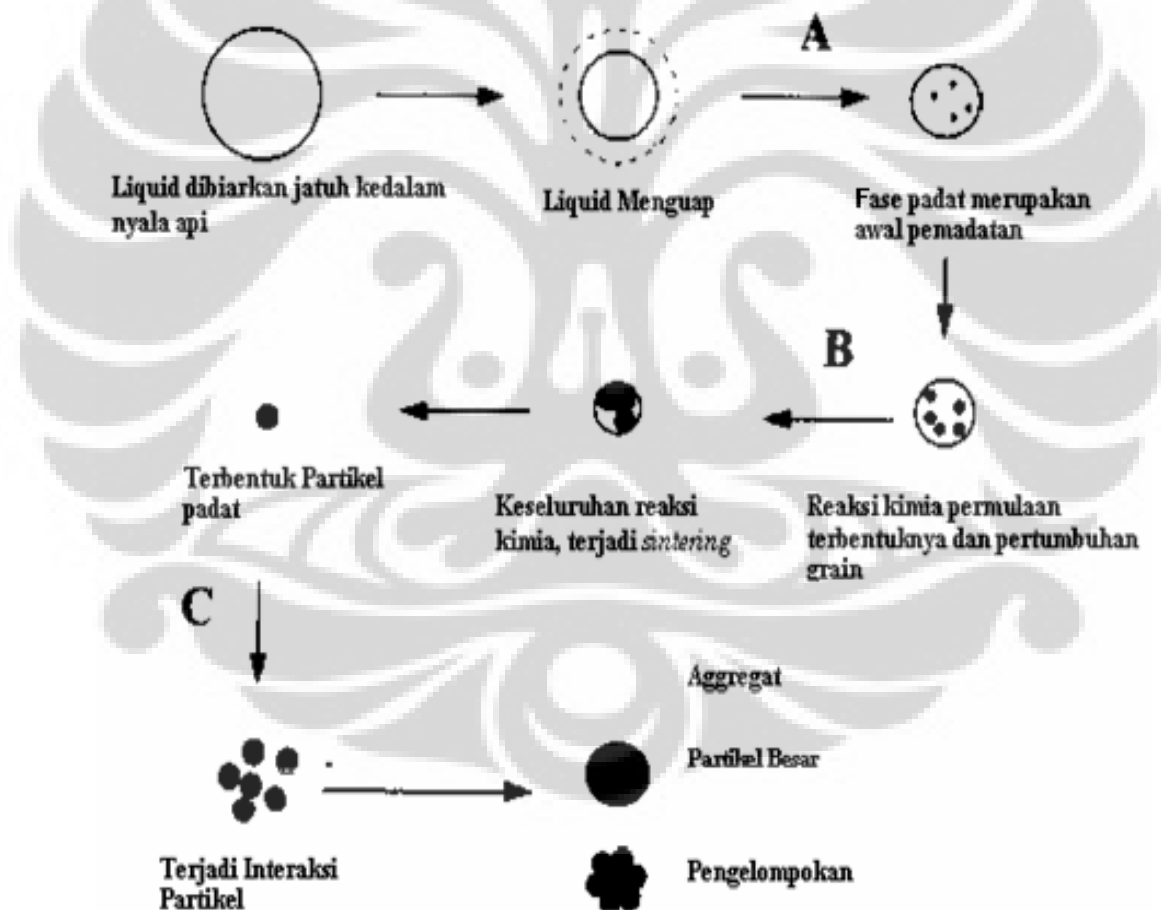
Kebanyakan bahan-bahan dalam pelapisan material adalah polymer, sebagian besar dari bahan organik. Pelapisan dari bahan-bahan logam biasanya digunakan untuk industri yang bergerak di bidang *cutting tool*.

#### 2.1.1 Plasma Spray

Plasma spray dewasa ini digunakan dalam berbagai macam teknik pelapisan. Pada Plasma spray proses pancaran temperatur tinggi dari plasma digunakan untuk mencairkan dan spray berfungsi untuk menyediakan plasma yang dimasukan melalui plasma nyala. Secara umum proses plasma spray digunakan untuk menghasilkan, melindungi dan membuat lapisan jadi lebih baik. Pada Lingkungan pengerjaan plasma spray banyak karakteristik khusus yang harus diperhatikan, seperti kerapatan *enthalpy* tinggi, temperature tinggi, kecepatan tinggi, aktivitas lingkungan, pemanasan tinggi dan pendinginan.

Plasma merupakan campuran muatan-muatan positif dan negatif dengan suhu tinggi. Untuk melepaskan elektron dari kulit atom maka dibutuhkan energi yang cukup besar digunakan untuk membuat plasma. Energi yang digunakan dibuat dengan cara pemanasan, dengan listrik atau dengan cahaya, misalnya cahaya ultraviolet atau memakai cahaya tampak dari laser. Dengan energi yang kurang maka plasma berkombinasi kembali ke dalam gas netral. Untuk mempercepat plasma dapat digunakan listrik atau medan magnet.

Proses yang terjadi sehingga terbentuknya ikatan pada material (*substrate*) yang akan dilapisi untuk dapat lebih mudah memahaminya perhatikan skema salah satu jenis Plasma Spray yaitu proses *Plasma Spray Synthesis* [3] (Gambar 2.1).



Gambar 2.1 Skema proses plasma Spray. A) Merupakan fase ketika butiran dari material bubuk berbentuk *liquid* dibiarkan jatuh ke dalam nyala api sehingga terjadi penguapan pada butir material tersebut dan untuk selanjutnya mengalami fase awal pembentukan material padat. B) Proses reaksi kimia dalam pembentukan grain antar butir-butir, proses pemanasan bahan bubuk di bawah titik lebur agar menyatu (*sintering*) membentuk partikel padat. C) Terjadinya interaksi Antar partikel untuk membentuk sebuah ikatan partikel, partikel besar yang merupakan pengelompokan dari interaksi antar partikel.

Pada Gambar 2.1 *liquid* dimasukkan ke dalam nyala api sehingga *liquid* akan menguap dan meninggalkan material yang merupakan fase awal A terbentuknya padatan. Material yang sudah mulai memadat kemudian terjadi reaksi kimia yang merupakan fase B merupakan awal terbentuknya *grain*, sampai akhirnya reaksi kimia merupakan proses pemanasan bahan bubuk di bawah titik lebur agar menyatu (*sintering*) untuk membentuk partikel padat. Fase C partikel padat tersebut saling berinteraksi satu dengan lainnya yang membentuk *agregat* berupa partikel yang besar dan partikel gabungan saling mengikat dengan *substrate* yang akan dilapisi.

Plasma spray menggunakan energi termal sering juga disebut dengan termal spray yaitu proses dimana material pelapis dimasukkan ke dalam daerah panas (*heating zone*), dari daerah panas ini disemprotkan ke material yang akan dilapisi. Energi thermal yang digunakan untuk mencairkan material pelapis dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu pemanasan listrik dan pemanasan plasma.

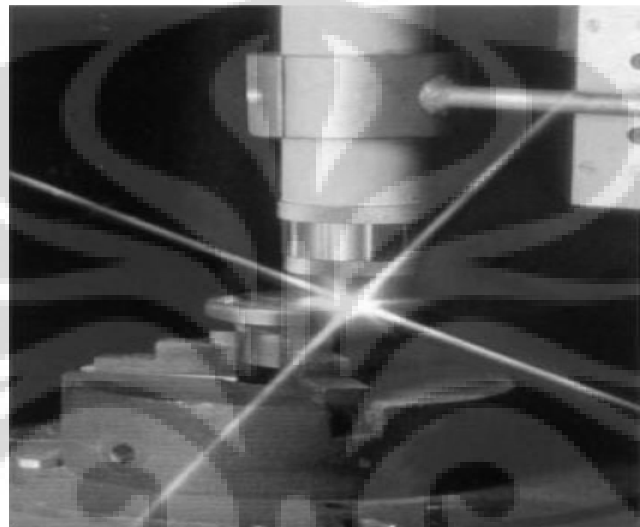
Untuk dapat melakukan pelapisan pada *substrate* dengan menggunakan listrik, Terdapat tiga jenis proses pemanasan listrik untuk mencairkan material pelapis yaitu:

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 Plasma Arc-Welding**

*Plasma arc-welding* adalah proses pelapisan menggunakan plasma dengan suhu tinggi. Ada beberapa jenis *plasma arc-welding* yaitu *Plasma Transferred Arc-Welding* (PTAW), *Gas Tungsten Arc-Welding* (GTAW) dan *Gas Metal Arc-Welding* (GMAW).

*Plasma Transferred Arc-Welding* (PTAW) adalah sebuah proses dengan menggunakan pemindahan energi tinggi dengan busur plasma yang berasal dari kepala suluh (anode dan katoda), dan membentuk lapisan berupa genangan pada *substrate*. Gas yang biasanya dipakai gas Argon, dimasukan dalam busur listrik menghasilkan sebuah plasma tegak. Bubuk campuran dibawa dalam plasma tegak sehingga melarut dipermukaan *substrate* [6]. (gambar 2.2)



Gambar 2.2 Proses *Plasma Transferred Arc-Welding* (PTAW). Gambar merupakan bagian dari suluh PTAW dengan suhu tinggi, cahaya dari plasma bagian yang berwarna putih membawa partikel-partikel bubuk melalui proses pemanasan di bawah titik lebur ketika berlangsungnya pelapisan dengan menggunakan PTAW.

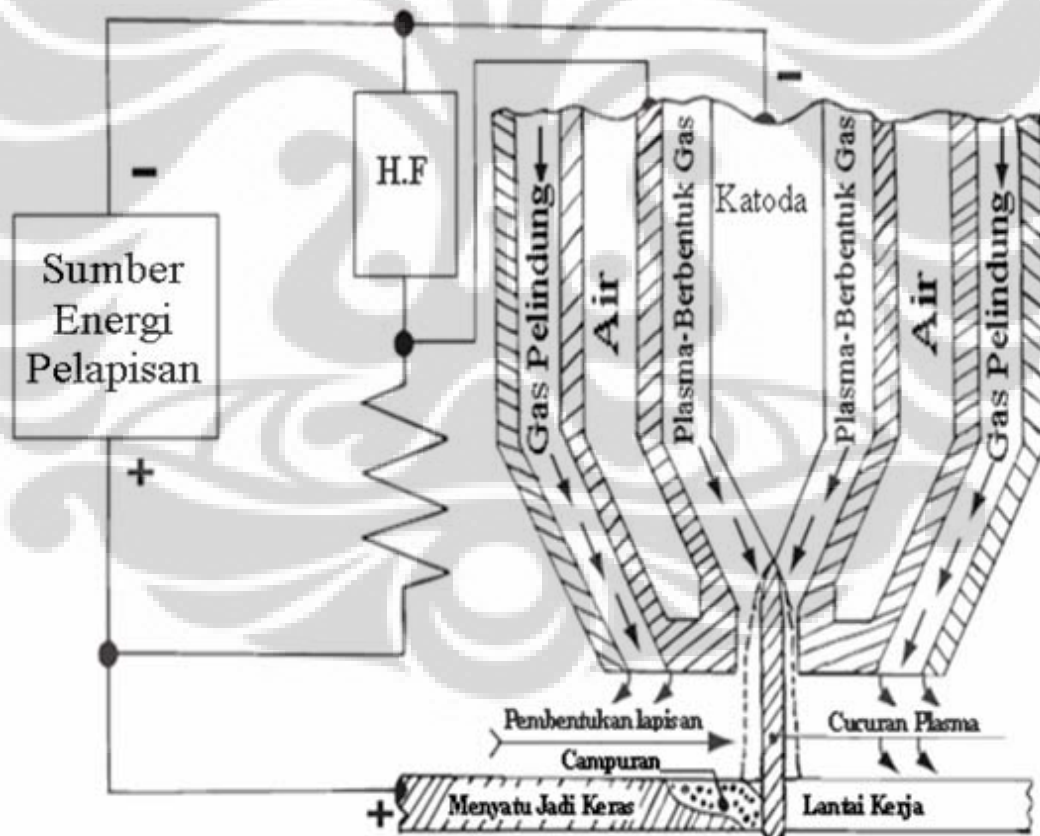
Keuntungan menggunakan *Plasma Transferred Arc-Welding* adalah [7]:

1. Rata-rata lapisan yang dihasilkan sangat tinggi (lebih dari 15 Kg/Jam)
2. Efisiensi dari lapisan sangat baik (sekitar 85%)
3. *Base metal* melarut kemungkinannya kecil (kurang dari 10%)

Tingkat pelarutan terhadap *substrate* bergantung dari jenis, massa dan standar pelapisan *substrate*. Hal ini merupakan cara untuk menjaga sifat dari pencampuran material. Dan dengan sifat melarutkan terhadap *substratenya* sangat rendah secara ekonomi hal ini dapat menguntungkan.

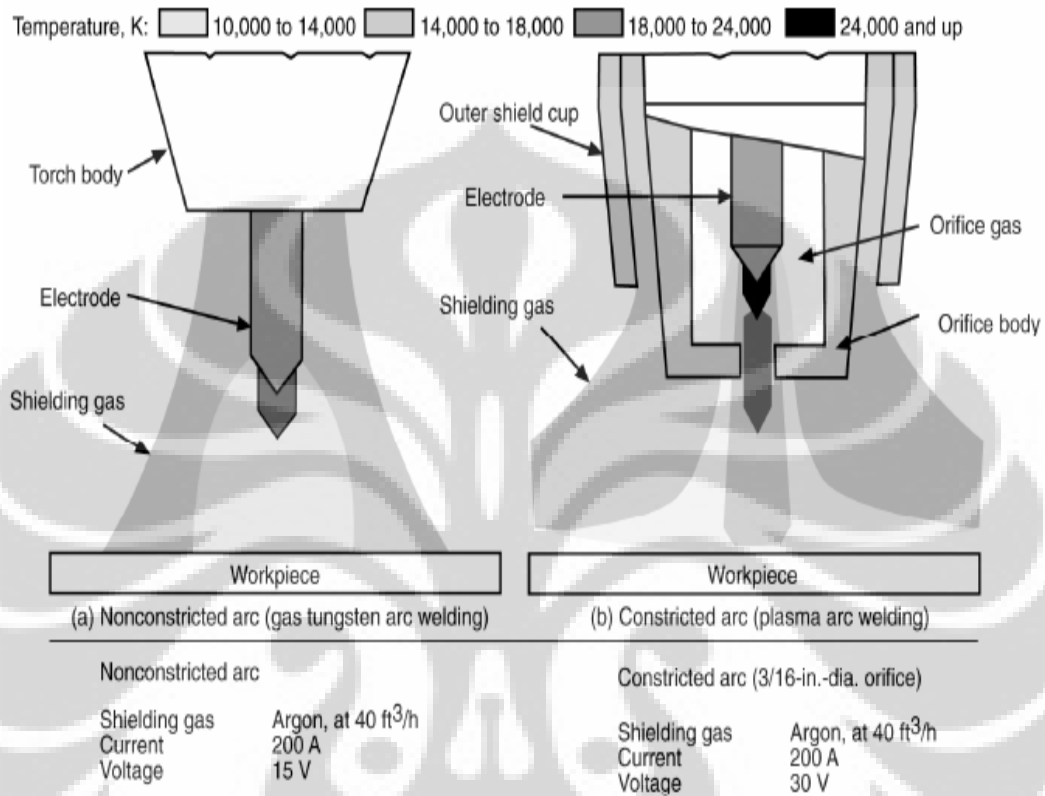
Dengan *Plasma Transferred Arc-Welding* dapat juga menentukan sifat dari lapisan. Hal ini karena *Plasma Transferred Arc-Welding* menggunakan campuran bubuk, karena itu biasanya sifat material yang diharapkan terpenuhi relatif mudah. Secara umum, campuran material matrik digunakan untuk pelindung. Material matrik yang biasa digunakan adalah campuran nikel dan tungsten karbida sebagai bahan campuran untuk membawa material matrik [6]. Ukuran kualitas dan sifat dari tungsten karbida mempunyai sifat yang unik, dimana ukurannya dapat lebih spesifik digunakan.

Skema sederhana cara kerja *Plasma Arc-Welding* diilustrasikan oleh Gambar 2.3 berikut ini [8]:



Gambar 2.3 Skema *Plasma Arc-Welding*. Cara kerja suluh pada peralatan *plasma arc-welding* lapisan yang terbentuk berasal dari cururan plasma pada lantai kerja, karena alat ini menggunakan suhu yang sangat tinggi maka untuk melindungi material bubuk dari pengaruh udara luar digunakan gas Argon sebagai pelindung plasma. Katoda berada pada suluh dan anodanya adalah *substrate* yang akan dilapisi.

Jika dibandingkan desain suluh *Plasma Transferred Arc-Welding* (PTAW) dari jenis yang sama yaitu *Gas Tungsten Arc-Welding* (GTAW) seperti Gambar 2.4.

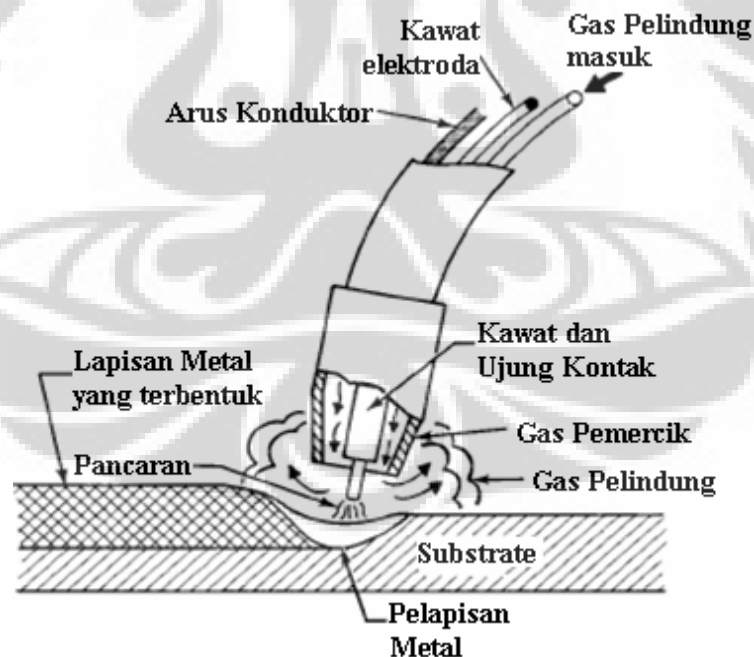


Gambar 2.4 Perbandingan desain suluh *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) dengan *Plasma Transferred Arc welding* (PTAW) dilihat dari bentuk gas, suhu, arus dan tegangannya. Berdasarkan suhu yang dihasilkan pada gambar suhu yang dihasilkan oleh PTAW memiliki suhu lebih tinggi sampai 24.000 °K dan tegangan yang dipakai 30V. Perbedaan yang jelas tampak pada gas pelindung yang dihasilkan dimana pada GTAW plasma pembawa partikel dilingkupi gas pelindung tanpa adanya pemisahan gas pelindung seperti pada PTAW. (Dari: Gandy, D. W. Frederick, G. *Overview of Hot Section Component Repair Methods*. EPRI RRAC Charlotte, North Carolina) [9].

Diagram perbedaan *Plasma Transferred Arc welding* (PTAW) dengan *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) adalah pada elektroda yang dihasilkan. Pada suluh PTAW dihasilkan dua gas pelindung yang memisah, dimana gas tersebut melingkupi elektroda yang menghasilkan pancaran plasma sangat panas. Gas bagian luar melindungi lapisan yang terbentuk dari kontaminasi udara luar, yang dapat mengganggu kemurnian dari proses pelapisan karena perubahan temperatur.

Gas pelindung yang biasanya dipakai adalah Argon dan Helium atau dengan Argon dan Hydrogen. PTAW merupakan pengembangan dari GTAW.

Selain PTAW dan GTAW jenis *Plasma Arc-Welding* lainnya adalah *Gas Metal Arc-Welding* (GMAW). Material yang digunakannya sebagai bahan pelapisan adalah kawat. Kawat difungsikan sebagai elektroda yang disalurkan juga bersama gas pelindung pada pancaran GMAW. Sumber tenaga mengatur kecepatan kawat ketika memasuki suluh pelapisan dan tempat berhenti elektroda. Sumber tenaga mengirimkan daya listrik pada elektroda dan rantai kerja untuk menghasilkan busur lingkaran. Mekanisme kerja yang dilakukan oleh suluh pengelasan digambarkan oleh Gambar 2.5 skema suluh GMAW. Gas pelindung dimasukan bersamaan dengan kawat pelapis sebagai elektroda sedangkan *substrate* sebagai katoda. Gas pemercik memicu terbentuknya gas pelindung berupa plasma, terbentuk lapisan oleh kawat yang dicairkan dipermukaan *substrate*.



Gambar 2.5 Skema suluh *Gas Metal Arc-Welding* (GMAW). Gas pelindung dimasukan bersamaan dengan kawat pelapis sebagai elektroda sedangkan *substrate* sebagai katoda. Gas pemercik memicu terbentuknya gas pelindung berupa plasma, terbentuk lapisan oleh kawat yang dicairkan dipermukaan *substrate* [10].



### 2.1.1.2 High Velocity Oxy/Fuel (HVOF)

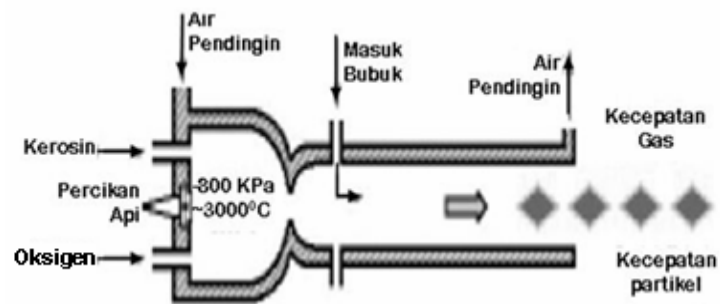
*High Velocity Oxy/Fuel* (HVOF) adalah semprotan (*spray*) dingin dengan proses thermal *spray* dengan menggunakan tekanan gas tinggi dan dengan kecepatan sangat tinggi untuk menghasilkan lapisan yang sangat padat.



Gambar 2.6 Proses *High Velocity Oxy/Fuel* (HVOF). Plasma pembawa partikel bubuk yang dihasilkan tampak berwarna putih yang berasal dari suluh HVOF ketika pelapisan sedang berlangsung.

Sistem yang digunakan HVOF melakukan pembakaran di dalam ruang dimana campuran bahan bakar (gas atau cairan) dan oksigen sebagai pemicu pembakaran. Hasil yang diakibatkan pembakaran mengalami perkembangan melarut di dalam pipa dan dibawa dengan kecepatan supersonic membentuk formasi seperti intan ketika keluar dari laras (Gambar 2.6). Campuran bubuk berada pada ruang panas gas yang mengembang ke arah *substrate*. Jarak ikatannya dapat mencapai 70 Mpa, bagaimana pun tebal lapisannya dibatasi normal kurang dari 1 mm.

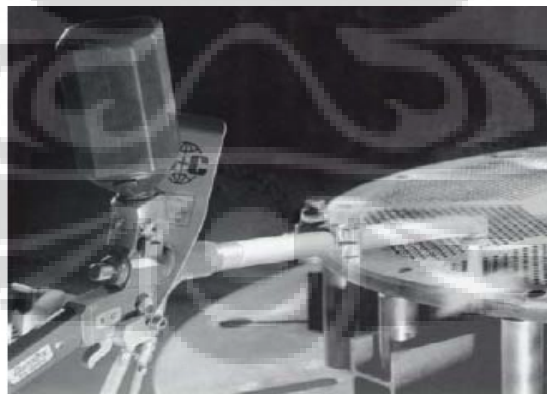
Cara kerja HVOF secara sederhana diilustrasikan oleh Gambar 2.7 [6]. Pada alat ini air selalu dialirkan untuk melindungi suluh. Bubuk yang dimasukkan akan dibawa oleh gas yang berasal dari bahan bakar, partikel bubuk yang dimasukkan tersebut bergerak terbawa bersama dengan gas yang keluar dari suluh.



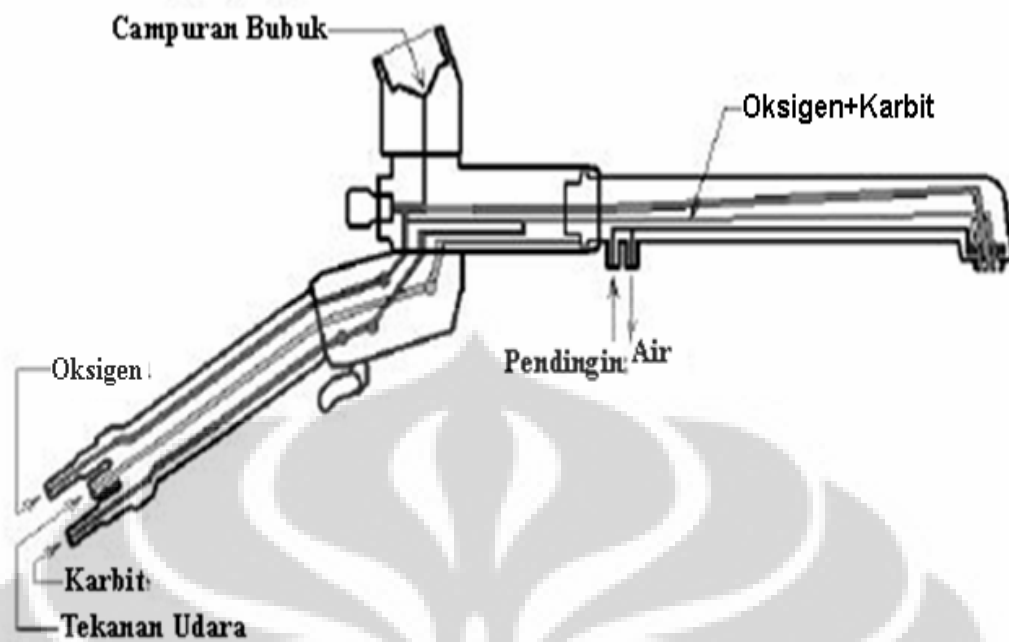
Gambar 2.7 Skema Pengoprasian suluh Gun HVOF. Pada alat ini air selalu dialirkan untuk melindungi suluh. Bubuk yang masuk akan dibawa oleh gas yang berasal dari bahan bakar, partikel tersebut bergerak terbawa bersama dengan kecepatan gas.

### 2.1.1.3 *Spray Fusion (FS)*

Proses *Spray Fusion Brazing* diilustrasikan oleh Gambar 2.8, campuran bubuk dileburkan di dalam nyala api berenergi tinggi (sekitar 80 KW), bersama pancaran sumbu material pelapis terkumpul di *substrate* membentuk sebuah homogenitas ikatan pada lapisan dengan sangat baik [6].



Gambar 2.8 Pengoprasian permukaan suluh *Spray Fusion*. Tabung bagian suluh merupakan tempat pencampuran material bubuk yang dibawa oleh plasma (berwarna putih) untuk membentuk partikel yang menempel pada *substrate*.



Gambar 2.9 Skema suluh *Spray Fusion* (SF). Cara kerja SF tekanan udara diberikan untuk membawa oksigen dan karbit sebagai bahan pembakaran, campuran bubuk terbawa secara bersamaan dengan gas berbentuk plasma. Sehingga terjadi penyatuan partikel pada permukaan *substrate*.

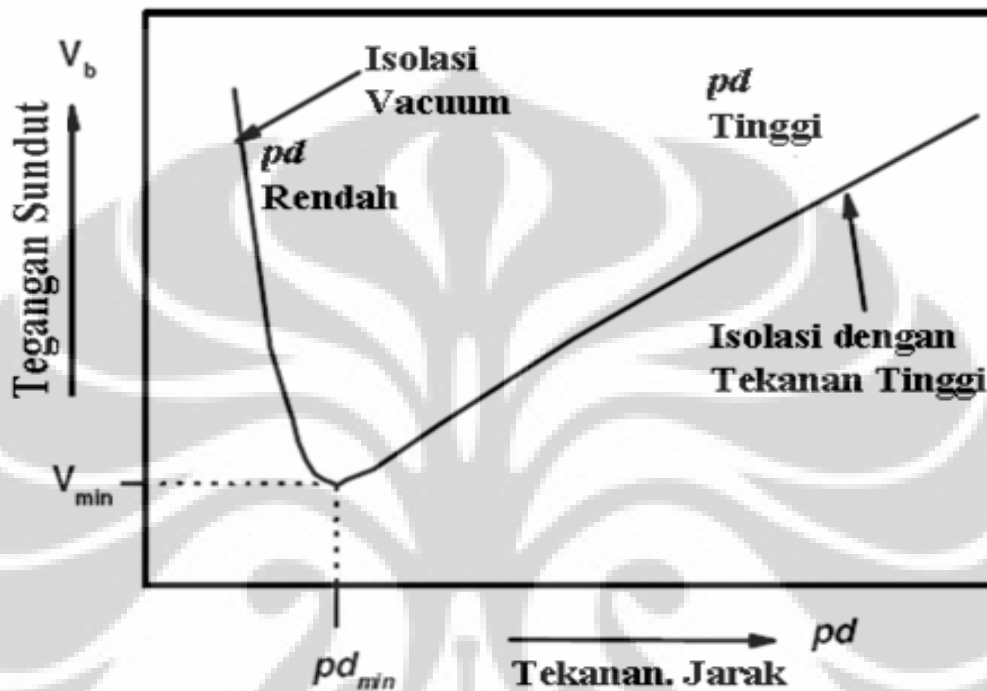
Cara kerja suluh SF merupakan proses semprot plasma dengan tekanan rendah. Tekanan udara diberikan untuk membawa oksigen dan karbit sebagai bahan pembakaran, campuran bubuk terbawa secara bersamaan dengan gas berbentuk plasma. Sehingga terjadi penyatuan partikel pada permukaan *substrate*.

Laju bubuk rata-rata SF 9 kg/jam dengan efisiensi laju bubuk di atas 95% dipakai pada bidang industri [11]. Karena itulah proses pembakaran dijaga peleburannya pada temperatur maksimum 1000 °C, dan disesuaikan dengan pencampuran bubuk yang melarut di sepanjang permukaan *base metal*. Maka sedikit sekali bahkan tidak terjadi pelarutan dipermukaan *substrate*.

### 2.1.2 Kurva Paschen

Kurva paschen adalah kurva hubungan antara tegangan dengan tekanan dan jarak.  $p$  adalah tekanan dan  $d$  adalah jarak, yang merupakan ukuran dari nilai tumbukan

elektron yang membuat persimpangan. Tekanan akan menggantikan tekanan gas, yang mana mempengaruhi temperatur dan juga tekanan pada gas. Hukum Paschen menyatakan terjadinya pembelokan mekanisme yang terjadi dalam gas, terjadi karena elektron kedua dalam gas.



Gambar 2.10 Kurva Paschen,  $V$  merupakan tegangan,  $P$  menunjukkan tekanan dan  $d$  jarak, menunjukkan hubungan antara tegangan dengan tekanan dan jarak. Pada tegangan minimal, tekanan dan jarak minimal batas dimana merupakan batas yang paling baik pada hubungan ketiganya dalam kinerja maksimal. (Dari: Rahaman, Hasibur. 2007. *Investigation Of a High-Power, High-Pressure Spark Gap Switch with High Repetition Rate*. Fakultäten der Universität Erlangen.)

Pada Kurva Paschen,  $V$  merupakan tegangan,  $p$  menunjukkan tekanan dan  $d$  jarak, Secara umum hubungan sederhana antara  $V_b$  dan  $pd$  digambarkan Gambar 2.10 [12], perubahan tegangan  $V_b$  berakibat meningkatnya nilai  $pd$  pada ruang vacuum, meningkatnya  $V_b$  karena banyak terjadi tumbukan (gas naik atau tekanan meningkat).  $V_b$  juga meningkat pada ruang vacuum (Gas turun atau tekanan rendah). Pada tegangan minimal, tekanan dan jarak minimal batas dimana merupakan batas yang paling baik pada hubungan ketiganya dalam kinerja maksimal.

Tegangan (*voltage*) adalah tekanan listrik karena arus dari laju konduktor listrik. Gaya elektromagnetik atau tegangan yang datang pada pelapisan dari sumber tenaga atau tekanan yang dibuat karena mengalami laju konduktor. Tegangan berbeda dengan laju. Tegangan adalah beda potensial. Beda potensial pada sumber tenaga pelapisan (*welding*) karena laju elektron ke seluruh sirkuit. Nama lain dari laju arus listrik yaitu Ampere [13].

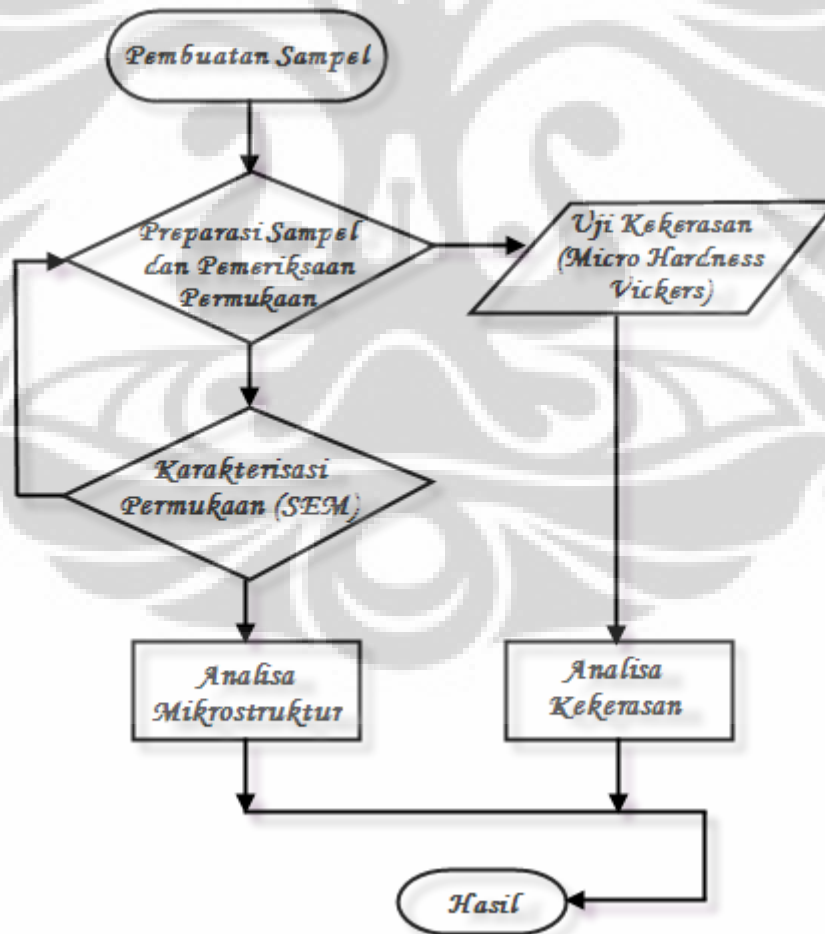


### BAB 3 METODE EKSPERIMEN

Pada penelitian ini karakterisasi dilakukan pada material yang melapisi substrate. Dari penelitian ini diharapkan diperoleh mikrostruktur yang optimal dengan tingkat kekerasan terbaik dari hasil variasi laju bubuk (*flowrate*) dan kuat arus listrik.

#### 3.1 Langkah Penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan antara lain: Preparasi sampel, analisa sampel dan skema peralatan yang akan digunakan. Yang diilustrasikan oleh Gambar 3.1 diagram berikut ini:



Gambar. 3.1 Diagram alur penelitian.

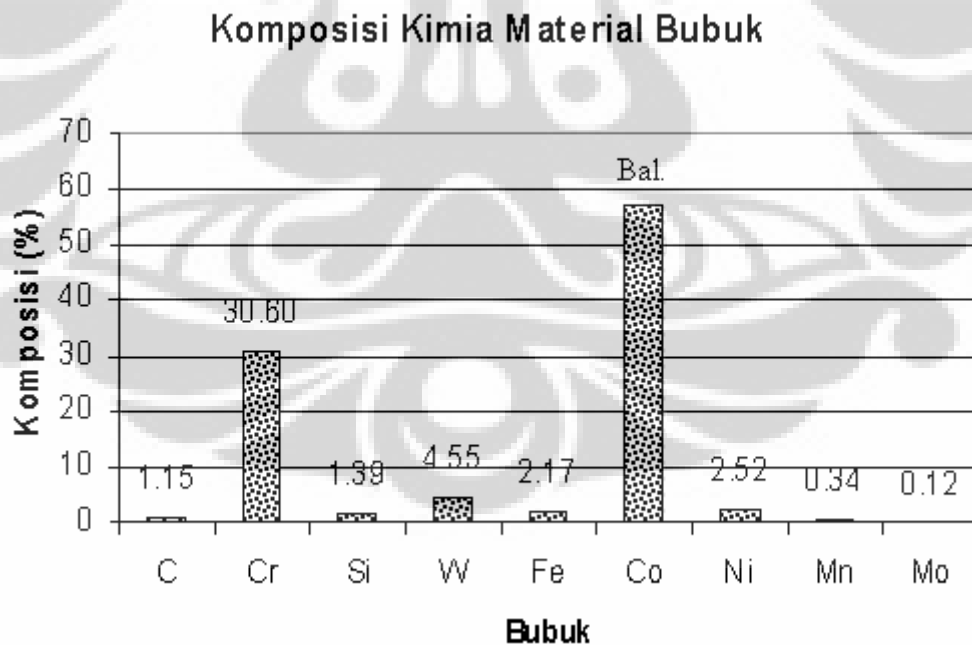
### 3.1.1 Persiapan Penelitian

Sampel untuk penelitian ini dibuat dengan proses pelapisan pada substrata baja. Proses pelapisan ini dilakukan pada mesin pelapis menggunakan teknik PTA (*Plasma Transferred Arc*) dengan merek EUTRONIC GAP System 375. Pada alat ini material yang digunakan berupa material bubuk yang dikenal dengan nama Stellite 6, adapun jenis bubuk yang digunakan dengan komposisi kimia sebagai berikut:

**Tabel 3.1 Nilai komposisi kimia, persentase berat**

C	Cr	Si	W	Fe	Co	Ni	Mn	Mo
1.15	30.6	1.39	4.55	2.17	Bal.	2.52	0.34	0.12

Untuk dapat lebih mudah dipahami komposisi kimia material bubuk yang digunakan seperti ditunjukkan Gambar 3.2 komposisi kimia material bubuk.



Gambar 3.2 Komposisi Kimia Material Bubuk. Material bubuk ini didominasi oleh bubuk Cobalt dan Chromium masing-masing  $\pm 60\%$  dan  $30\%$ . Sedangkan bubuk lain yaitu Karbon, Silika, Tungsten (Wolfram), Besi, Nikel, Manganese dan Molybdenum kurang dari  $13\%$ .

*Coating* diperoleh dengan mengkombinasikan kuat arus masing-masing 100 A dan 125 A sedangkan *flowrate* di kombinasikan antara lain 1.6, 1.8 dan 2.2 seperti di tunjukan Tabel 3.2 variasi arus listrik dan laju bubuk.

**Tabel 3.2 Variasi Arus dan Laju Bubuk  
(Flowrate)**

No.	Kode sampel	Kuat Arus (A)	Flowrate (lb/h)	Flowrate (kg/jam)
1	A1	100	1,6	0,725
2	A2	100	1,8	0,816
3	A3	100	2,2	1,000
4	B1	125	1,6	0,725
5	B2	125	1,8	0,816
6	B3	125	2,2	1,000

Sampel diperoleh dari hasil pekerjaan *coating* dengan menggunakan peralatan *Plasma Transferred Arc-Welding* dengan merek EUTRONIC GAP System 375. Gambar 3.3 merupakan foto sampel dari hasil variasi kuat arus dan laju bubuk, didapatkan 6 sampel.



Gambar 3.3 Sampel yang diperoleh dari pekerjaan *coating* dengan menggunakan *Plasma Transferred Arc-Welding*. Pada variasi arus 125 A dan 100 A dengan laju bubuk 1.6, 1.8 dan 2.2 lb/h.



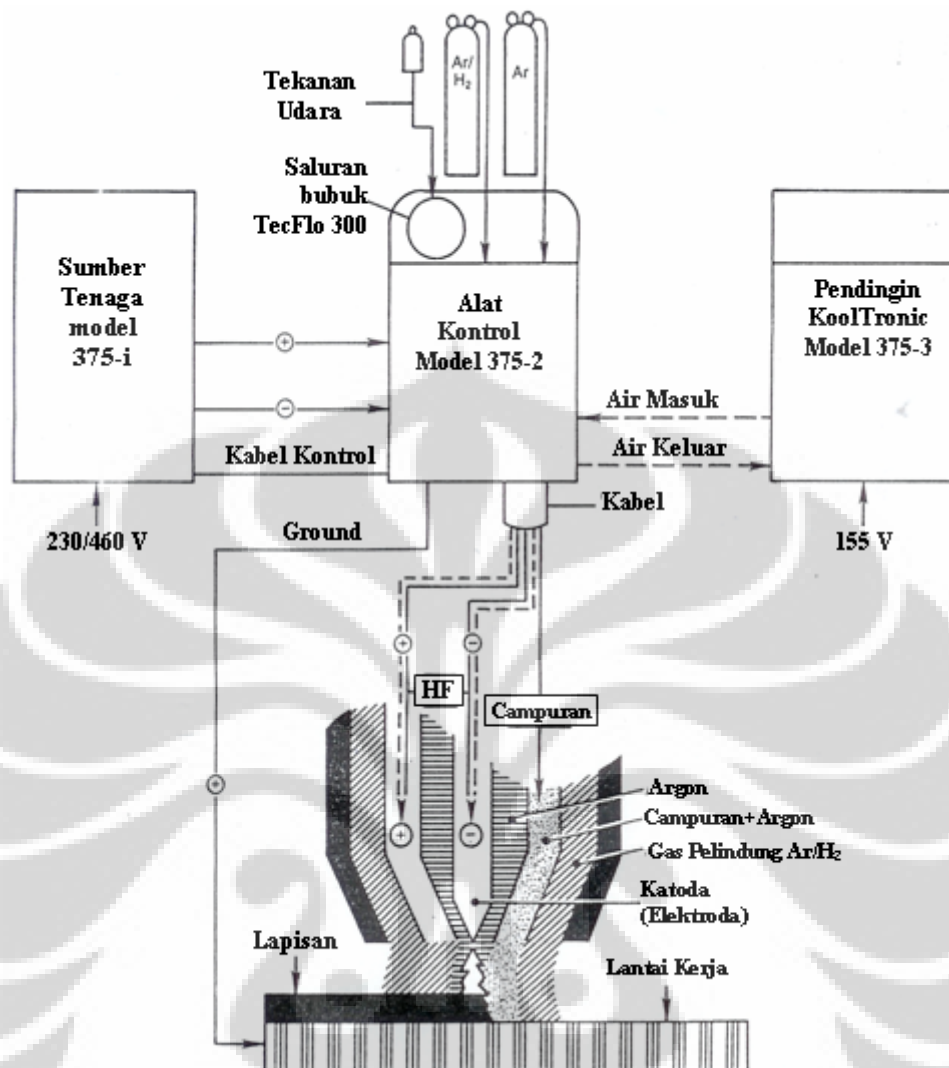
### 3.1.2 Analisa Sampel

Sampel yang dibuat kemudian dianalisa dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) yang sebelumnya dianalisa dengan menggunakan mikroskop optik sebagai analisa permulaan. Setelah dilakukan *mounting, grinding, polishing, etching* [14] dan uji kekerasan dengan menggunakan *Vickers Hardness Test*. Dengan persamaan O.K Rienger didapatkan ukuran rapat batas butir dan ukuran butir (*grain size*) dengan menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD).

## 3.2 Prinsip dan Skema Peralatan yang Digunakan

### 3.2.1 Plasma Transfer Arc-Welding (PTAW)

Peralatan yang digunakan untuk pembuatan sampel yaitu *Plasma Transfer Arc-Welding* (PTAW). Skema peralatan yang digunakan untuk mendapatkan sample dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut:



Gambar 3.4 Peralatan PTA EUTRONIC GAP System 37. Proses *Plasma Transferred Arc-Welding* (PTAW) Gas pembawa yang digunakan yaitu gas Argon, sedangkan untuk melindungi partikel yang dibawa plasma dari pengaruh udara luar digunakan Ar/H<sub>2</sub>. Suluh berfungsi sebagai katoda dan *Substrate* berfungsi sebagai anoda, dalam peristiwa ini anoda bersifat elektroda positif sehingga menarik ion ke arah anoda hingga terjadi reaksi kimia terbentuk lapisan dipermukaan *substrate*. Tekanan udara berfungsi untuk mengalirkan bubuk yang dimasukkan ke dalam TecFlo 300. Kemudian laju bubuk dikontrol dengan menggunakan alat kontrol model 375-2

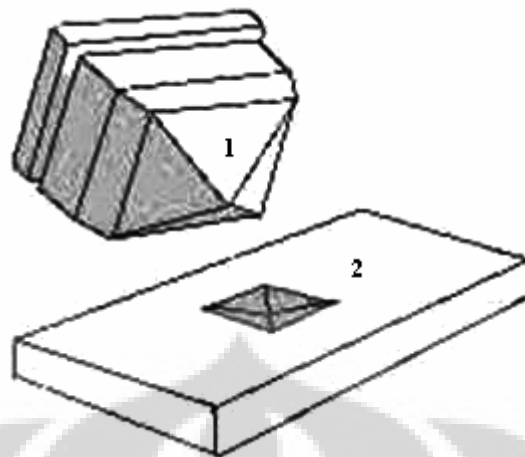
Proses *Plasma Transferred Arc-Welding* (PTAW), Tekanan udara berfungsi untuk mengalirkan bubuk yang dimasukkan ke dalam TecFlo 300. Kemudian laju bubuk dikontrol dengan menggunakan alat kontrol model 375-2. Air selalu dialirkan dalam alat pengontrol untuk pendingin. Alat kontrol difungsikan dengan menggunakan sumber tenaga selanjutnya bubuk akan dibawa oleh gas pembawa,

gas pembawa yang digunakan yaitu gas Argon. Suluh berfungsi sebagai katoda dan *Substrate* berfungsi sebagai Anoda, dalam peristiwa ini anoda bersifat elektroda positif sehingga menarik ion ke arah anoda hingga terjadi reaksi kimia membentuk lapisan dipermukaan *substrate* berupa genangan. Terjadinya peristiwa ini di dalam ruang yang diselimuti oleh gas pelindung Ar/H<sub>2</sub>.

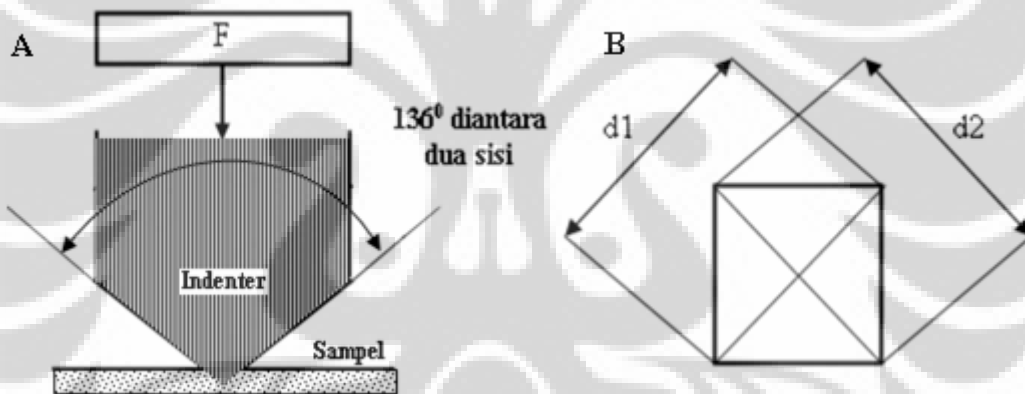
Selama busur las tersebut beroperasi maka akan menyerap udara luar, penyerapan oksigen dan nitrogen akan menyebabkan lapisan menjadi rapuh [15]. Untuk menanggulangi akibat rusaknya reaksi digunakan gas pelindung yang berasal dari metal elektroda yang akan melepaskan sumbu peledak di busur lingkaran membentuk suatu tabir yang akan menstabilkan busur. Gas yang digunakan untuk melindungi partikel yang dibawa plasma dari pengaruh udara luar digunakan Ar/H<sub>2</sub>. Pemilihan voltase dan arus pengelasan yang sesuai tergantung pada ukuran elektroda, ketebalan plat yang sedang dilapisi, posisi pengelasan dan ketrampilan tukang las [15].

### **3.2.2 Microhardness Vickers**

Metoda yang dipakai untuk menentukan kekerasan terdiri dari *indenter* material pengujian berbahan intan, dalam bentuk piramit, yang kedua bagian dasar sisi kanan dan kiri *indenter* membentuk sudut dasarnya 136 derajat, membentuk sudut diantara permukaan benda uji untuk pembebanan dari 1 sampai 100 kgf. Dengan lamanya pembebanan maksimum yang dilakukan 10-15 detik *indenter* memberikan gaya pada permukaan sampel (Gambar 3.5).



Gambar 3.5 Skema *Indenter* Microhardness Vickers [16]. 1) Indenter dengan bentuk piramit yang dibuat dari intan. 2) Sampel yang di uji kekerasannya meninggalkan jejak cekungan.



Gambar 3.6 Skema tampak potongan *Indenter* Microhardness Vickers.

- A) Tampak potongan samping. Beban indenter menekan sampel setelah diberikan gaya pada *indenter*. Sudut yang dibentuk antara kedua sisi kepala indenter  $136^{\circ}$ .
- B) Skema jejak yang ditinggalkan oleh Microhardness *Vickers* berupa lekukan pada permukaan sampel dilihat dari tampak atas. Dengan meninggalkan jejak berbentuk persegi. Sehingga dapat ditentukan besarnya diagonal-diagonal jejaknya.

Setelah Beban diangkat dari benda uji, *indenter* meninggalkan jejak berbentuk cekungan jika dilihat dari tampak atas bentuk jejak persegi. Dua diagonal jejak yang ditinggalkan *indenter* dipermukaan material setelah beban diangkat dihitung menggunakan mikroskop untuk menentukan rata-rata diagonalnya di area lekukan permukaan *indenter* yang dihitung (Gambar 3.6) [17].

Untuk menentukan tingkat kekerasan benda uji ditentukan dari jejak indenter yang ditinggalkan dipermukaan material dengan menggunakan persamaan berikut Ini [18]:

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

Dengan besarnya  $\alpha$  adalah  $136^\circ$

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

Maka,

$$HV = 1,854 \frac{F}{d^2} \quad \dots\dots(3.3)$$

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

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

Dimana  $F$  adalah gaya kgf dan HV adalah kekerasan dalam  $\text{kgf/mm}^2$ .

Ketika diagonal rata-rata dari indenter dihitung dengan menggunakan *Microhardness Vickers* dihitung dengan menggunakan formula, tetapi sebaiknya menggunakan konversi dari table. *Microhardness Vickers* dapat mengirimkan laporan sampai 800 HV/10, dimana rata-rata hardness Vickers 800, mampu menggunakan 10 kgf gaya.

Untuk memahami kekerasan material, pada umumnya pengaturan pembebanan secara mudah dilakukan dari nilai *indenter*, dimana kemampuan melakukan metode test kekerasan lebih dari perubahan yang terjadi pada sekala. Keuntungan dari Vickers *indenter* dapat digunakan untuk semua jenis material dengan berbagai perlakuan permukaan. Meskipun begitu mesin Vickers tetap cermat dapat menyesuaikan diri dan amat tepat untuk pengujian lunak dan pengujian keras pada material. Untuk pengujian lunak mesin Vickers dapat berdiri sendiri, hal ini menjadikan mesin Vickers lebih mahal dari mesin Brinell atau Rockwell.

### 3.3 Material

Bahan cobalt dikenal mempunyai fase allotropic yaitu hcp (*hexagonal close packed*) dan fcc (*face center cubic*) baik secara teori [20] maupun eksperimen [21], dimana fase Co\_hcp lebih stabil pada suhu rendah sampai suhu ruang atau di bawah 417<sup>0</sup>C, sedangkan fase Co\_fcc lebih stabil pada suhu tinggi di atas 417<sup>0</sup>C sampai 1493<sup>0</sup>C.

Cobalt digunakan untuk memanfaatkan sifat magnet, tahan terhadap korosi, ketangguhan, kekuatan terhadap suhu tinggi. Dengan kerapatan dari cobalt 8.8g/cm<sup>2</sup> [22]. Nilai sifat fisik dan mekanik campuran material Co-Cr ditampilkan Tabel 3.3 berikut [23]:

**Table 3.3 Sifat fisik dan sifat mekanik campuran Co-Cr.**

Modulus Young, E (Gpa)	Keseimbangan kuat leleh $\sigma_y$ (Mpa)	Kuat Tarik, $\sigma_u$ (Mpa)	Batas ketahanan <sup>a</sup> tegangan, $\Delta\sigma_e/2$ (Mpa)
243	547	1449	207

<sup>a</sup>Definisisi R=-1, R merupakan perbandingan tegangan beban maksimum dan minimum pada siklus regangan.

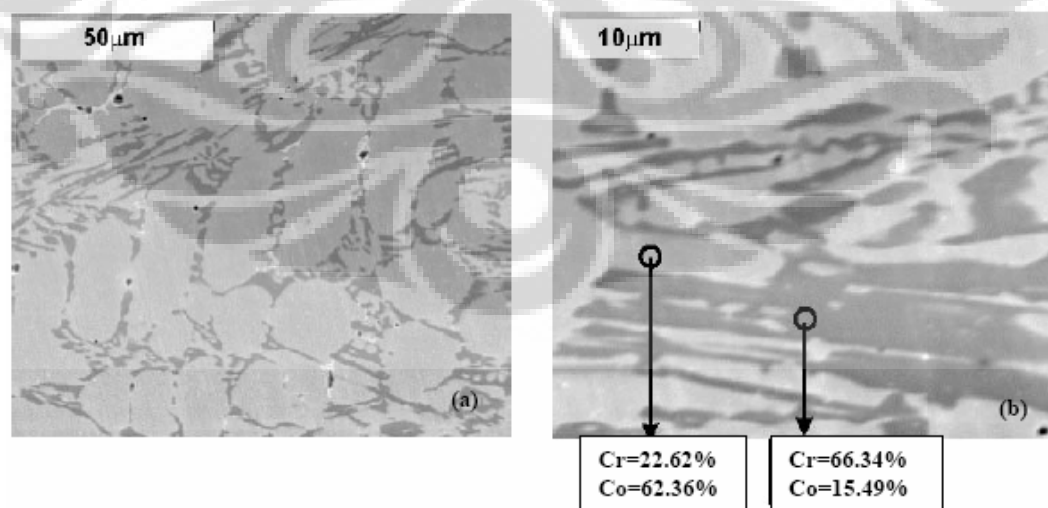
Berdasarkan sifat fisik dan sifat mekanik campuran Cobalt dan Chromium memiliki Modulus Young 243 Gpa, keseimbangan kuat leleh 547 Mpa, kuat tarik 1449 Mpa batas ketahanan terhadap tegangan 207. Campuran cobalt juga memiliki ketangguhan lebih baik jika kita bandingkan dengan campuran material metal lain seperti campuran nikel atau campuran besi.

Untuk dapat membuat material yang tahan terhadap korosi dan memiliki kekuatan dan ketangguhan dapat dibuat dengan melakukan pencampuran metal-metal Cobalt-Nikel-Chromium-Molybdenum dan Titanium [1]. Campuran Nikel seperti Monel dan campuran cobalt seperti Stellite mempunyai sifat kimia yang baik dan tahan terhadap pengikisan [24]. Sebagian besar campuran Cobalt dan Chromium juga memiliki keistimewaan sifat kimia hubungannya dengan pencampuran. Karena sifat pasif Chromium, campuran Cobalt dan Chromium sebagian besar

lambat dalam mengisi rongga, setelah ditambahkan Titanium campuran jadi sangat baik [25].

Untuk membuat lapisan Cobalt-Chromium memiliki daya tahan, perkiraan komposisi kimianya. Cr~25-30%, Mo=1% max, W=2-15%, C~0.25-3.3%, Fe=3% max, Ni=3% max, Si=2% max, Mn=1% max. Co = rest of balance. Perkiraan komposisi kimia Cobalt-Chromium lapisan tahan terhadap korosi dapat dikombinasikan material: Cr=20-25%, W=2%, Mo=5-10%, Ni=9-35%, Fe=3%, max, C=0.8% max, N=0.1% max, Co = rest of balance. Untuk memperoleh lapisan tahan terhadap Temperatur Cr=20-23%, W=7-15%, Ni=10-22%, Fe=3% max, C=0.1-0.6%, Co = rest of balance [22]. Tetapi berhasil tidaknya pencampuran bubuk metal bergantung pada perlakuan penuh terhadap material-material dan dengan melakukan kombinasi yang tepat juga mempengaruhi karakteristik dari material tersebut.

Material Cobalt-Chromium  $\pm$  60% dan 30% yang dibuat dengan plasma spray dilakukan pengujian *pressurized water reactor* (PWR), diperoleh struktur permukaannya dengan menggunakan SEM setelah dilakukan penghalusan permukaannya ditunjukkan oleh Gambar 3.7 [19] berikut ini:



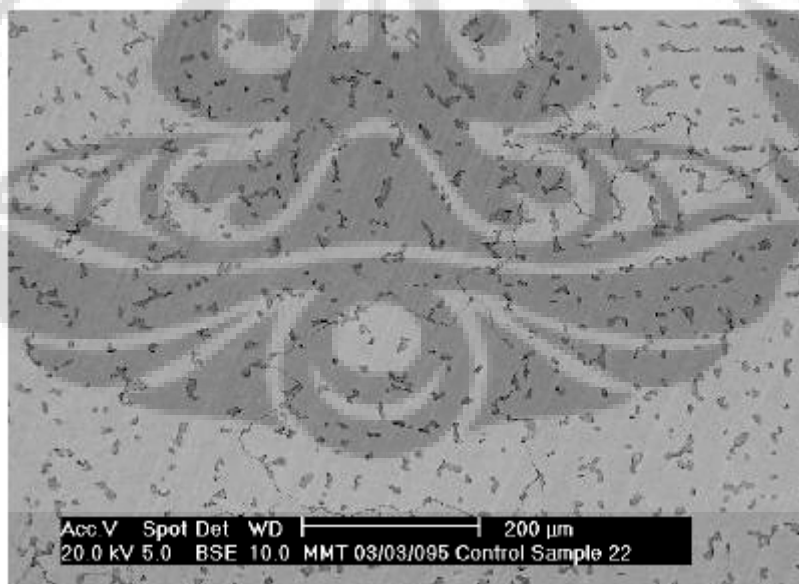
Gambar 3.7 Hasil SEM material Cobalt-Chromium. Dengan XRD dapat diketahui persentase Cobalt dan Chromium. Pada daerah yang gelap didominasi lebih dari 60% Chromium sebagai karbida sedangkan pada daerah yang terang didominasi lebih dari 60% Cobalt yang merupakan matriks.

Dari hasil SEM material Cobalt-Chromium. Dengan XRD dapat diketahui persentase Cobalt dan Chromium yang terdapat pada Gambar 3.7. Pada daerah yang gelap didominasi lebih dari 60% Chromium sebagai karbida sedangkan pada daerah yang terang didominasi lebih dari 60% Cobalt yang merupakan matriks. Seperti ditunjukkan oleh Tabel 3.4 Analisis mikro dari komposisi material Co-Cr.

**Tabel 3.4 Analisis Mikro dari Komposisi Material Co-Cr [19].**

Element, wt. %	C	Co	Cr	W	O	Fe	Ni	Si	Total
<b>Region</b>									
General analysis		59.3	31	0.66	1.40	4.61	2.41	0.53	100
Dark (carbide)		15.64	67.60	2.87	11.03	1.99	0.32	0.55	100
Light (matrix)		62.26	21.81	1.21	4.69	4.99	2.93	2.06	100
Specified conditions	0.9 – 1.4	Balance	26.0-32.0	3 - 6	-	≤ 3.0	≤ 3.0	≤ 2.0	-

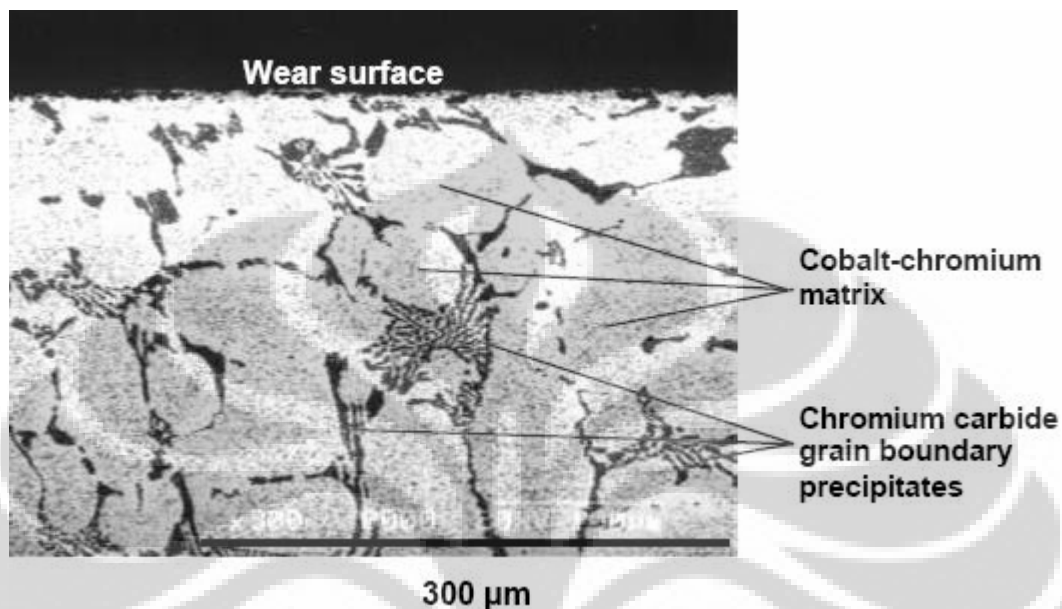
Struktur permukaan lainnya yang dihasilkan dari komposisi material bubuk Cobalt, Chromium dan Molybdenum masing-masing  $\pm 59\%$ ,  $30\%$  dan  $7\%$  sisanya material bubuk lain, dengan menggunakan *Plasma Spray* diperoleh struktur permukaan seperti ditunjukkan Gambar 3.8 [26] berikut ini:



Gambar 3.8 Struktur permukaan yang dihasilkan dari komposisi material bubuk Cobalt, Chromium dan Molybdenum masing-masing  $\pm 59\%$ ,  $30\%$  dan  $7\%$  sisanya material bubuk lain [26].



Pada Gambar 3.8 struktur CoCrMo dengan menggunakan Plasma Spray dipengaruhi oleh: a) Metoda pembuatan materialnya, b) Kandungan Carbon (pembentukan Karbida) dan; c) Proses pemanasannya [26].



Gambar 3.9 Struktur permukaan Material Cobalt-Chromium  $\pm$  60% dan 30%. Cobalt Chromium sebagai matrik dan lapisan endapan batas butir Chromium Carbide. (dari: Inman Ian A. 2003. *Reversal of Sample and Countarfac- Stellite 6 Versus in Coloy MA956 at 750°C and 0,314 m/s*).

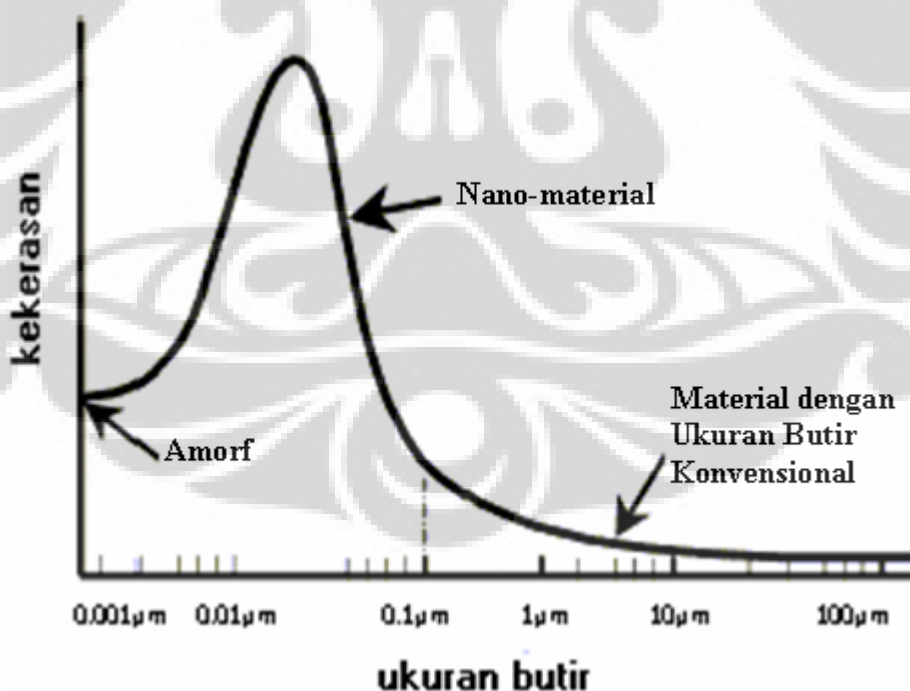
Gambar 3.9 Merupakan Struktur permukaan Material Cobalt-Chromium  $\pm$  60% dan 30%. Cobalt-Chromium sebagai matrik dan lapisan endapan batas butir Chromium Carbide. Daerah yang hitam mengelilingi daerah yang lebih terang disebut batas butir yaitu Chromium Karbida. Panjang garis yang ditunjukkan pada bidang gambar sebesar 300  $\mu$ m.

### 3.4 Ukuran Butir

Mikrostruktur dari material-material berfase tunggal dapat diubah dengan melakukan pengaturan ukuran, bentuk, dan orientasi dari butir-butirnya. Tetapi hal ini tidak selalu benar, karena bentuk dan ukuran butir merupakan hasil dari pertumbuhan butir dan bergantung pada orientasi kristalin dari butir ketika terjadi pertumbuhan.

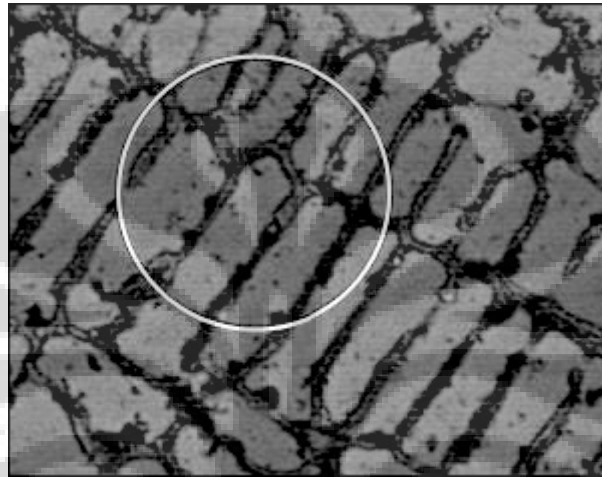
Dari banyaknya butir logam-logam berfase tunggal hanya sedikit yang berbentuk bulat, karena butir harus mengisi seluruh ruang dan meminimalkan daerah batas butir. Butir pada logam pada umumnya berorientasi acak.

Karena sifat dari butiran logam mengisi seluruh ruang dan meminimalkan daerah batas butir, maka terdapat hubungan antara ukuran butir dengan kekerasan (Gambar 3.10). Untuk menyatakan hubungan ukuran butir dengan kekerasan. Tampak dua daerah yaitu daerah ukuran mikro dan daerah ukuran nanometer. Pada daerah dimana ukuran butir dalam orde nanometer berlaku hubungan Hall-Petch yang menyatakan bahwa kekerasan meningkat sehubungan dengan pengecilan ukuran butir. Sedangkan pada daerah nanometer kekerasan meningkat drastis dan kemudian mencapai maksimum lalu menurun. Daerah dimana kekerasan menurun walaupun ukuran butir semakin kecil berlaku hubungan reverse Hall-Petch. Hal ini disebabkan oleh terlalu kecil ukuran butir sehingga tergelincirnya permukaan butir (*grain boundary sliding*).



Gambar 3.10 Grafik hubungan ukuran butir terhadap kekerasan menunjukkan adanya penurunan kekerasan setelah ukuran butir diperkecil. Material mikro yang terbentuk berada pada tataran ukuran butir konvensional. (dari: Kebamoto. 2006. Kuliah *Nanokomposit*. Jakarta: Departemen Fisika FMIPA Universitas Indonesia)

Daerah batas butir mempengaruhi perilaku material polikristalin seperti difusi, nukleasi, kekuatan, korosi, dan lain-lain. Walaupun demikian besar butir juga penting karena berbanding terbalik dengan batas butir. Untuk mengetahui batas butir dapat ditentukan dengan meletakkan suatu garis acak dengan panjang yang sudah diketahui pada permukaan mikrostruktur (Gambar 3.11)



Gambar 3.11 Perhitungan daerah batas butir pada perbesaran mikrostruktur 500 kali. garis berbentuk lingkaran diletakkan secara acak dipermukaan mikro struktur untuk mendapatkan jumlah rata-rata titik perpotongan mikrostruktur dengan garis ( $\bar{n}$ ), pada gambar n diperoleh 11.

Dengan meletakkan garis berupa lingkaran pada permukaan mikrostruktur hasil analisa mikroskop optik, garis dikalibrasi dengan perbesaran menggunakan persamaan 3.5, dimana  $P_L$  merupakan rapat batas butir dalam per mm,  $\bar{n}$  jumlah rata-rata titik perpotongan dengan mikrostruktur dan  $d$  diameter garis.

$$P_L = \bar{n} / \left( \frac{\pi \cdot d}{\text{Perbesaran}} \right) \quad \dots\dots\dots(3.5)$$

Panjang busur rata-rata ( $\bar{L}$ ) merupakan indeks dari ukuran butir dimana persamaannya [26]:

$$\bar{L} = \frac{1}{P_L} \quad \dots\dots\dots(3.6)$$

Daerah batas butir mempengaruhi sifat material, maka nilai daerah batas butir persatuan Volume  $S_V$  adalah:

$$S_V = 2P_L \quad \dots\dots\dots(3.7)$$

Pada suhu normal, batas butir menghalangi slip. Oleh karena itu, material berbutir halus lebih kuat dari material berbutir kasar. Pada suhu tinggi, batas butir dapat penampung dislokasi. Hasilnya, pada suhu tinggi situasi terbalik, dan terjadi *creep* [27].

Untuk menentukan persamaan ukuran butir menggunakan metoda Warren-Averbach [28]. 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:

$$\langle L \rangle_{VOL} = \frac{K\lambda}{B_{1/2} \cos \theta_B} \quad \dots\dots\dots(3.8)$$

dimana  $\langle L \rangle_{VOL}$  adalah ukuran volume berbobot,  $K$  adalah konstanta Scherrer,  $\theta_B$  adalah sudut Bragg,  $\lambda$  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:

$$B_{1/2}^2 = B_{obs}^2 - B_m^2 \quad \dots\dots\dots(3.9)$$

dimana  $B_{obs}$  adalah lebar puncak yang diukur dan  $B_m$  adalah pelebaran paruh disebabkan mesin.

## **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

Penelitian dilakukan di PT. Teknokraft Asia Group menggunakan *Plasma Transferred Arc-Welding*. Variasi yang dilakukan adalah variasi arus listrik dan laju bubuk (*flowrate*). Hasil dari penelitian ini terdiri dari dua yaitu: pertama adalah ukuran partikel dengan SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan kekerasan menggunakan *Microhardness Vickers*.

### **4.1 Teknis Penelitian**

*Plasma Transferred Arc-Welding* (PTAW) yang digunakan adalah EUTRONIC GAP SYSTEM 375. Pilihan variasi arus 100 dan 125 amper dengan variasi laju bubuk yang digunakan 1.6, 1.8 dan 2.2 lb/h yang merupakan nilai dari laju bubuk berdasarkan yang tertera pada alat pengontrol, dimana alat ini merupakan perangkat industri.

Laju bubuk (*Powder Feed Rate*), divariasikan dari 1.6, 1.8 dan 2.2 lb/h Nilai ini merupakan nilai tertera pada monitor laju bubuk (*Powder Rate Monitor [PRM]*). Adapun konversinya ke dalam dimensi fisis sesuai dengan perbandingan yang tertera pada *data-sheet* EUTECTIC GAP SYSTEM 375. Sesuai dengan Tabel 4.1 maka 2.2 pada PRM adalah sebanding dengan 2,017 hingga 2,567 pon per jam atau sekitar 1,008 hingga 1,283 kilogram per jam. Berikut adalah Tabel 4.1 konversi dari PRM ke dalam dimensi fisis.

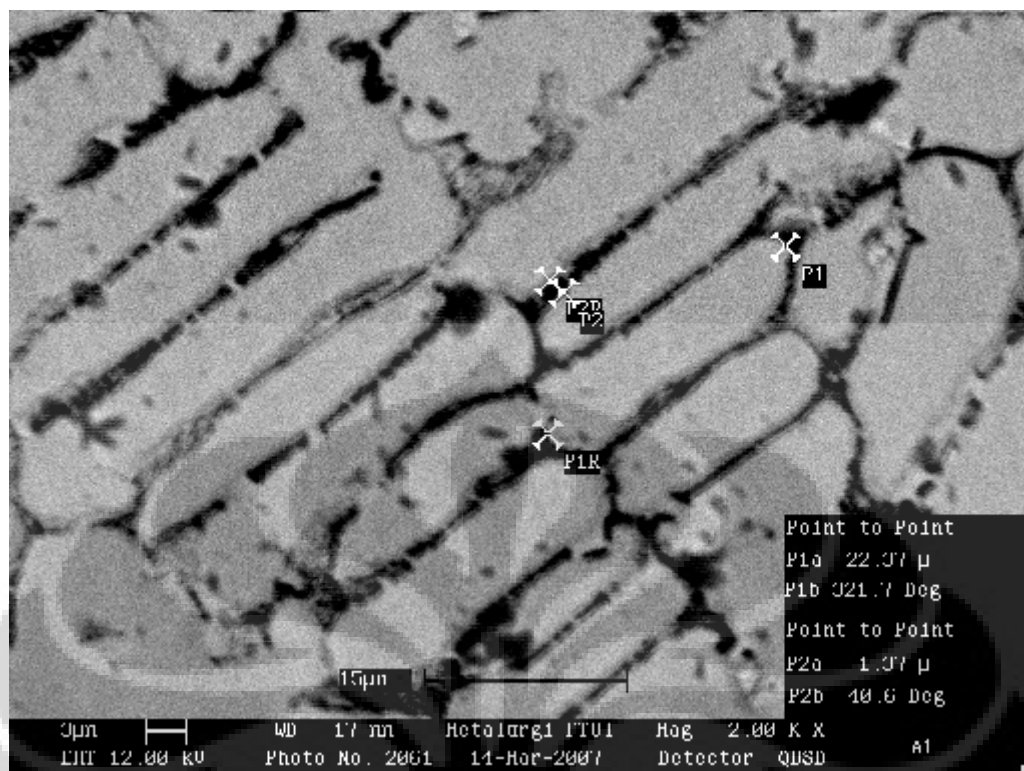
**Tabel 4.1 Konversi Laju Bubuk yang Tertera pada Monitor**

Nilai PRM	Laju Minimum		Laju Maksimum	
	lb/h	kg/jam	lb/h	kg/jam
3	2,750	1,375	3,500	1,750
2.9	2,658	1,329	3,383	1,692
2.8	2,567	1,283	3,267	1,633
2.7	2,475	1,238	3,150	1,575
2.6	2,383	1,192	3,033	1,517
2.5	2,292	1,146	2,917	1,458
2.4	2,200	1,100	2,800	1,400
2.3	2,108	1,054	2,683	1,342
2.2	2,017	1,008	2,567	1,283
2.1	1,925	0,963	2,450	1,225
2	1,833	0,917	2,333	1,167
1.9	1,742	0,871	2,217	1,108
1.8	1,650	0,825	2,100	1,050
1.7	1,558	0,779	1,983	0,992
1.6	1,467	0,733	1,867	0,933
1.5	1,375	0,688	1,750	0,875

Bagian yang berwarna adalah nilai PRM yang digunakan dalam eksperimen. Data di atas mengindikasikan bahwa laju bubuk yang digunakan berada pada level bawah dan nilai laju bubuk tidak berada pada titik satuan, artinya dalam analisa, faktor laju dari bubuk tidak dapat dikatakan dalam besaran fisis tetapi hanya pada skala yang tertera pada PRM.

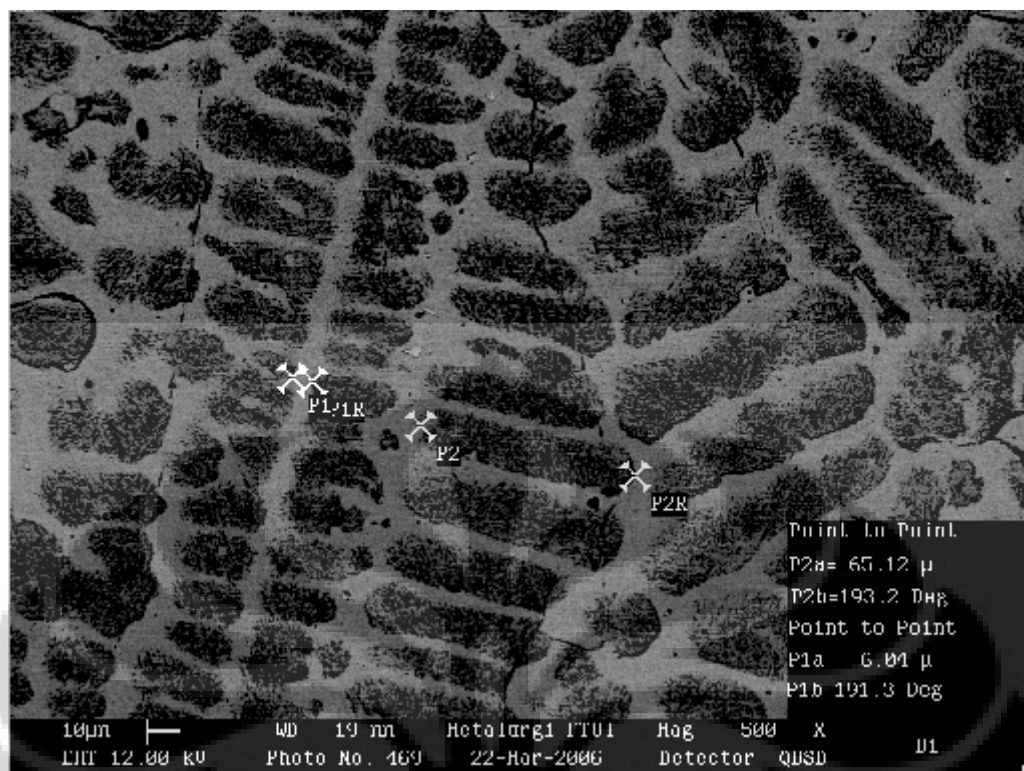
#### 4.2 Hasil SEM

*Scanning elektron microscope* (SEM) digunakan untuk melakukan pengamatan struktur permukaan sampel (*morphology*). Hasil pengamatan SEM dengan berbagai variasi perbesaran yaitu 100 kali, 500 kali, 1000 kali dan 2.000 kali.



Gambar 4.1 Hasil SEM dengan perbesaran 2.000 kali pada lapisan Co-Cr-W menggunakan PTAW dengan arus 100 A dan laju bubuk 1,6 lb/h. Dari mikrostruktur yang terbentuk panjang butirnya berdasarkan jarak titik ke titik yang ditentukan secara acak 22,37 μm dan tebal sisi atau batas butir mikrostruktur 1,37 μm.

Gambar 4.1 merupakan hasil SEM dengan perbesaran 2.000 kali dari sampel Co-Cr-W dengan arus yang digunakan 100 A dan laju bubuk 1,6 lb/h. Hasil SEM tampak jelas memperlihatkan mikrostruktur yang terbentuk secara teratur dengan batas-batas butir. Besar butir diambil secara acak dari gambar hasil SEM untuk menentukan perkiraan besar butir. Berdasarkan Gambar hasil SEM tersebut dengan menentukan jarak antara ke-2 titik P1 diperoleh panjang mikrostruktur 22,37 μm dan garis berwarna lebih gelap pada gambar merupakan batas butir, batas butir diperoleh ketebalannya 1,37 μm.



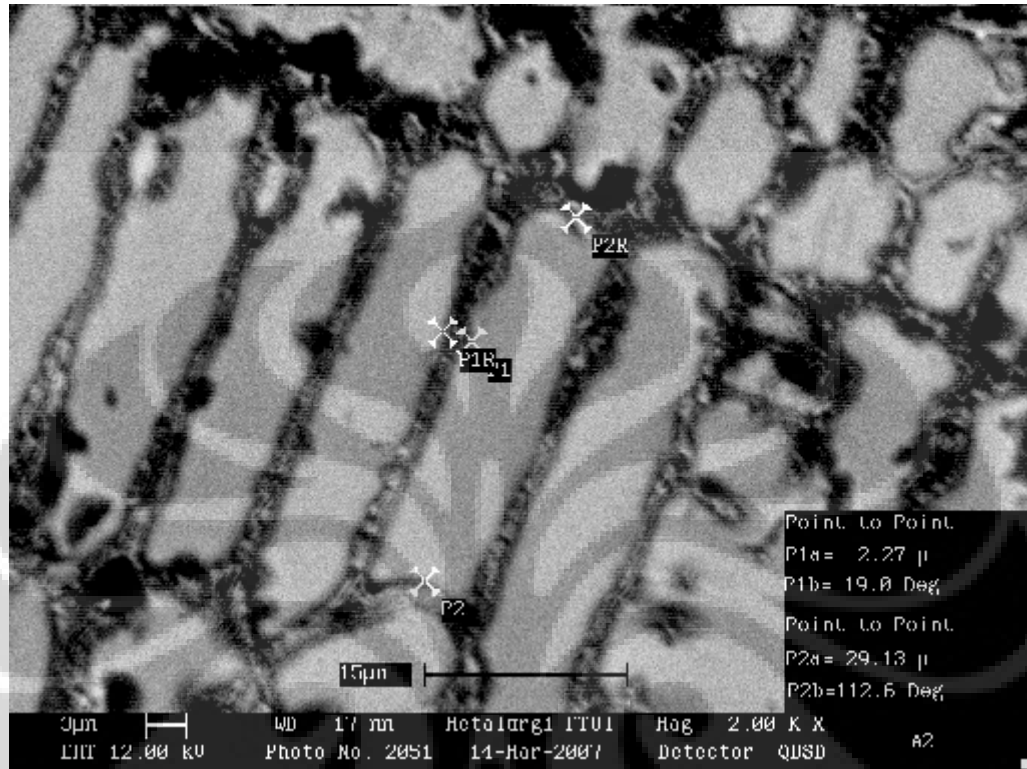
Gambar 4.2 Hasil SEM dengan perbesaran 500 kali pada lapisan Co-Cr-W menggunakan PTAW dengan arus 125 A dan laju bubuk 1,6 lb/h. Dari mikrostruktur yang terbentuk panjang butirnya berdasarkan jarak titik ke titik yang ditentukan secara acak 65.12  $\mu\text{m}$  dan batas butir 6.04  $\mu\text{m}$ .

Gambar 4.2 merupakan hasil SEM dengan perbesaran 500 kali dari sampel Co-Cr-W dengan arus yang digunakan 125 A dan laju bubuk 1,6 lb/h. Hasil SEM tampak jelas memperlihatkan mikrostruktur yang terbentuk secara teratur dengan batas-batas butir. Berdasarkan Gambar hasil SEM tersebut dengan menentukan jarak titik P2 diperoleh panjang mikrostruktur 65,12  $\mu\text{m}$  dan tebal garis berwarna lebih terang pada Gambar merupakan batas butir, batas butir diperoleh tebalnya 6,04  $\mu\text{m}$ .

Jika dibandingkan Gambar 4.1 dengan 4.2 material bubuk dan laju bubuk yang digunakan sama, sedangkan arus yang dipakai berbeda yaitu: menggunakan arus 100 A dan arus 125 A. Gambar mikrostruktur hasil SEM yang dihasilkan tampak berbeda, dimana Gambar 4.1 batas butir tampak berwarna lebih gelap sedangkan

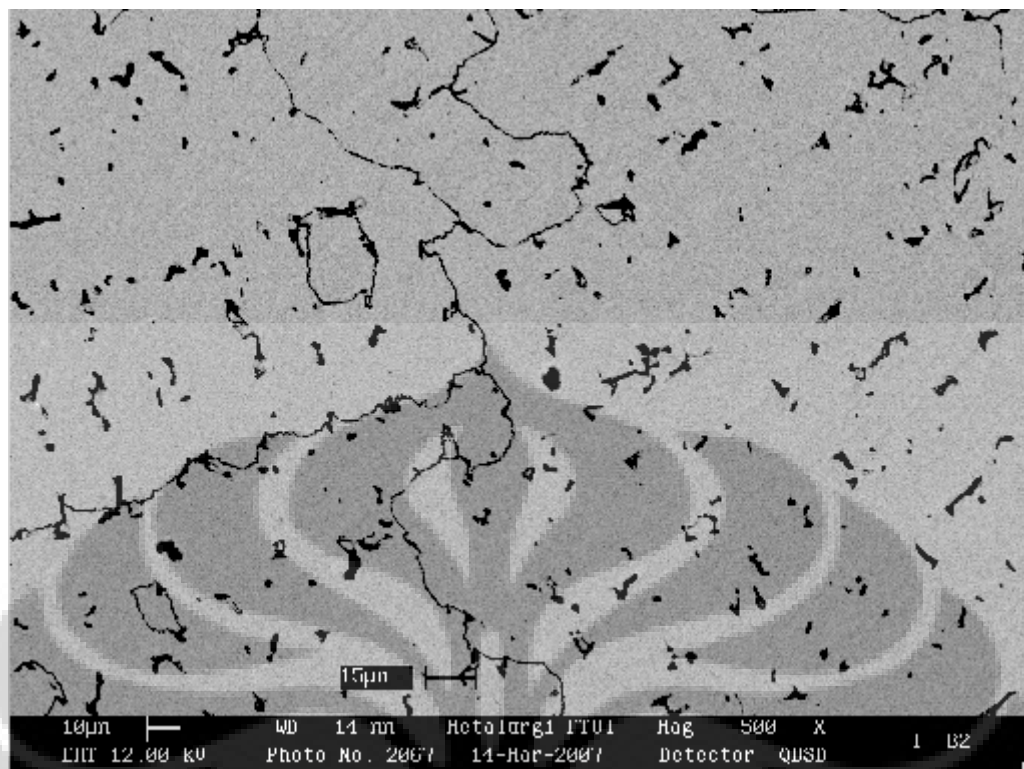


Gambar 4.2 warna batas butirnya lebih terang dan besar butirnya lebih kecil. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh arus terhadap ukuran butir.



Gambar 4.3 Hasil SEM dengan perbesaran 2.000 kali pada lapisan Co-Cr-W menggunakan PTAW dengan arus 100 A dan laju bubuk 1,8 lb/h. Dari mikrostruktur yang terbentuk panjang butirnya berdasarkan jarak titik ke titik yang ditentukan secara acak 29,13  $\mu\text{m}$  dan batas butir 2,27  $\mu\text{m}$ .

Gambar 4.3 merupakan hasil SEM dengan perbesaran 2.000 kali dari lapisan Co-Cr-W dengan arus 100 A dan laju bubuk 1.8 lb/h. Dari gambar mikrostruktur tersebut ditentukan secara acak panjang butirnya dengan meletakkan titik ke titik. Panjang butir yaitu antar titik P2 29,13  $\mu\text{m}$  dan lebarnya batas butir yaitu yang berwarna lebih gelap pada gambar lebarnya 2,27  $\mu\text{m}$ .



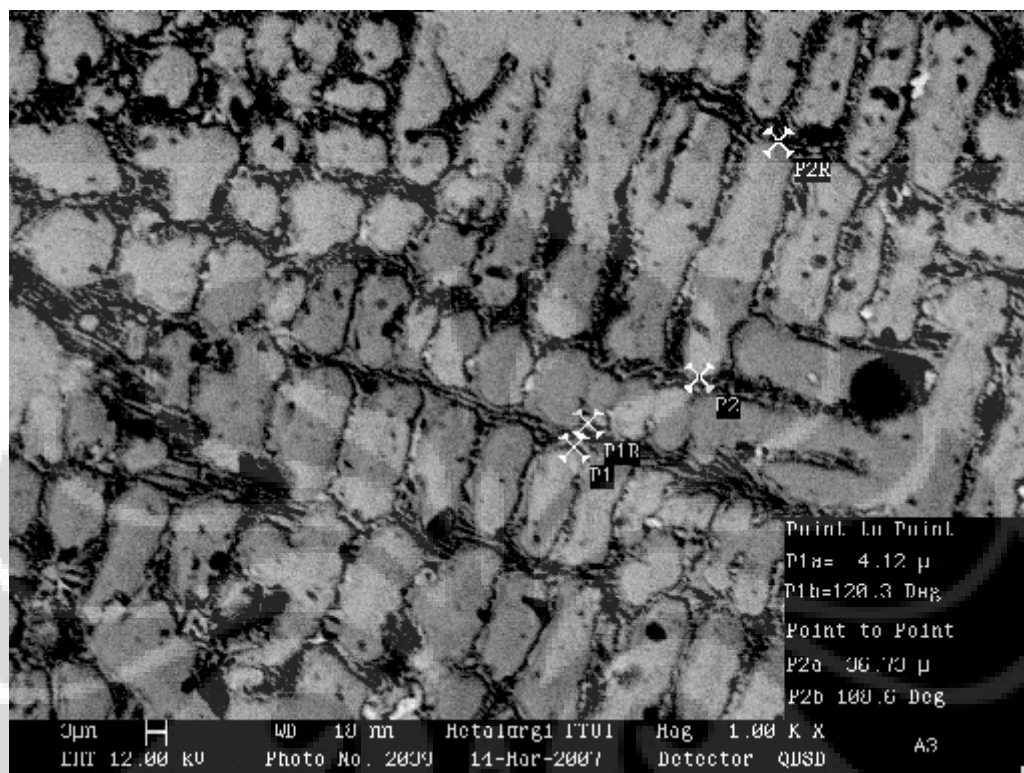
Gambar 4.4 Hasil SEM dengan perbesaran 500 kali untuk lapisan Co-Cr-W yang menggunakan arus 125 A dan dengan laju bubuk 1.8 lb/h batas butir yang dihasilkan tampak hanya berupa titik-titik hitam.

Gambar 4.4 Hasil SEM dengan perbesaran 500 kali untuk lapisan Co-Cr-W yang menggunakan arus 125 A dan dengan laju bubuk 1.8 lb/h batas butir yang dihasilkan tampak hanya berupa titik-titik hitam. Tetapi hal ini sudah cukup menggambarkan sebuah struktur permukaan dengan perbesaran yang lebih kecil lagi seperti ditunjukkan Lampiran 5 dengan perbesaran 100 kali daerah batas butirnya tampak lebih jelas.

Berdasarkan perbandingan mikrostruktur permukaannya untuk lapisan Co-Cr-W yang menggunakan laju bubuk 1.8 lb/h, Gambar 4.3 dan 4.4 adanya pengaruh arus dalam pembentukan struktur permukaannya, dengan arus yang digunakan lebih besar tentu suhunya lebih tinggi struktur permukaan yang dihasilkan seperti Gambar 4.4.

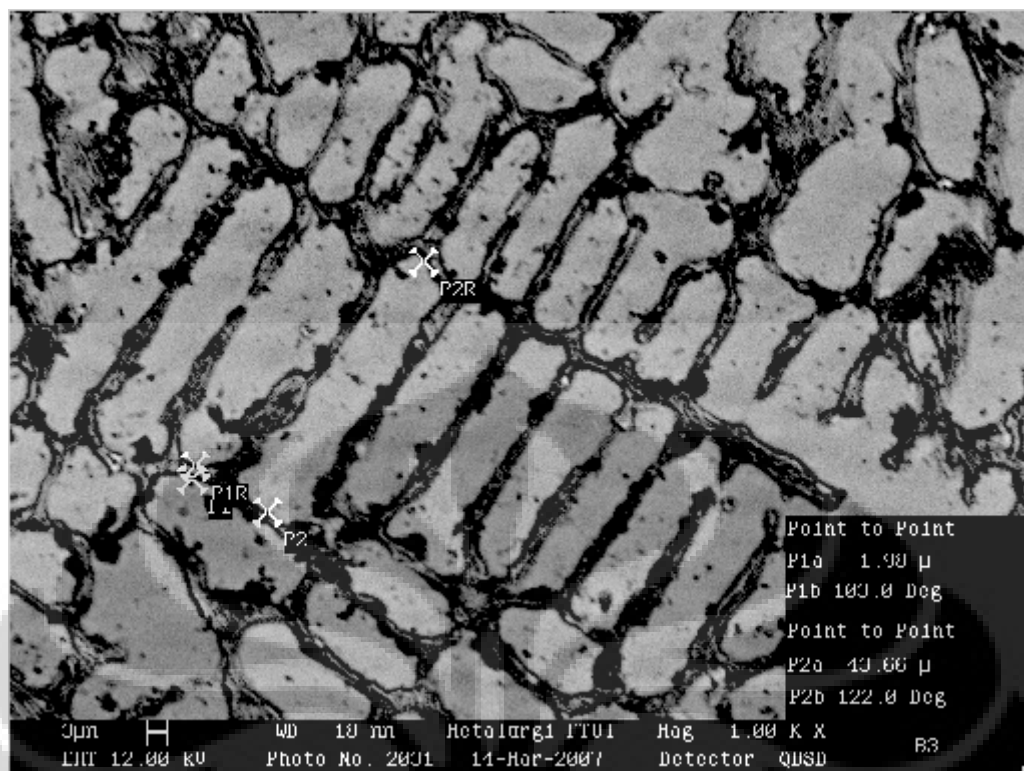
Berdasarkan Gambar 4.1, 4.3 dan 4.5 hasil SEM untuk sampel bubuk Co-Cr-W yang menggunakan variasi laju bubuk 1.6, 1.8 dan 2.2 lb/h dengan arus yang digunakan 100 A. Jika dibandingkan tampak terjadi perubahan mikrostruktur, dimana ukuran besar butir yang terbentuk semakin besar seiring dengan

penambahan laju bubuk. Hal ini mengindikasikan batas butirnya semakin kecil kerapatannya semakin berkurang.



Gambar 4.5 Hasil SEM dengan perbesaran 1.000 kali pada lapisan Co-Cr-W menggunakan PTAW dengan arus 100 A dan laju bubuk 2,2 lb/h. Dari mikrostruktur yang terbentuk panjang butirnya berdasarkan jarak titik ke titik yang ditentukan secara acak 36,73  $\mu$ m dan batas butir 4,12  $\mu$ m.

Hasil SEM dengan perbesaran 1.000 kali (Gambar 4.5) pada lapisan Co-Cr-W menggunakan PTAW dengan arus 100 A dan laju bubuk 2,2 lb/h. Dari mikrostruktur yang terbentuk panjang butirnya berdasarkan jarak titik ke titik yang ditentukan secara acak yaitu 36,73  $\mu$ m dan lebar batas butir 4,12  $\mu$ m. Gambar menunjukkan dengan jelas batas-batas butirnya.



Gambar 4.6 Hasil SEM dengan perbesaran 1.000 kali pada lapisan Co-Cr-W menggunakan PTAW dengan arus 125 A dan laju bubuk 2,2 lb/h. Gambar mikrostruktur yang terbentuk panjang butirnya berdasarkan jarak titik ke titik yang ditentukan secara acak 43,66  $\mu\text{m}$  dan batas butir 1,98  $\mu\text{m}$ .

Berdasarkan Gambar 4.2, 4.4 dan 4.6 hasil SEM untuk sampel bubuk Co-Cr-W yang menggunakan variasi laju bubuk 1,6, 1,8 dan 2,2 lb/h dan dengan arus yang digunakan 125 A. Tampak terjadi perubahan mikrostruktur, dimana besar butir yang terbentuk semakin kecil ukurannya seiring dengan peningkatan laju bubuk. Hal ini mengindikasikan nilai batas butirnya akan semakin besar seiring peningkatan laju bubuk.

Dari gambar SEM pada peningkatan laju bubuk sampel dengan menggunakan arus 100 A terjadi penurunan ukuran butir pada struktur mikronya. Sedangkan sampel yang menggunakan arus 125 A terjadi peningkatan ukuran butir struktur mikronya. Phenomena ini menunjukkan adanya pengaruh arus dan laju bubuk terhadap pembentukan mikrostruktur.

### 4.3 Perhitungan Rapat Batas Butir dengan Persamaan O.K Rieger

Dari hasil SEM berupa gambar mikrostruktur dengan perbesaran 500 kali, distribusi ukuran butirnya dapat dihitung dengan meletakkan garis berbentuk lingkaran secara acak pada permukaan mikrostruktur dibuat dalam Tabel 4.2.

**Tabel 4.2 Distribusi Batas Butir**

No.	Titik Perpotongan (n)					
	A1	A2	A3	B1	B2	B3
1	34	38	34	15	17	24
2	33	40	33	14	15	26
3	32	34	34	13	17	26
4	34	34	32	12	14	26
5	34	34	35	13	20	25
6	39	37	37	12	17	21
7	34	36	34	13	18	24
8	34	37	30	11	17	28
9	34	35	34	16	16	29
10	37	34	33	13	18	27
11	36	36	35	15	18	25
12	36	30	30	14	18	27
13	34	33	35	16	18	23
14	34	35	35	13	15	29
15	37	36	37	16	17	26
16	35	34	35	13	19	30
17	38	33	31	19	17	28
18	33	33	33	15	18	25
19	34	36	35	17	19	22
20	40	30	30	15	15	30
21	40	30	30	18	16	26
22	37	34	38	16	17	27
23	38	32	36	15	18	25
24	34	37	31	17	18	25
25	35	31	34	17	16	24
26	32	35	34	17	17	27
27	40	30	37	15	22	27
28	37	30	34	15	20	27
29	35	39	30	16	19	27
30	38	30	36	14	19	26
31	37	33	38	16	17	26
32	39	33	33	17	17	25
$\bar{n}$	35.75	34.03	33.84	14.94	17.47	26.03
$P_L/mm$	96.73	92.08	91.57	40.42	47.26	70.43
$S_v$ (mm <sup>2</sup> /mm <sup>3</sup> )	193.45	184.15	183.14	80.83	94.53	140.86

Tabel 4.2 Distribusi batas butir diperoleh dengan meletakkan garis sebanyak 32 kali pada seluruh permukaan bidang gambar. Panjang diameter garis yang diletakkan pada permukaan bidang gambar 59 mm, dengan menggunakan rumus keliling lingkaran diperoleh panjang garis 185,26 mm per perbesaran 500 kali diperoleh 0,37 mm. Dari 32 kali meletakkan garis diseluruh permukaan bidang gambar diperoleh rata-rata jumlah titik perpotongan  $\bar{n}$  untuk masing-masing sampel. Dengan menggunakan persamaan O.K Rieger diperoleh jumlah perpotongan rapat batas butir ( $P_L$ ) persamaan 2.5. Dimana hubungan  $P_L$  (rapat batas butir per satuan panjang) dan  $S_V$  (daerah rapat batas butir per satuan volume)  $S_V = 2$  kali jumlah perpotongan  $P_L$  (persamaan 2.7).

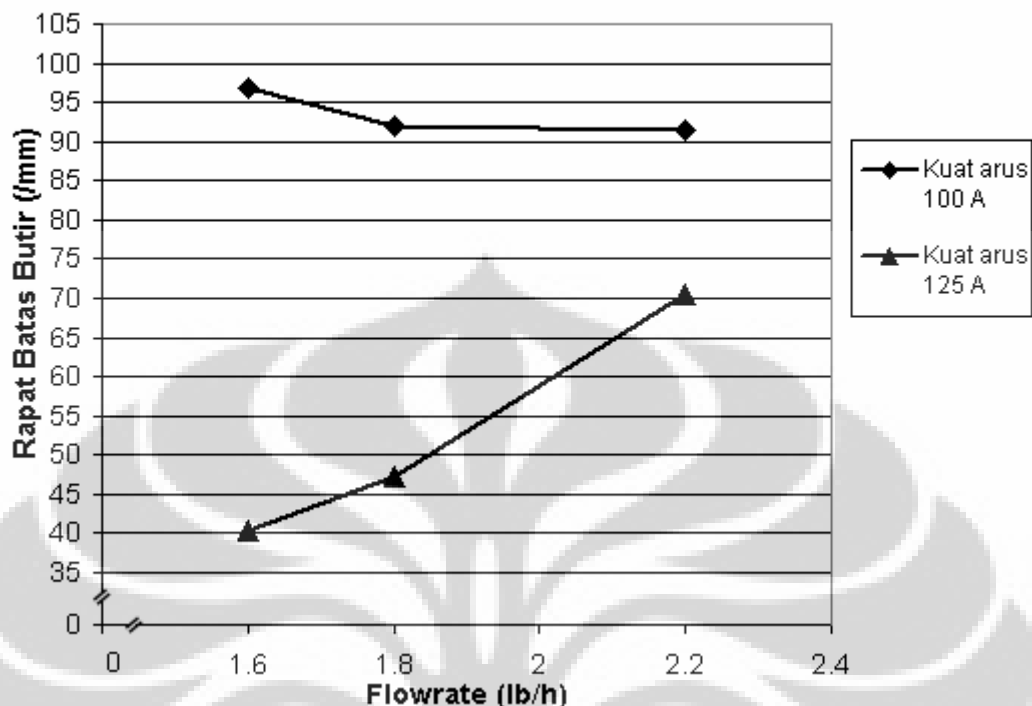
Dari tabel distribusi batas butir untuk dapat menggambarkan hubungan antara kuat arus, laju bubuk dan rapat batas butir maka dibuat dalam Tabel 4.3 sebagai berikut;

**Tabel 4.3 Hubungan Laju Bubuk, Kuat Arus dan Rapat batas butir**

Sampel	Flowrate (lb/h)	Kuat Arus (A)	$\bar{n}$	$P_L$ (/mm)	$S_V$ ( $\text{mm}^2/\text{mm}^3$ )
A1	1.6	100	35,75	96,73	193,46
A2	1.8	100	34,03	92,08	184,16
A3	2.2	100	33,84	91,57	183,14
B1	1.6	125	14,94	40,42	80,84
B2	1.8	125	17,47	47,26	94,52
B3	2.2	125	26,03	70,43	140,86

Dari hasil tabel perhitungan distribusi butir dan hubungannya dengan arus dan laju bubuk. Dapat dibuat dalam grafik hubungan antara rapat batas butir terhadap laju bubuk (Gambar 4.7) untuk melihat pengaruh rapat batas butir terhadap laju bubuk (*flowrate*).

### Rapat Batas Butir Terhadap Laju Bubuk Sampel Arus 100 A dan 125 A



Gambar 4.7 Grafik rapat batas butir terhadap laju bubuk (*flowrate*) sampel dengan kuat arus 100 A dan 125 A, laju bubuk yang digunakan 1.6, 1.8 dan 2.2 lb/h. Berdasarkan rapat batas butir adanya indikasi untuk sampel dengan kuat arus 100 A terjadi penurunan rapat batas butir atau butirannya semakin kasar seiring peningkatan laju bubuk. Sedangkan untuk sampel dengan kuat arus 125 A, semakin meningkat jumlah laju bubuknya maka daerah rapat batas butirnya semakin besar atau dengan kata lain butirannya semakin halus.

Dari Gambar 4.7 grafik rapat batas butir terhadap laju bubuk, sampel dengan menggunakan kuat arus 100 A diperoleh hubungan pada laju bubuk 1,6 lb/h didapati rapat batas butir 96,73 /mm, pada laju bubuk 1.8 lb/h diperoleh rapat batas butir 92.08 /mm sedangkan pada laju bubuk 2.2 lb/h rapat batas butir 91.57 /mm. Berdasarkan Gambar grafik dan besaran yang diperoleh pada sampel dengan menggunakan arus 100 A hasil tersebut menunjukkan semakin ditingkatkannya laju bubuk maka rapat batas butir akan semakin kecil atau butir mikrostruktur yang terbentuk semakin rapat. Untuk sampel dengan menggunakan kuat arus 125 A diperoleh hubungan pada laju bubuk 1,6 lb/h didapati rapat batas butir 40,42 /mm, pada laju bubuk 1.8 lb/h diperoleh rapat batas butir 47.26 /mm sedangkan

pada laju bubuk 2.2 lb/h rapat batas butir 70.43 /mm. Berdasarkan Gambar grafik dan besaran yang diperoleh pada sampel dengan menggunakan arus 125 A hasil tersebut menunjukkan semakin ditingkatkannya laju bubuk maka rapat batas butir akan semakin besar atau butir mikrostruktur yang terbentuk semakin besar.

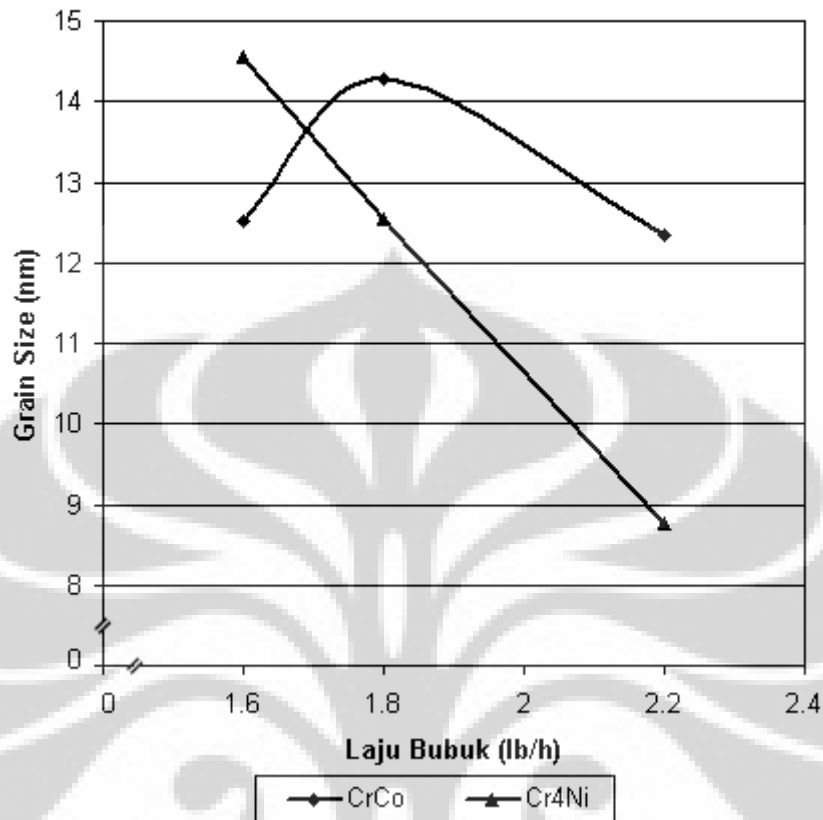
Jika dibandingkan rapat batas butir terhadap laju bubuk sampel 100 A dan 125 A, tampak perbedaannya dimana sampel yang menggunakan arus 100 A semakin ditingkatkannya laju bubuk maka mikrostruktur yang terbentuk semakin tidak optimal, dengan kata lain butirannya semakin kasar. Terjadi sebaliknya pada sampel yang menggunakan arus listrik 125 A, semakin ditingkatkannya laju bubuk maka mikrostruktur yang terbentuk semakin optimal atau butirannya akan semakin halus. Dari sampel yang menggunakan arus listrik 100 A rapat batas butir lebih besar nilainya jika kita bandingkan dengan sampel yang menggunakan arus 125 A dari masing-masing tiap laju bubuk. Dengan rapat batas butir paling besar sampel menggunakan arus listrik 100 A dan laju bubuk 1.6 lb/h yaitu 96.73 /mm. Sedangkan rapat batas butir paling kecil yaitu sampel dengan arus 125 A dan laju bubuk 1.6 lb/h yaitu 40.42 /mm.

#### **4.4 Analisis *Grain Size* Fasa CrCo dan Cr<sub>4</sub>Ni**

Berdasarkan hasil dari penelitian yang diperoleh Agustinus Arif Sartono (2008) mengenai *Pengaruh Laju Bubuk Terhadap Struktur Kristal dan Komposisi Fasa pada Lapisan Stellite 6 yang Dibuat dengan Proses PTAW*, diperoleh 2 fasa yaitu CrCo dan Cr<sub>4</sub>Ni dimana ukuran butirnya (*grain size* atau *crystal size*) dalam skala nm digambarkan oleh Gambar 4.8 dan 4.9 [29].



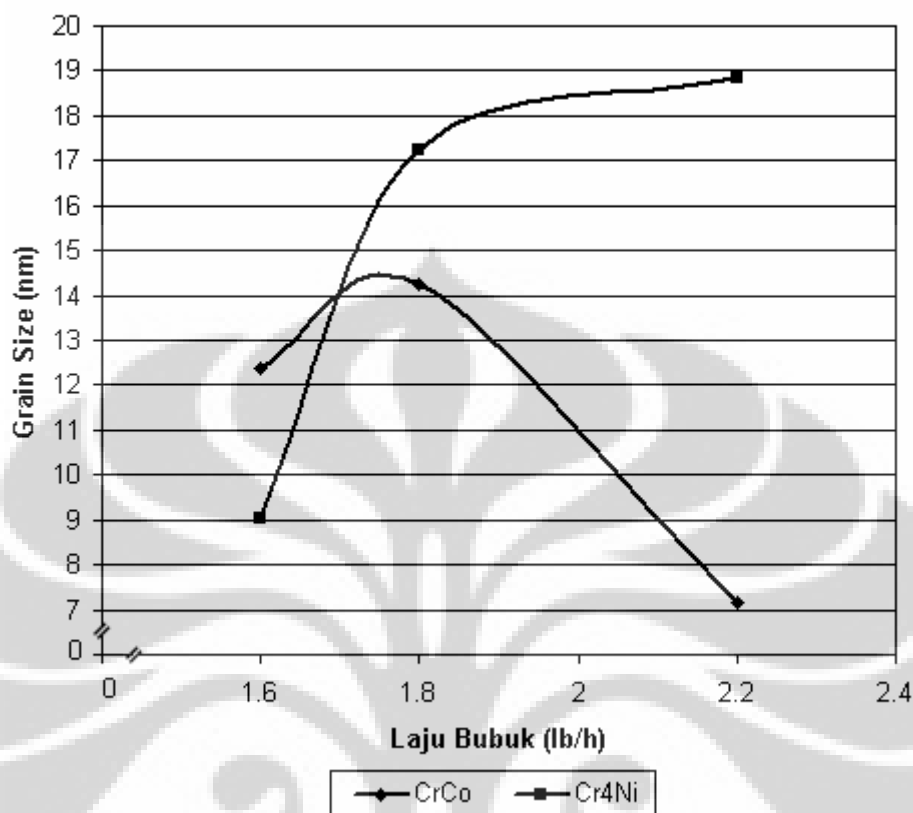
### Laju Bubuk terhadap Grain Size pada Arus 100 A



Gambar 4.8 Grafik hubungan laju bubuk terhadap ukuran butir pada arus 100 A dengan fasa Cr<sub>4</sub>Ni cenderung menurun dengan peningkatan laju bubuk sedangkan fasa CrCo saat berada pada laju bubuk 1.8 lb/h terjadi peningkatan ukuran butir.

Gambar 4.8 Grafik hubungan laju bubuk terhadap ukuran butir pada arus 100 A dengan fasa Cr<sub>4</sub>Ni cenderung menurun dengan peningkatan laju bubuk sedangkan fasa CrCo terjadi peningkatan ukuran butirnya pada saat berada pada laju bubuk 1.8 lb/h dan terjadi penurunan ukuran butir pada saat berada pada laju bubuk 2.2 lb/h.

### Laju Bubuk terhadap Grain Size pada Arus 125 A



Gambar 4.9 Grafik hubungan laju bubuk terhadap ukuran butir pada arus 125 A dengan fasa  $\text{Cr}_4\text{Ni}$  cenderung meningkat dengan peningkatan laju bubuk sedangkan fasa  $\text{CrCo}$  cenderung terjadi fluktuasi.

Gambar 4.9 Grafik hubungan laju bubuk terhadap ukuran butir pada arus 125 A dengan fasa  $\text{Cr}_4\text{Ni}$  cenderung meningkat dengan peningkatan laju bubuk sedangkan fasa  $\text{CrCo}$  terjadi peningkatan ukuran butirnya pada saat berada pada laju bubuk 1.8 lb/h dan terjadi penurunan ukuran butir pada saat berada pada laju bubuk 2.2 lb/h.

#### 4.5 Kekerasan

Hasil pengukuran sampel menggunakan *Micro Hardness Vickers* dengan jarak jejak 200 micron dengan beban yang digunakan 200 gr, 500 gr dan 1000 gr. Setiap satu sampel *coating* dilakukan lima titik pembebanan pada tiap masing-masing beban ditunjukkan oleh Tabel 4.4 Nilai rata-rata diagonal Jejak  $d$  dari hasil Uji Kekerasan berikut ini:

**Tabel 4.4 Nilai Rata-rata Diagonal Jejak ( $\bar{d}$ ) dari Hasil Uji Kekerasan**

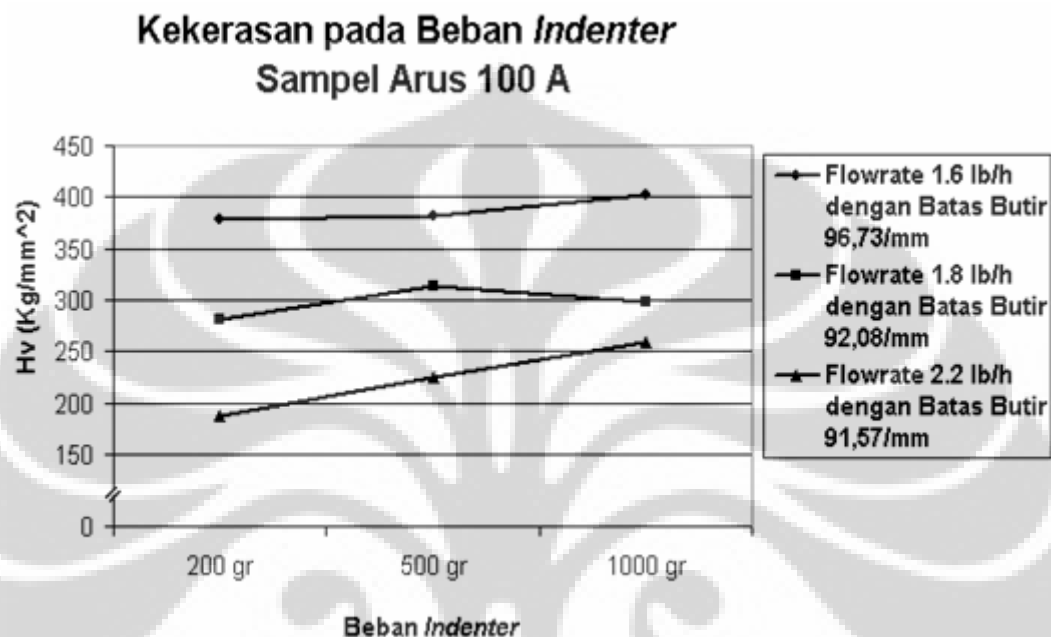
Sampel	$d$ (Micrometer)			Sampel	$d$ (Micrometer)		
	200 gr	500 gr	1000 gr		200 gr	500 gr	1000 gr
A1	31.2	49.2	67.8	B1	33.4	47.3	64
	31.2	49.2	67.8		33.4	47.3	64
	31.4	49.3	67.9		33.2	47.5	64.2
	31.4	49.3	67.8		33.6	47.5	64.2
	31.2	49.2	67.8		33.5	47.4	64.3
Rata-rata	31.28	49.24	67.82	Rata-rata	38.4	57.48	82.56
A2	36.3	54.5	78.8	B2	35.5	54.2	76.5
	36.3	54.2	78.7		35.8	54.4	76.6
	36.4	54.2	78.8		35.2	54	76.7
	36.4	54.6	78.8		35.8	54	77
	36.4	54.6	78.7		35.8	54.3	76.7
Rata-rata	36.36	54.42	78.76	Rata-rata	35.62	54.18	76.7
A3	44.5	64	84.8	B3	38.4	57.4	82.5
	44.7	64.2	84.7		38.2	57.4	82.7
	44.2	64	84.8		38.5	57.4	82.7
	44.3	64.4	84.2		38.5	57.6	82.5
	44.6	64.2	84.5		38.4	57.6	82.4
Rata-rata	44.46	64.16	84.6	Rata-rata	38.4	57.4	82.5

$\bar{d}$  Merupakan nilai rata-rata diagonal jejak dalam mikrometer diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.4. Sedangkan nilai kekerasan diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.3. Untuk dapat menggambarkan hubungan antara kuat arus, laju bubuk dan kekerasan maka dibuat dalam Tabel 4.5 sebagai berikut;

**Tabel 4.5 Hubungan Kekerasan, Arus dan Laju Bubuk**

kode Sampel	Arus (A)	Laju Bubuk	Kekerasan Hv (Kg/mm <sup>2</sup> )		
			200 gr	500 gr	1000 gr
A1	100	1.6	378.98	382.34	403.08
A2	100	1.8	280.50	313.02	298.88
A3	100	2.2	187.60	225.20	259.05
B1	125	1.6	332.01	412.60	450.67
B2	125	1.8	292.29	315.80	315.15
B3	125	2.2	251.47	280.58	272.00

Dari hasil Tabel perhitungan kekerasan dan hubungannya dengan arus dan laju bubuk. Dapat dibuat dalam grafik hubungan antara kekerasan terhadap beban *indenter* (Gambar 4.10) untuk melihat pengaruh kekerasan terhadap beban *indenter*.

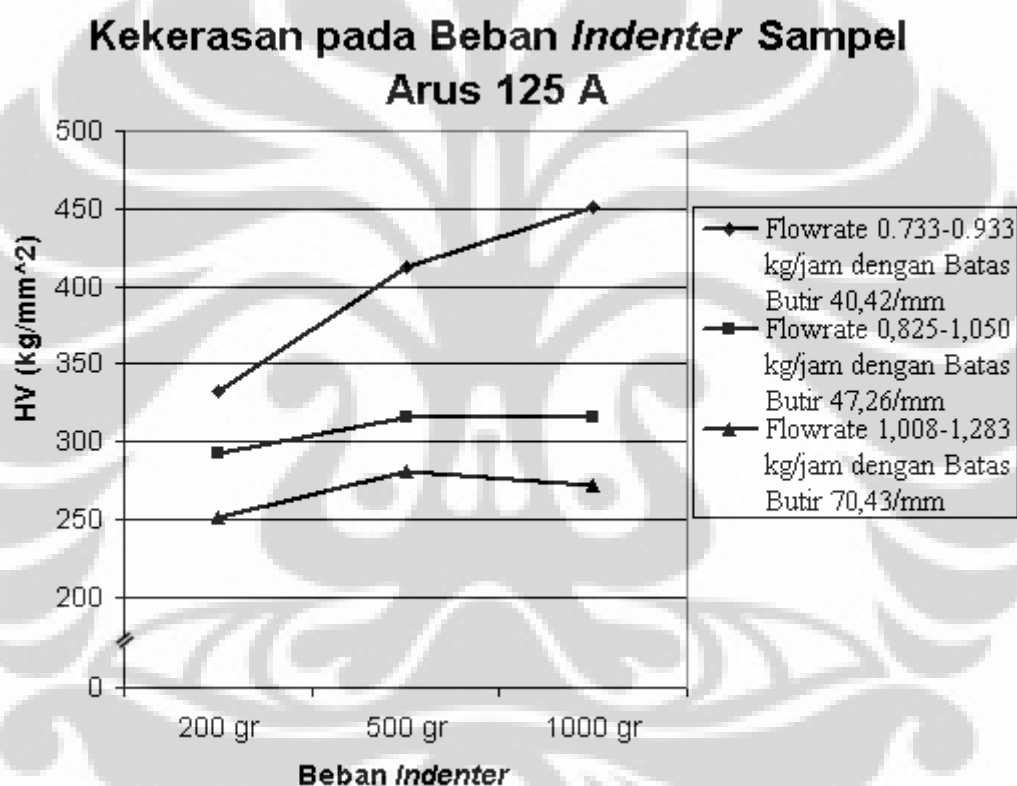


Gambar 4.10 Grafik tingkat kekerasan sampel dengan arus 100 A pada beban *indenter* 200, 500 dan 1000 gr dengan Laju bubuk 1.6, 1.8 dan 2.2 lb/h. Terjadi penurunan kekerasan pada beban *indenter* 1000 gr.

Dari Gambar 4.10 Grafik tingkat kekerasan sampel dengan arus 100 A pada beban *indenter* 200, 500 dan 1000 gr tampak hasil linier terjadi pada laju bubuk 2.2 lb/h. Tetapi terjadi penyimpangan pada beban *indenter* 1000 gr. Nilai kekerasan pada masing-masing beban *indenter* 200 gr yaitu 378.98, 280.50 dan 187.60 kg/mm<sup>2</sup> untuk masing-masing laju bubuk 1.6, 1.8 dan 2.2 lb/h. Nilai kekerasan pada masing-masing beban *indenter* 500 gr yaitu 382.34, 313.02 dan 225.20 kg/mm<sup>2</sup> untuk masing-masing laju bubuk 1.6, 1.8 dan 2.2 lb/h. Nilai kekerasan pada masing-masing beban *indenter* 1000 gr yaitu 403.08, 298.88 dan 259.05 kg/mm<sup>2</sup> untuk masing-masing laju bubuk 1.6, 1.8 dan 2.2 lb/h. jika dilihat secara keseluruhan menunjukkan terjadinya peningkatan kekerasan seiring penambahan

beban. Ini berarti kekerasan rendah pada beban hanya disebabkan oleh kekerasan permukaan maka nilai kekerasan yang dipakai hanya pada beban tinggi.

Dari hasil Tabel 4.5 perhitungan kekerasan dan hubungannya dengan arus dan laju bubuk. Dapat dibuat dalam Grafik hubungan antara kekerasan terhadap beban *indenter* (Gambar 4.11) untuk melihat pengaruh kekerasan terhadap beban *indenter* pada sampel yang menggunakan arus 125 A.

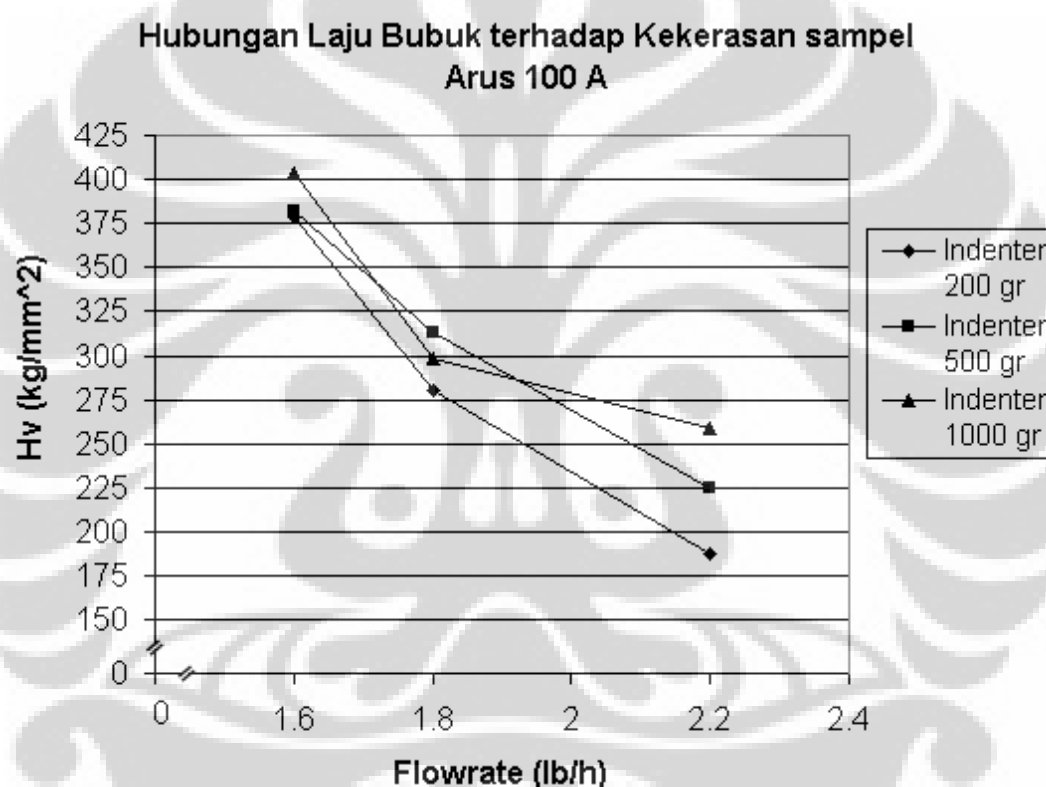


Gambar 4.11 Grafik tingkat kekerasan sampel dengan arus 125 A pada beban *indenter* 200, 500 dan 1000 gr. Pada laju bubuk 1.6 lb/h menunjukkan terjadi perubahan jarak yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan yang terjadi pada laju bubuk pada 1.8 dan 2.2 lb/h.

Dari Gambar 4.11 Grafik tingkat kekerasan sampel dengan arus 125 A pada beban *indenter* 200, 500 dan 1000 gr. Nilai kekerasan pada masing-masing beban *indenter* 200 gr yaitu 332.01, 292.29 dan 251.47  $\text{kg/mm}^2$  untuk masing-masing laju bubuk 1.6, 1.8 dan 2.2 lb/h. Nilai kekerasan pada masing-masing beban

indenter 500 gr yaitu 412.60, 315.80 dan 280.58 kg/mm<sup>2</sup> untuk masing-masing laju bubuk 1.6, 1.8 dan 2.2 lb/h. Nilai kekerasan pada masing-masing beban indenter 1000 gr yaitu 450.67, 315.15 dan 272.00 kg/mm<sup>2</sup> untuk masing-masing laju bubuk 1.6, 1.8 dan 2.2 lb/h. jika dilihat secara keseluruhan menunjukkan terjadinya peningkatan kekerasan seiring dengan penambahan beban.

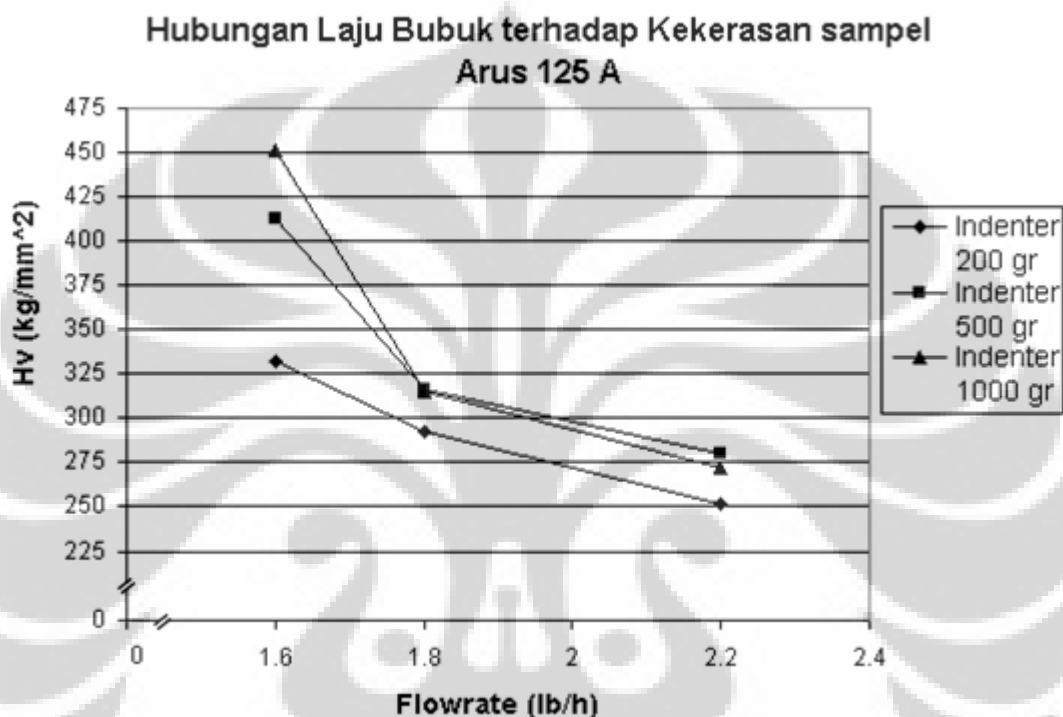
Untuk dapat menganalisa hubungan antara kekerasan dengan laju bubuk digambarkan oleh Gambar 4.12 berikut ini:



Gambar 4.12 Grafik tingkat kekerasan sampel dengan arus 100 A terhadap laju bubuk 1.6, 1.8 dan 2.2 lb/h dengan beban *indenter* 200, 500 dan 1000 gr. Dilihat dari laju bubuk (*flowrate*) mengindikasikan semakin besar laju bubuk maka tingkat kekerasan akan semakin menurun untuk masing-masing beban *indenter* 200, 500 dan 1000 gr. Menunjukkan adanya penyimpangan pada laju bubuk 1.8 lb/h pada beban *indenter* 500 gr, dimana tingkat kekerasannya lebih besar dari beban *indenter* 1000 gr.

Dari Gambar 4.12 Grafik tingkat kekerasan sampel arus 100 A terhadap laju bubuk 1.6, 1.8 dan 2.2 lb/h pada beban *indenter* 200, 500 dan 1000 gr tingkat kekerasan yang paling besar pada masing-masing beban *indenter* yaitu sampel

dengan laju bubuk 1.6 lb/h. Kemudian diikuti dengan kekerasan sampel dengan laju bubuk 1.8 lb/h, sedangkan sampel yang tingkat kekerasannya paling rendah pada masing-masing beban *indenter* yaitu sampel dengan laju bubuk 2.2 lb/h. Hal ini mengindikasikan semakin besar laju bubuk maka tingkat kekerasannya akan semakin menurun untuk sampel Co-Cr-W dengan arus 100 A.



Gambar 4.13 Grafik tingkat kekerasan sampel dengan arus 125 A terhadap laju bubuk 1.6, 1.8 dan 2.2 lb/h dengan beban *indenter* 200, 500 dan 1000 gr. Dilihat dari laju bubuk (*flowrate*) mengindikasikan semakin besar laju bubuk maka tingkat kekerasan akan semakin menurun untuk masing-masing beban *indenter* 200, 500 dan 1000 gr

Dari Gambar 4.13 grafik tingkat kekerasan sampel dengan arus 125 A terhadap laju bubuk 1.6, 1.8 dan 2.2 lb/h pada beban *indenter* 200, 500 dan 1000 gr tingkat kekerasan yang paling besar pada masing-masing beban *indenter* yaitu sampel dengan laju bubuk 1.6 lb/h untuk masing-masing beban *indenter*. Kemudian diikuti dengan kekerasan sampel dengan laju bubuk 1.8 lb/h, sedangkan sampel yang tingkat kekerasannya paling rendah pada masing-masing beban *indenter* yaitu sampel dengan laju bubuk 2.2 lb/h. Hal ini mengindikasikan semakin besar

laju bubuk maka tingkat kekerasannya akan semakin meningkat untuk sampel Co-Cr-W dengan arus 125 A.

Dari Gambar 4.12 dan 4.13 Grafik tingkat kekerasan terhadap laju bubuk dengan beban *indenter* 200, 500 dan 1000 gr sampel yang menggunakan arus 100 A dan 125 A, tidak tampak perbedaannya dimana sampel yang menggunakan arus 100 A semakin ditingkatkannya laju bubuk maka kekerasannya semakin menurun. Terjadi juga pada sampel yang menggunakan arus listrik 125 A, semakin ditingkatkannya laju bubuk maka kekerasannya semakin menurun. Pada beban *indenter* 1000 gr Tingkat kekerasan yang paling optimal yaitu sampel dengan arus 125 A dan dengan *Flowrate* 1,6 lb/h kemudian diikuti dengan kekerasan sampel arus 125 A dan *flowrate* 1.6 lb/h, kekerasan sampel arus 100 A dan *flowrate* 1.8 lb/h, kekerasan sampel arus 125 A dan *flowrate* 1.8 lb/h, kemudian diikuti dengan kekerasan sampel arus 100 A dan *flowrate* 2.2 lb/h sedangkan yang mempunyai nilai kekerasan terendah yaitu sampel dengan *Flowrate* 2,2 lb/h dan arus 125 A.

#### 4.6 Hubungan Mikrostruktur Terhadap Kekerasan

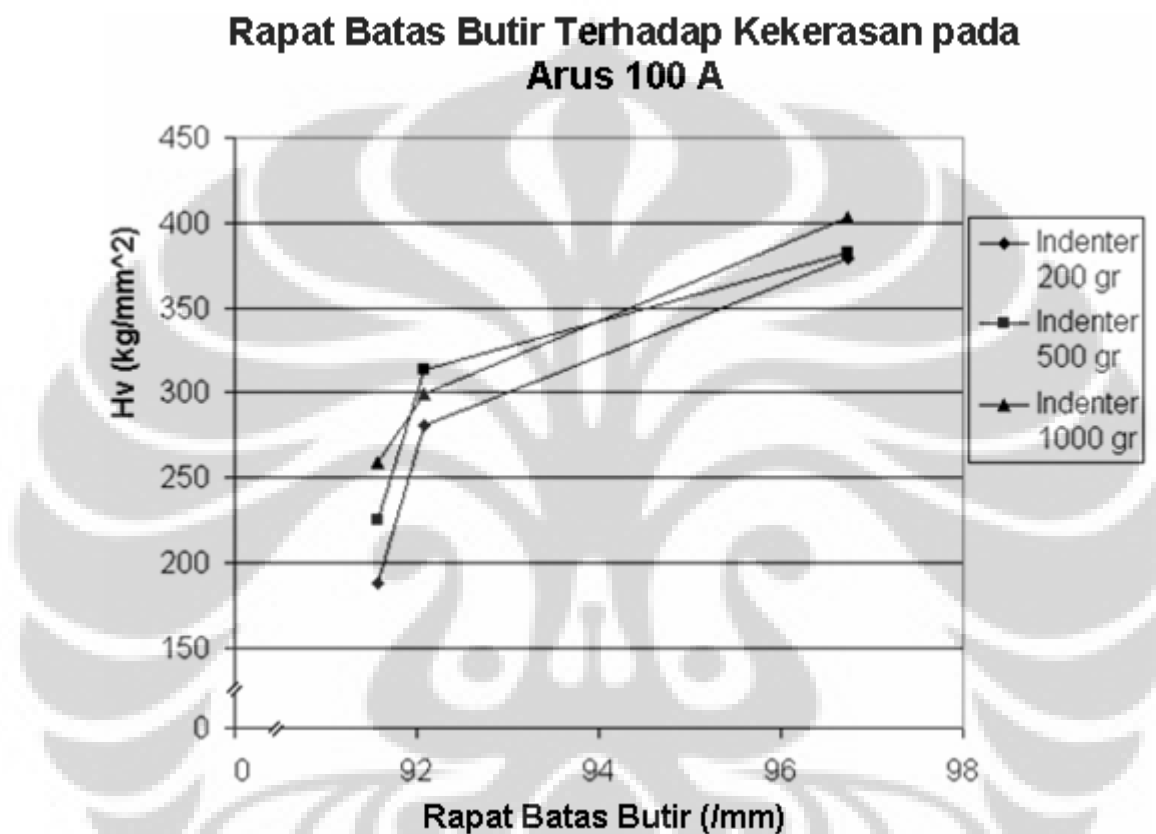
Berdasarkan pada hasil perhitungan rapat batas butir persatuan luas dan kekerasan sampel maka dapat digambarkan tabel hubungan rapat batas butir terhadap kekerasan (Tabel 4.6)

**Tabel 4.6 Hubungan Rapat batas butir Terhadap Kekerasan**

Sampel	Laju Bubuk (Lb/h)	Arus (A)	PL (/mm)	Kekerasan $H_v$ (kg/mm <sup>2</sup> )		
				200 gr	500 gr	1000 gr
A1	1.6	100	96.73	378.98	382.34	403.08
A2	1.8	100	92.08	280.50	313.02	298.88
A3	2.2	100	91.57	187.60	225.20	259.05
B1	1.6	125	40.42	332.01	412.60	450.67
B2	1.8	125	47.26	292.29	315.80	315.15
B3	2.2	125	70.43	251.47	280.58	272.00



Dari hasil Tabel perhitungan rapat batas butir terhadap kekerasan dan hubungannya dengan arus dan laju bubuk. Dapat dibuat dalam grafik hubungan antara rapat batas butir terhadap kekerasan dengan beban *indenter* (Gambar 4.14) untuk melihat pengaruh rapat batas butir terhadap kekerasan dengan beban *indenter*.

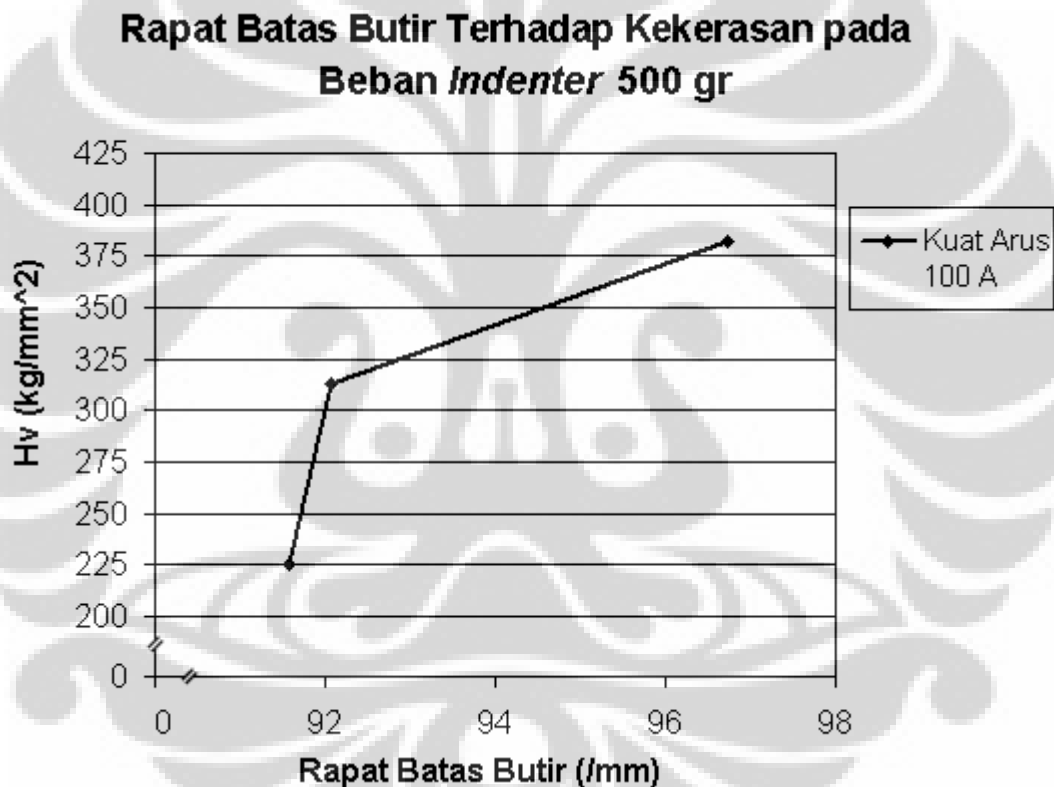


Gambar 4.14 Grafik rapat batas butir terhadap kekerasan sampel dengan arus 100 A dengan beban indenter 200, 500 dan 1000 gr. Menunjukkan terjadi peningkatan kekerasan seiring peningkatan rapat batas butir (butirannya semakin halus) untuk masing-masing beban *Indenter*. Hal ini berarti semakin diturunkan laju bubuk butirannya akan semakin halus dan kekerasannya akan semakin meningkat. Kekerasan indenter 500 gr lebih dari indenter 1000gr pada rapat batas butir 92,08/mm hanya disebabkan oleh kekerasan permukaan maka nilai kekerasan yang dipakai hanya pada beban tinggi.

Berdasarkan grafik rapat batas butir terhadap kekerasan sampel dengan arus 100 A (Gambar 4.14) mengindikasikan semakin meningkat kekerasan maka rapat batas butir semakin besar atau butiran mikrostrukturnya semakin halus. Berdasarkan grafik itu pula menunjukkan penurunan laju bubuk semakin

meningkatkan kekerasan dan rapat batas butir. Hasil yang digambarkan grafik pada masing-masing beban *indenter* 200, 500 dan 1000 gr menggambarkan bentuk grafik yang sama dimana dengan bertambahnya rapat batas butir maka kekerasannya meningkat. Sampel yang memiliki tingkat kekerasan dan rapat batas butir yang paling optimal pada sampel dengan arus 100 A dan laju bubuk 1.6 lb/h pada masing-masing beban *indenter*.

Untuk lebih memahami rapat batas butir terhadap kekerasan sampel dengan arus 100 A dan beban *indenter* 500 gr, perhatikan Gambar 4.15 Berikut ini:

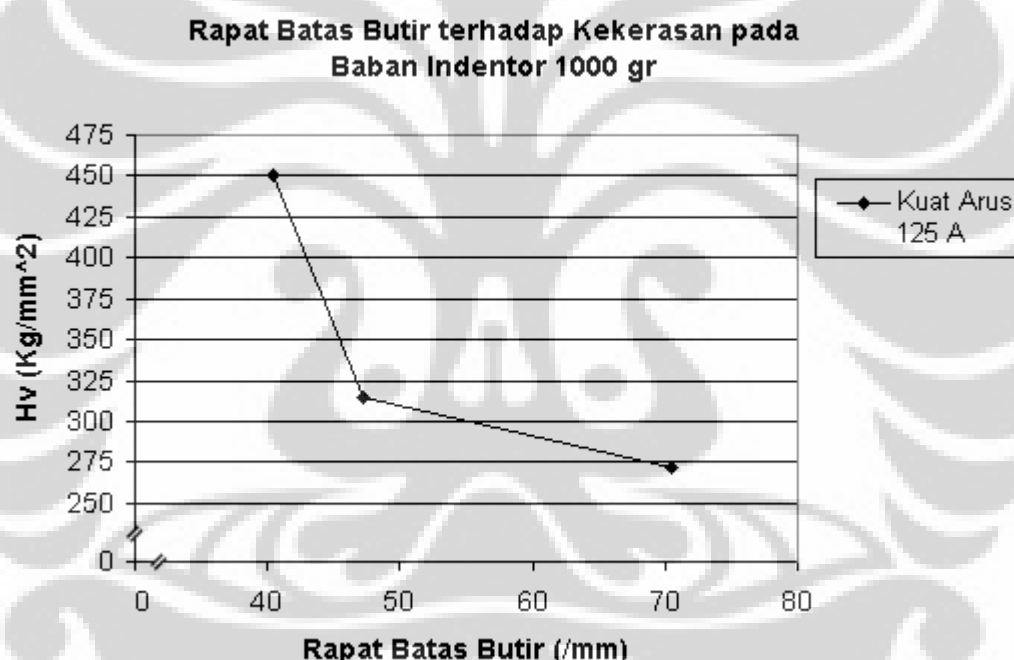


Gambar 4.15 Grafik rapat batas butir terhadap kekerasan sampel dengan arus 100 A dengan beban *indenter* 500 gr. Menunjukkan terjadi peningkatan kekerasan seiring peningkatan rapat batas butir dan penurunan laju bubuk. Pada rapat batas butir 91,57/mm ke 92,08/mm ada peningkatan kekerasan yang signifikan.

Pada Gambar 4.15 grafik rapat batas butir terhadap kekerasan linieritas hubungan antara kekerasan dan rapat batas butir dimana rapat batas butir yang paling besar yaitu 96.73 /mm dengan laju bubuk 1.6 lb/h dengan tingkat kekerasan 382,34

kg/mm<sup>2</sup>. Rapat batas butir yang paling kecil yaitu 91,57 /mm dengan laju bubuk 2.2 lb/h dengan tingkat kekerasan 225,20 kg/mm<sup>2</sup>. Sedangkan laju bubuk 1.8 lb/h besarnya kekerasan 313,02 kg/mm<sup>2</sup> dengan rapat batas butir 92,08 /mm yang menunjukkan adanya peningkatan kekerasan yang signifikan pada grafik tersebut.

Dari hasil Tabel 4.6 Hubungan rapat batas butir terhadap kekerasan dan hubungannya dengan arus dan laju bubuk. Dapat dibuat dalam grafik hubungan antara rapat batas butir terhadap kekerasan dengan beban *indenter* 1000 gr (Gambar 4.16) untuk melihat pengaruh rapat batas butir terhadap kekerasan pada beban *indenter* 1000 gr.

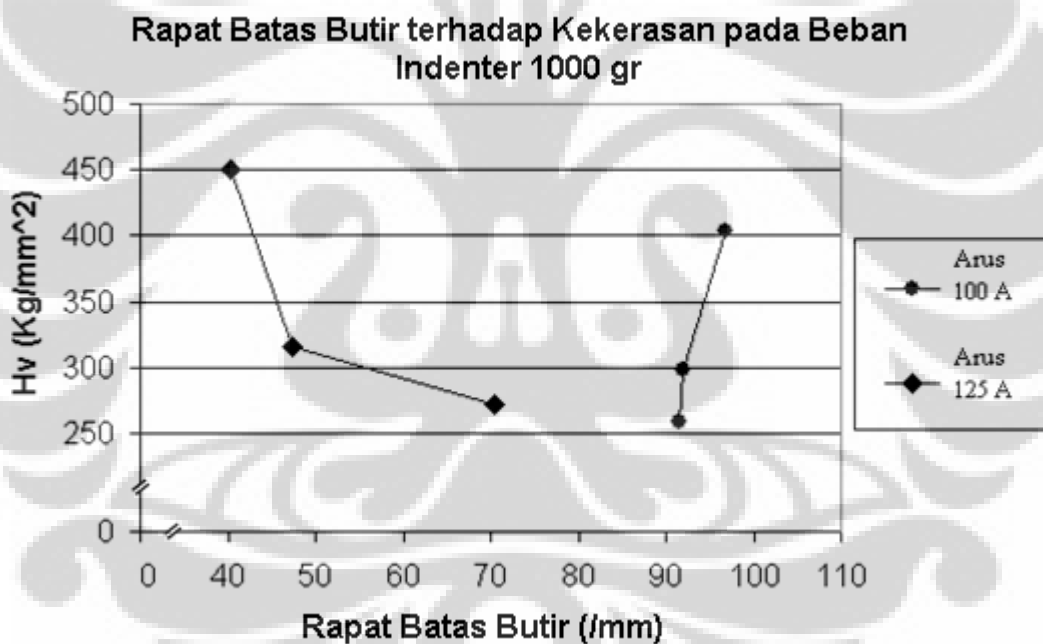


Gambar 4.16 Grafik rapat batas butir terhadap kekerasan sampel dengan arus 125 A dengan beban *indenter* 1000 gr. Menunjukkan terjadi peningkatan kekerasan seiring penurunan rapat batas butir (butirannya semakin kasar) dan penurunan laju bubuk.

Pada Gambar 4.16 Grafik rapat batas butir terhadap kekerasan adanya hubungan berbalik antara kekerasan dan rapat batas butir dimana rapat batas butir yang paling besar yaitu 70.43 /mm dengan laju bubuk 2.2 lb/h dengan tingkat kekerasan 272.00 kg/mm<sup>2</sup>. Rapat batas butir yang paling kecil yaitu 40.42 /mm dengan laju bubuk 1.6 lb/h dengan tingkat kekerasan 450.67 kg/mm<sup>2</sup>. Sedangkan

laju bubuk 1.8 lb/h besarnya kekerasan  $315.15 \text{ kg/mm}^2$  dengan rapat batas butir 47.26 /mm. Hal ini mengindikasikan semakin meningkat kekerasan maka rapat batas butir semakin kecil atau butiran mikrostrukturnya semakin kasar. Jika diperhatikan indikasi kekerasan dan rapat batas butir terhadap laju bubuk semakin meningkat kekerasan dan penurunan rapat batas butir maka laju bubuk semakin besar. Sampel yang memiliki tingkat kekerasan dan rapat batas butir yang paling optimal pada sampel dengan arus 125 A dan laju bubuk 1.6 lb/h.

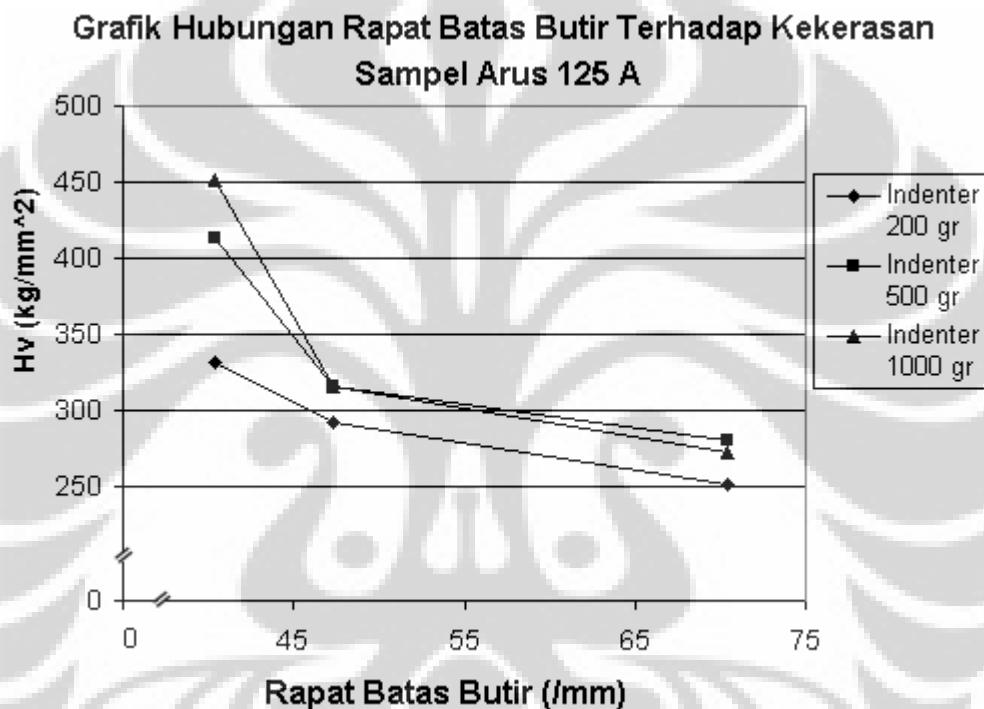
Untuk menggambarkan rapat batas butir terhadap kekerasan sampel dengan arus 100 A dan 125 A pada pembebanan 1000 gr , ditunjukkan Gambar 4.17 Berikut ini:



Gambar 4.17 Grafik rapat batas butir terhadap kekerasan sampel dengan arus 100 A dan 125 A. Grafik mengindikasikan terjadinya peningkatan kekerasan seiring dengan peningkatan rapat batas butir (semakin halus butirannya) untuk sampel dengan kuat arus 100A dan terjadi sebaliknya pada sampel dengan arus 125 A.

Gambar 4.17 Grafik rapat batas butir terhadap kekerasan sampel dengan arus 100 A dan 125 A. Grafik mengindikasikan terjadinya peningkatan kekerasan seiring

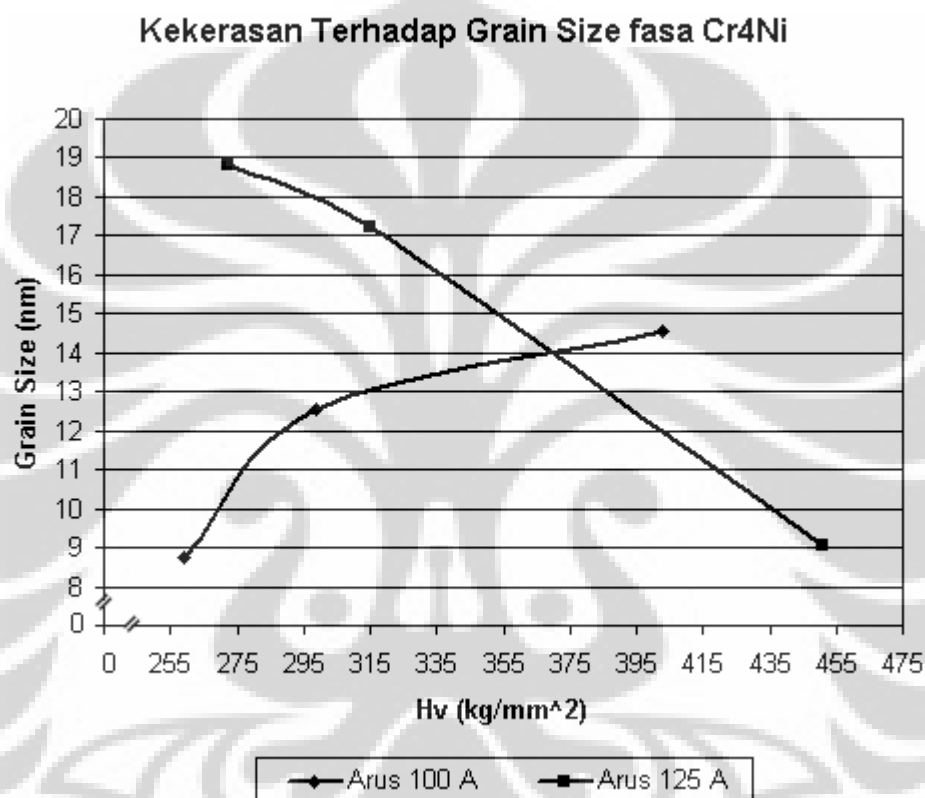
dengan peningkatan rapat batas butir (semakin halus butirannya) untuk sampel dengan kuat arus 100A dan terjadi sebaliknya pada sampel dengan arus 125 A. Untuk dapat membandingkan grafik hubungan antara rapat batas butir terhadap kekerasan dengan beban *indenter* 200, 500 dan 1000 gr pada sampel *coating* dengan variasi arus 125 A digambarkan Gambar 4.18 untuk membandingkan pengaruh rapat batas butir terhadap kekerasan dengan beban *indenter* dan laju bubuk.



Gambar 4.18 Grafik rapat batas butir terhadap kekerasan sampel dengan arus 125 A dengan beban *indenter* 200, 500 dan 1000 gr. Menunjukkan terjadi peningkatan kekerasan seiring penurunan rapat batas butir (butirannya semakin besar) untuk masing-masing beban *Indenter*. Hal ini berarti semakin ditingkatkan laju bubuk butirannya akan semakin halus dan kekerasannya akan semakin menurun.

Berdasarkan grafik rapat batas butir terhadap kekerasan sampel dengan arus 125 A ditunjukkan Gambar 4.18. Hasil yang digambarkan grafik pada masing-masing beban *indenter* 200, 500 dan 1000 gr menunjukkan bentuk grafik yang memiliki kemiripan dimana dengan menurunnya rapat batas butir maka kekerasannya meningkat. pada masing-masing beban *indenter*.

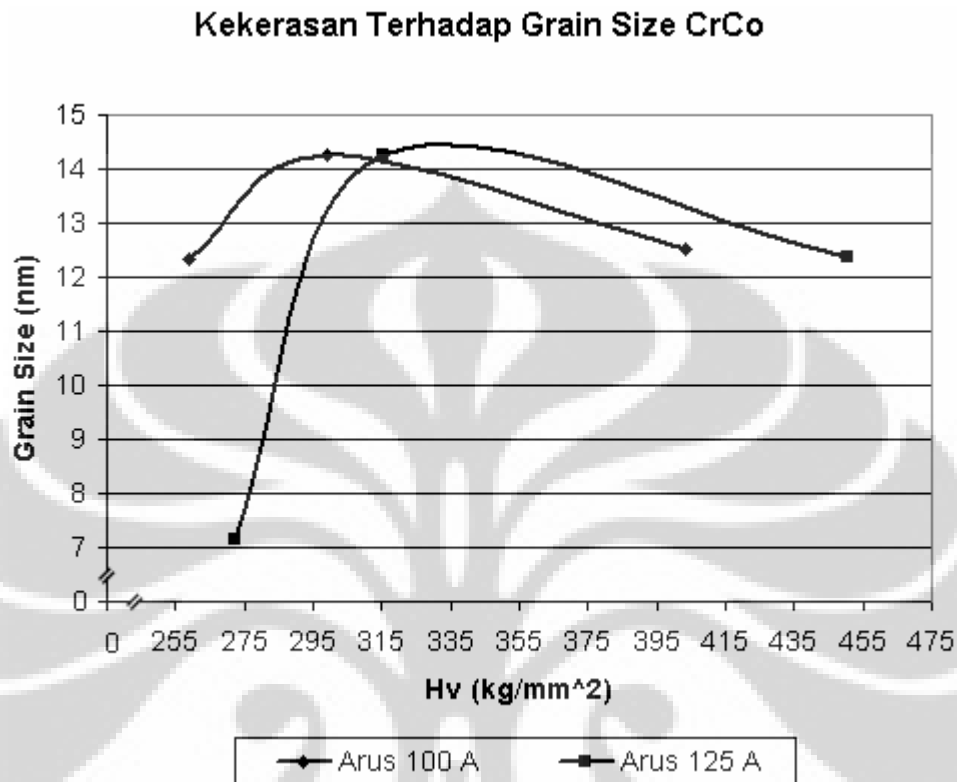
Hasil yang ditunjukkan oleh Gambar 4.18 tidak lepas dari pengaruh fasa CrCo dan Cr<sub>4</sub>Ni dengan peningkatan rapat batas butir kecendrungan kekerasannya semakin menurun. Hal ini mengindikasikan adanya hukum *reverse Hall-Petch* karena ukuran *grain size* dari fasa CrCo dan Cr<sub>4</sub>Ni mendekati skala 1 nanometer Gambar 3.10 (BAB 3). Untuk dapat melihat pengaruh fasa CrCo dan Cr<sub>4</sub>Ni digambarkan oleh Gambar 4.19 Kekerasan terhadap *grain size* berikut ini:



Gambar 4.19 Pengaruh kekerasan terhadap *grain size* fasa Cr<sub>4</sub>Ni. Pada sampel yang menggunakan arus 100 A terjadi peningkatan kekerasan seiring perbesaran ukuran butirnya. Yang terjadi pada Sampel yang menggunakan arus 125 A kekerasannya meningkat seiring ukuran butirnya mengecil.

Gambar 4.19 Pengaruh kekerasan terhadap *grain size* fasa Cr<sub>4</sub>Ni. Pada sampel yang menggunakan arus 100 A terjadi peningkatan kekerasan seiring perbesaran ukuran butirnya. Yang terjadi pada Sampel yang menggunakan arus 125 A kekerasannya meningkat seiring ukuran butirnya mengecil.

Untuk dapat melihat pengaruh ukuran butir fasa CrCo digambarkan oleh Gambar 4.20 berikut ini:

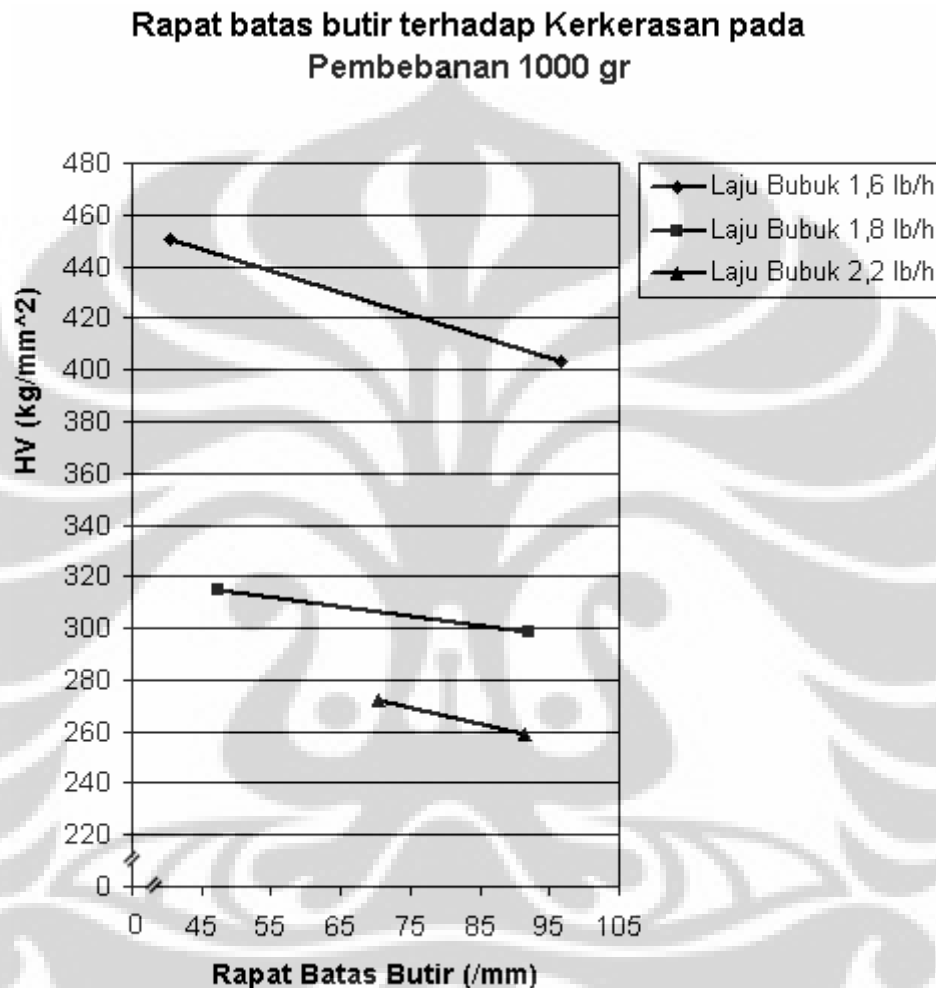


Gambar 4.20 Pengaruh kekerasan terhadap *grain size* fasa CrCo. Pada sampel yang menggunakan arus 100 A terjadi peningkatan kekerasan dan ukuran butirnya tetapi kemudian ukuran butirnya menurun. Begitu juga yang terjadi pada sampel yang menggunakan arus 125 A kekerasannya meningkat seiring ukuran butirnya mengecil.

Gambar 4.20 Pengaruh kekerasan terhadap *grain size* fasa CrCo. Pada sampel yang menggunakan arus 100 A terjadi peningkatan kekerasan dan ukuran butirnya tetapi kemudian ukuran butirnya menurun. Begitu juga yang terjadi pada sampel yang menggunakan arus 125 A kekerasannya meningkat seiring ukuran butirnya mengecil.

#### 4.7 Pengaruh Laju Bubuk Terhadap Rapat Batas Butir dan Kekerasan

Dilihat dari laju bubuknya diperoleh hubungan antara rapat batas butir dengan kekerasan pada pembebanan 1000 gr ditunjukkan oleh Gambar 4.21:



Gambar.4.21 Grafik hubungan rapat batas butir terhadap kekerasan pada masing-masing laju bubuk 1.6, 1.8 dan 2.2 lb/h. Kekerasan maksimal diperoleh pada laju bubuk 1.6 lb/h dengan rapat batas butir terkecil.

Dari Gambar.4.21 grafik hubungan rapat batas butir terhadap kekerasan pada masing-masing laju bubuk 1.6, 1.8 dan 2.2 lb/h kekerasan maksimal diperoleh pada laju bubuk 1.6 lb/h. Berdasarkan gambar tampak semakin kecil laju bubuk maka kekerasannya semakin besar sedangkan jika dibandingkan dari kuat arusnya semakin ditingkatkan kuat



arusnya kekerasannya semakin meningkat. Rapat batas butir semakin kecil kekerasannya semakin besar hal ini berlaku hukum kebalikan Hall-Petch.

Berdasarkan gambar grafik hubungan antara kekerasan, rapat batas butir, arus dan laju bubuk, dari grafik tersebut tampak jelas hubungan ke-enam sampel dengan variasi arus dan laju bubuk terhadap pengaruh rapat batas butir dan kekerasan (Hv). Untuk sampel dengan variasi 100 A dan laju bubuk 1.6 lb/h rapat batas butir lebih besar dibandingkan dengan sampel dengan variasi arus 125 A. Tetapi jika dilihat dari laju bubuknya sampel dengan variasi arus 100 A dan 125 A memiliki kesamaan semakin diturunkan laju bubuknya maka kekerasannya semakin meningkat. Terjadi sebaliknya pada sampel dengan variasi arus 125 A semakin besar rapat batas butirnya maka kekerasannya semakin menurun. Hal ini mengindikasikan adanya hukum kebalikan Hall-Petch karena dipengaruhi oleh ukuran kristal atau ukuran butir fasa CrCo dan Cr<sub>4</sub>Ni.

Pada kurva paschen (BAB 2) menunjukkan tekanan dan tegangan akan berbanding lurus setelah berada pada titik tertentu yang merupakan titik minimal tekanan dan tegangan. Berdasarkan kurva paschen kemungkinan bisa terjadi pada variasi arus dan laju bubuk, jika laju bubuk dengan arus 100 A diturunkan maka rapat batas butir dan kekerasannya semakin meningkat. Terjadi sebaliknya pada rapat batas butir sampel dengan variasi arus 125 A semakin ditingkatkan laju bubuknya maka rapat batas butir menurun dan kekerasannya semakin meningkat. Tetapi pada titik tertentu dapat saja ada korelasi linier antara tekanan dan kuat arus seperti yang ditunjukkan oleh kurva paschen. Hal ini disebabkan oleh pengaruh tegangan sudut terhadap jarak dan tekanan juga dipengaruhi fasa CrCo dan Cr<sub>4</sub>Ni.

## BAB 5 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian terhadap pembuatan *coating* bahan powder Co-Cr-W dengan menggunakan *plasma transferred arc-welding* dapat ditarik kesimpulan:

1. Mikrostruktur yang optimal dapat dibuat dengan menggunakan *plasma transferred arc-welding* dengan melakukan variasi-variasi material bubuk, laju bubuk dan kuat arus.
2. Mikrostruktur yang terbaik diperoleh rapat batas butirnya 40/mm jika menggunakan arus 125 A dengan laju bubuk 1.6 lb/h dengan kekerasan 450 kg/mm<sup>2</sup> dengan *grain size* fasa CrCo 12,38 nm dan Cr<sub>4</sub>Ni 9.05 nm
3. Untuk mendapatkan mikrostruktur optimal diperlukan perhatian khusus dengan melakukan kombinasi yang tepat terhadap material bubuk ketika pembuatan *coating*, dan dengan kombinasi pencampuran yang tepat terhadap material bubuk akan diperoleh mikrostruktur yang akan memperbaiki sifat-sifat bahan dengan tingkat kekerasan yang tinggi.
4. Adanya korelasi khusus antara laju bubuk, kuat arus dan persentase material-material logam yang akan dicampur untuk membuat material.

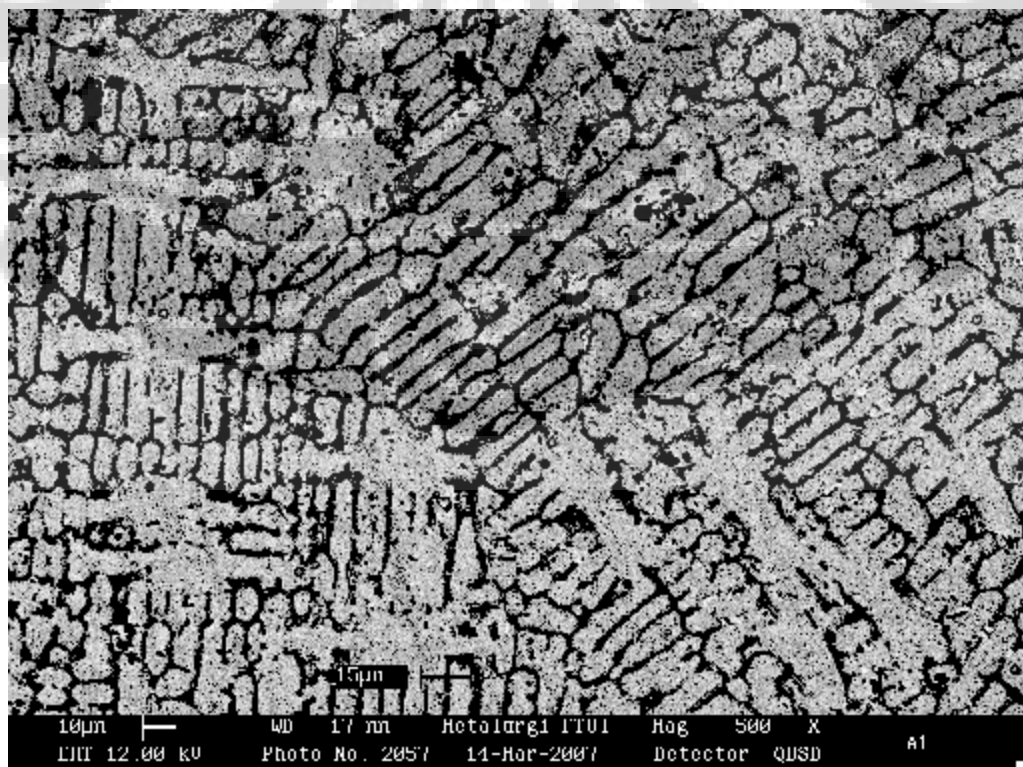
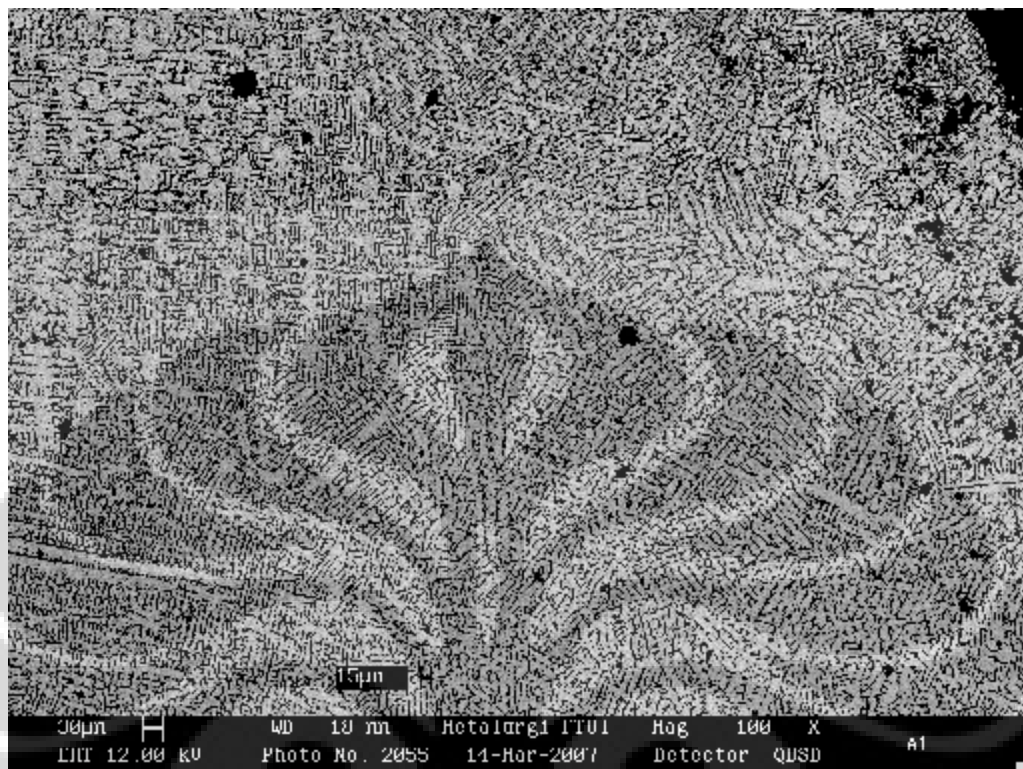
## DAFTAR REFERENSI

- [1]. Barth, Johannes, V. Costantini, Giovanni. & Kern, Klaus. (September 2005). *Engineering atomic and molecular nanostructures at surfaces*, NATURE04166, Vol 437, 29
- [2]. Kebamoto, (Januari 2005). *Gelombang Nanoteknologi*. h.4, YSM Jakarta.
- [3] Karthikeyan, J. Berndt, J. Tikkanen, S. Reddy, H. Herman, (Oktober 1997), *Plasma spray synthesis of nanomaterial powders and deposits*. Materials Science and Engineering A238, 275-286.
- [4] Brandon, David. Kaplan, Wayne D. (September 2003). *Microstruktural Characterization Of Material*, Israel: Israel Institute of Technology.
- [5] Branagan, D.J. Marshall, and Meacham, B.E. *High Toughness High Hardness Iron Based PTAW Weld Materials*, The Nano Steel Company, 505 Lindsay Boulevard, Idaho Falls, 83402. Idaho: Institute of Nanomaterials Research and Development.  
<[http://www.nanosteelco.com/press/2006PDF/high\\_toughness\\_high\\_hardness.pdf](http://www.nanosteelco.com/press/2006PDF/high_toughness_high_hardness.pdf)>
- [6] Hart, K.W. David. Harper, M.J. Gill, Eutectic Canada Inc., Edmonton, Alberta, *Studies in Wear Resistance Using HVOF, PTAW and Spray Fusion Surfacing* Canada: G.R. Heath Castolin S.A., Lausanne, Switzerland Case
- [7] Harper, D. M. Gill, , Anderson, M. *Plasma Transferred Arc Overlays Reduce Operating Costs in Oil Sand Processing*. Canada: K.W.D. Edmonton, Alberta Canada  
<[http://www.castolin.com/wCastolin\\_com/pdf/publications/PTAW.pdf](http://www.castolin.com/wCastolin_com/pdf/publications/PTAW.pdf)  
Ptaw>
- [8] Gandy, D. W. Frederick, G. *Overview of Hot Section Component Repair Methods*. h.31. EPRI RRAC Charlotte, North Carolina.  
<[http://www.epricenter.com/infocenter/ct\\_o\\_and\\_m/pdf/asmpaper102000.pdf](http://www.epricenter.com/infocenter/ct_o_and_m/pdf/asmpaper102000.pdf)>
- [9] Cunat, Pierre-Juan. (2007). *The Welding Of stainless still*, The European stainless still development association.  
<<http://www.advancedstainlessdesign.net/pdf/Welding.pdf>>
- [10] *Gas Metal Arc Welding (GMAW) Guide*. November 1997. USA: American Welding Society. The Lincoln Electric Company.

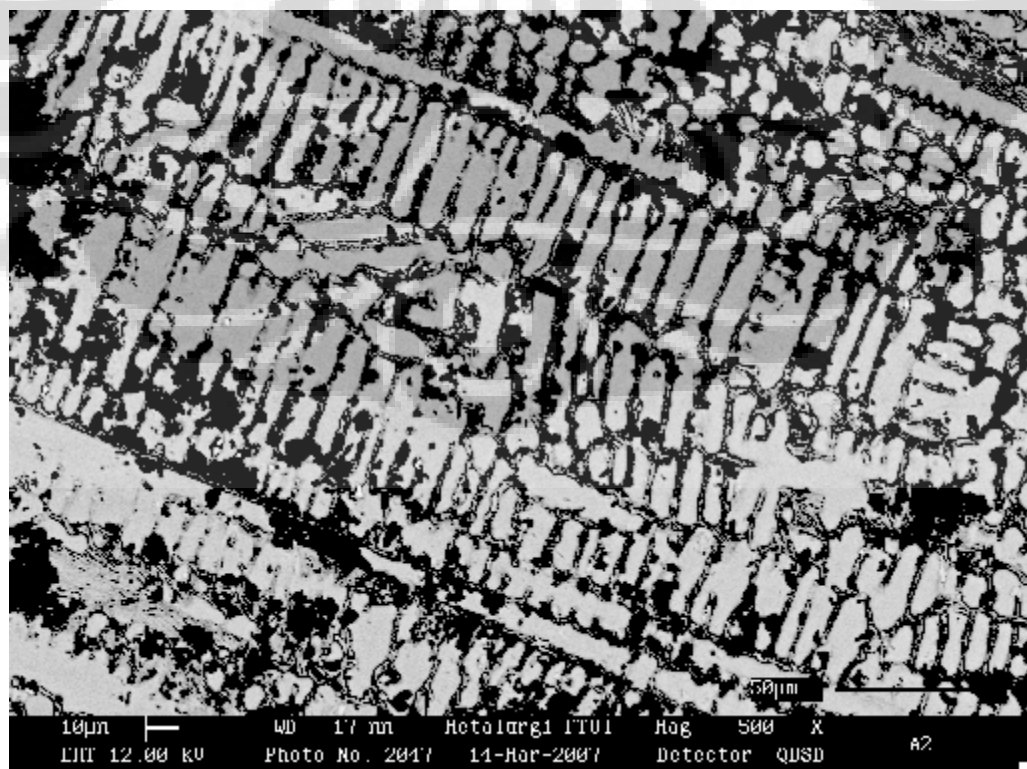
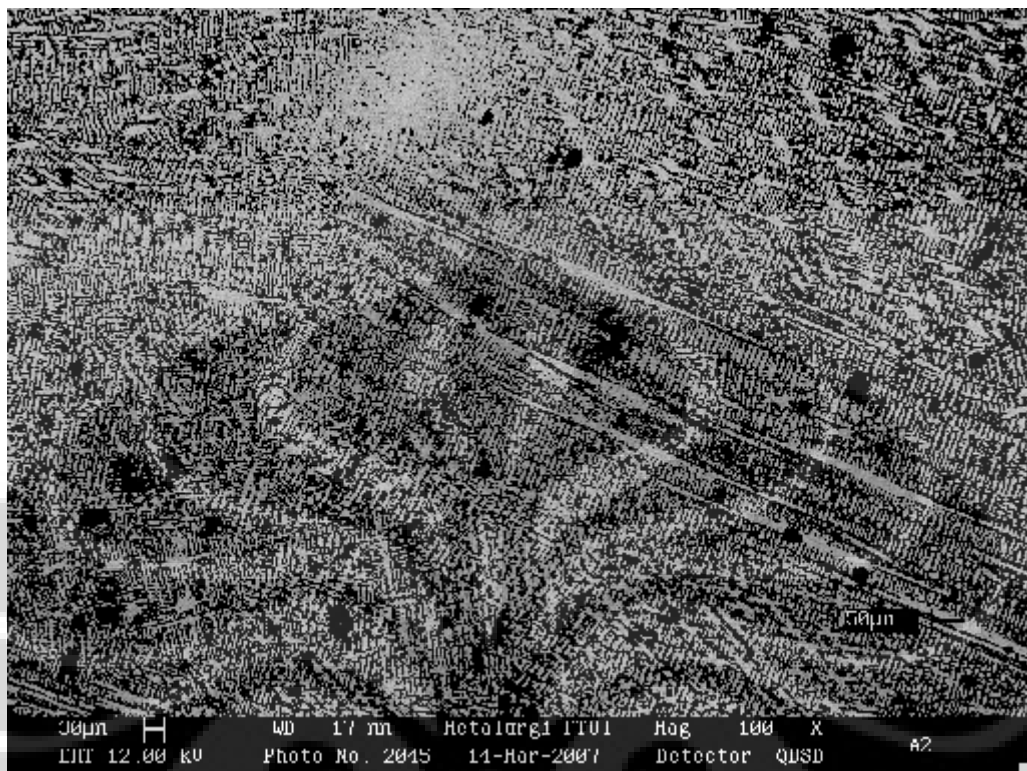
- [11] Harper, D.H. Hart, D. (2000). *New Process for Improved Tungsten Carbide Overlays*, M.J. Gill and G.R. Heath. Poster Presentation, Ed. C.C. Berndt, ITSC.
- [12] Rahaman, Hasibur. (2007). *Investigation Of a High–Power, High–Pressure Spark Gap Switch with High Repetition Rate*. h.13 Nürnberg: Als Dissertation genehmigt von den Naturwissenschaftlichen Fakultäten der Universität Erlangen.  
<<http://www.opus.ub.uni-erlangen.de/opus/volltexte/2007/668/pdf/Hasibthesis.pdf>>
- [13] *Electrical Fundamentals In Arc Welding*.  
<[http://www.millerwelds.com/interests/instructors/pdf/Electrical\\_Fundamentals.pdf](http://www.millerwelds.com/interests/instructors/pdf/Electrical_Fundamentals.pdf)>
- [14] Brandon, David. Kaplan, Wayne D. (September 2003). *Microstruktural Characterization of Material*. Israel: Israel Institute of Technology.
- [15] *Welding Operations I*, Subcourse No. OD1651. USA: United States Army Combined Arms support Command Fort Lee, Virginia 23801-1809  
<<http://www.metalwebnews.org/ftp/welding-operations.pdf>>
- [16] *Vickers Hardness Testing*. MatWeb Material Property Data.  
<<http://www.matweb.com/reference/vickers-hardness.aspx>>
- [17] *Vickers Hardness Test*. <<http://gordonengland.co.uk/hardness/vickers.html>>
- [18] Durairajan, Anand. Colon-Mercado, Hector. Halan, Bara. White, Ralph. Pavov, Branco. (Agustus 2001). *Electrochemical Charterization of Cobalt-encapsulated nickel as catodes for MCFC*. Columbia: Departement chemical of engenering, university of shoud Carolina.
- [19] Benea Lidia, Iordache Viorel-Eugen, Wenger François, Ponthiaux Pierre, Peybernes Jean, Vallory Joëlle. (2005). *Tribocorrosion Mechanism Study Of Stellite-6 and Zircaloy-4 – A Comparison in Lioh-H3bo3 Solutions*. Romania: University of Galati, Dept. of Metallurgy and Materials Science.
- [20] Mahajan, S. Green, M. L. brazen, D. metell. Trans. A, 283 (1997); V. P. Dmitriev, S. B. Rochal, Y. M. Gufan, and P. toledano, Phys. Rev. lett. 62,2495(1989) P. Toledano, G. Krexner, M Prem, H. P. Webwr, and P. Dmitriev, Phys. Rev. B. 64, 144104 (2001).
- [21] Houska, B. L. Averbach, Cohen, M. Acta Matell. 8, 81 (1960);H. Schumamann, Z. Metallkd. 60, 322 (1969)S. Kajiwara, S. Ohno, and K. Honma, Philos. mag. A 63, 625 (1991); C. Kuhrt And L. Schultz, J. Appl. Phys. 73, 6588 (1993)
- [22] *Cobalt and Cobalt Alloys* <<http://www.key-to-metals.com/Article54.htm>>

- [23] Ramesh V. Marreya, Robert. Burgermeistera, Randy B. Grishabera, R.O. Ritchie (November 2005) *Fatigue and life prediction for cobalt-chromium stents: A fracture mechanics analysis*. USA: Materials Science and Engineering University of California.  
<<http://www.lbl.gov/Ritchie/Library/PDF/Cordis-Biomaterials.pdf>>
- [24] *Literature Review* h.18 University of Wollongong Library  
<<http://www.library.uow.edu.au/adt-NWU/uploads/approved/adt-NWU20051104.151041/public/03Chapter2.pdf>>
- [25] Carek, Andreja. Živko-Babić, Jasenka. Schauerl, Zdravko. Jakovac, Marko. (2007). *Macroscopic Analysis of Co-Cr Base Alloys Joints*. Department of Materials, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb.  
<[http://www.ascro.net/fileadmin/user\\_upload/2007/volume\\_41/number\\_07-3/carek\\_07-3/carek\\_07-3.pdf](http://www.ascro.net/fileadmin/user_upload/2007/volume_41/number_07-3/carek_07-3/carek_07-3.pdf)>
- [26] John E P Metcalf, Jess Cawley and Tim J Band. (2004) *Cobalt Chromium Molybdenum Metal-on-Metal Resurfacing Or thopaedic Hip Devices*. UK: Sheffield Hallam University.  
<<http://www.touchbriefings.com/pdf/954/ACF3EFE.pdf>>
- [27] Van Vlack, H, Lawrance. 6<sup>th</sup> Edition (1998). *Element of Material Science and Engenering*. Additison Welay Publising Company, inc.
- [28] Cullity B.D. (nov 1997). *Element of X-Ray Diffraction*. Additison Welay Publising Company, inc.
- [29] Agustinus Arif Sartono. (2008). *Pengaruh Laju Bubuk Terhadap Struktur Kristal dan Komposisi Fasa pada Lapisan Stellite 6 yang Dibuat dengan Proses PTAW*. Indonesia: Departemen Fisika FMIPA Universitas Indonesia.

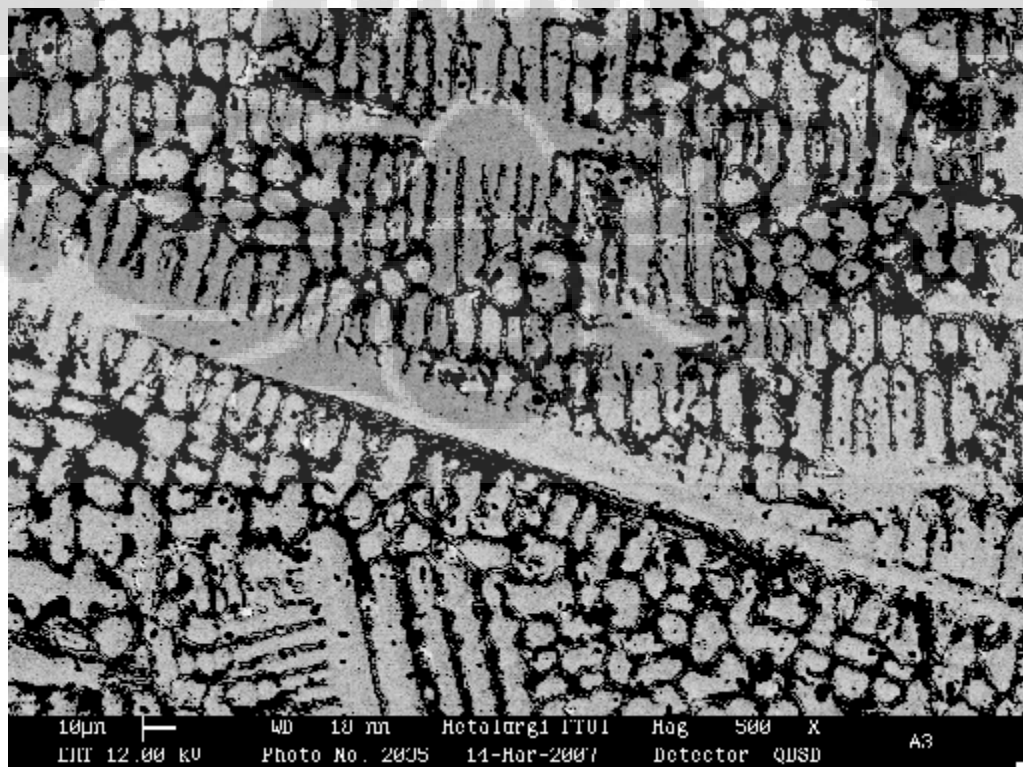
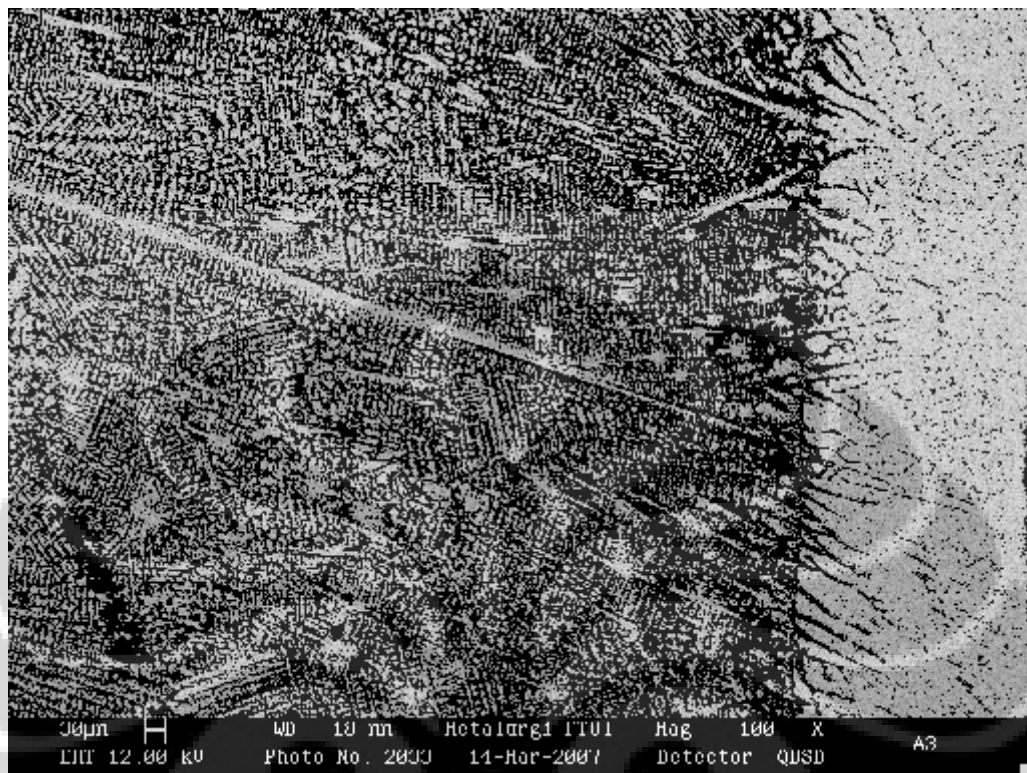
Lampiran 1. Hasil SEM Untuk Sampel Dengan Arus 100 A Dan Laju Bubuk 1.6 lb/h perbesaran 100x dan 500x



**Lampiran 2. Hasil SEM Untuk Sampel Dengan Arus 100 A Dan Laju Bubuk  
1.8 lb/h perbesaran 100x dan 500x**

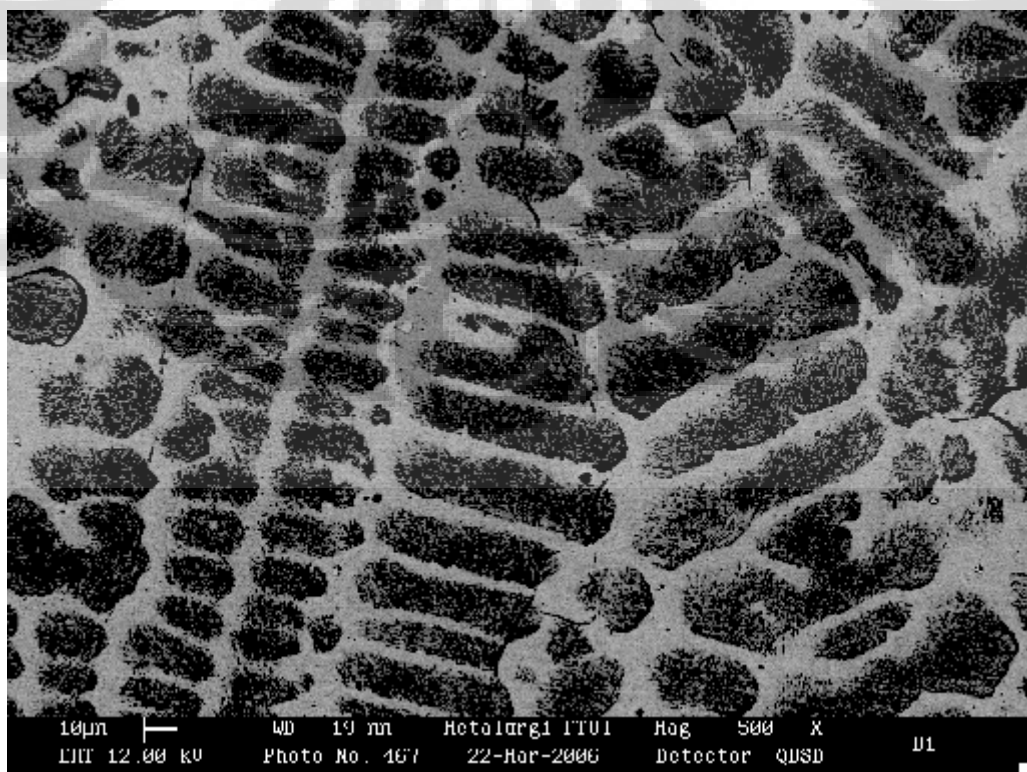
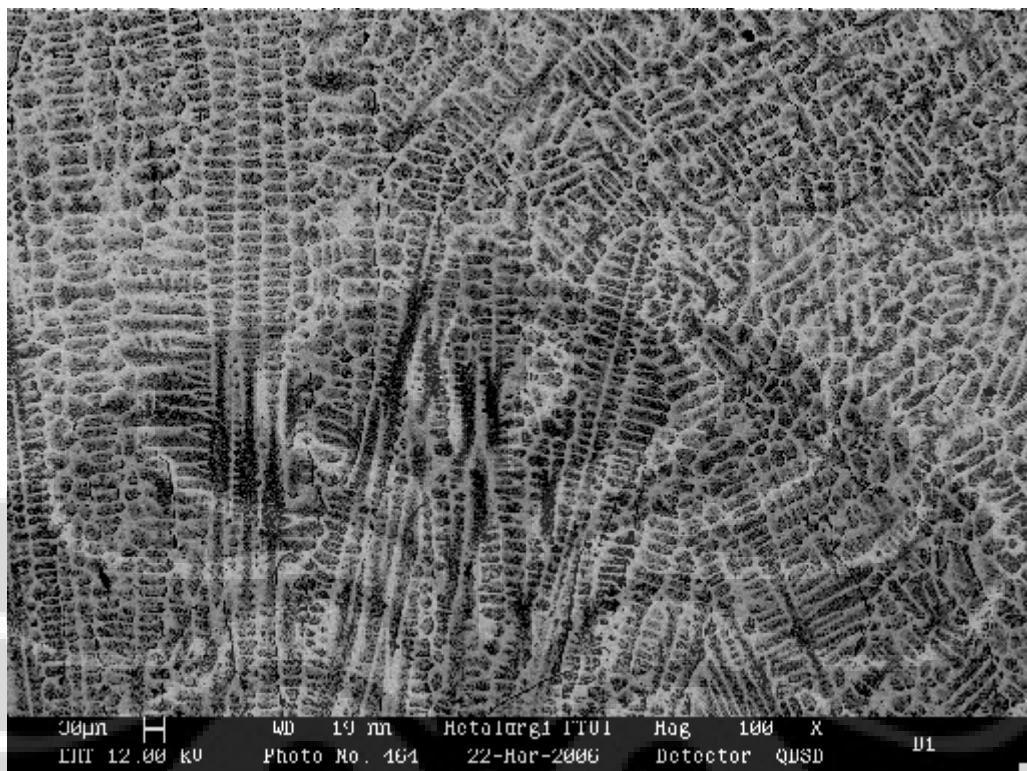


Lampiran 3. Hasil SEM Untuk Sampel Dengan Arus 100 A Dan Laju Bubuk 2.2 lb/h perbesaran 100x dan 500x

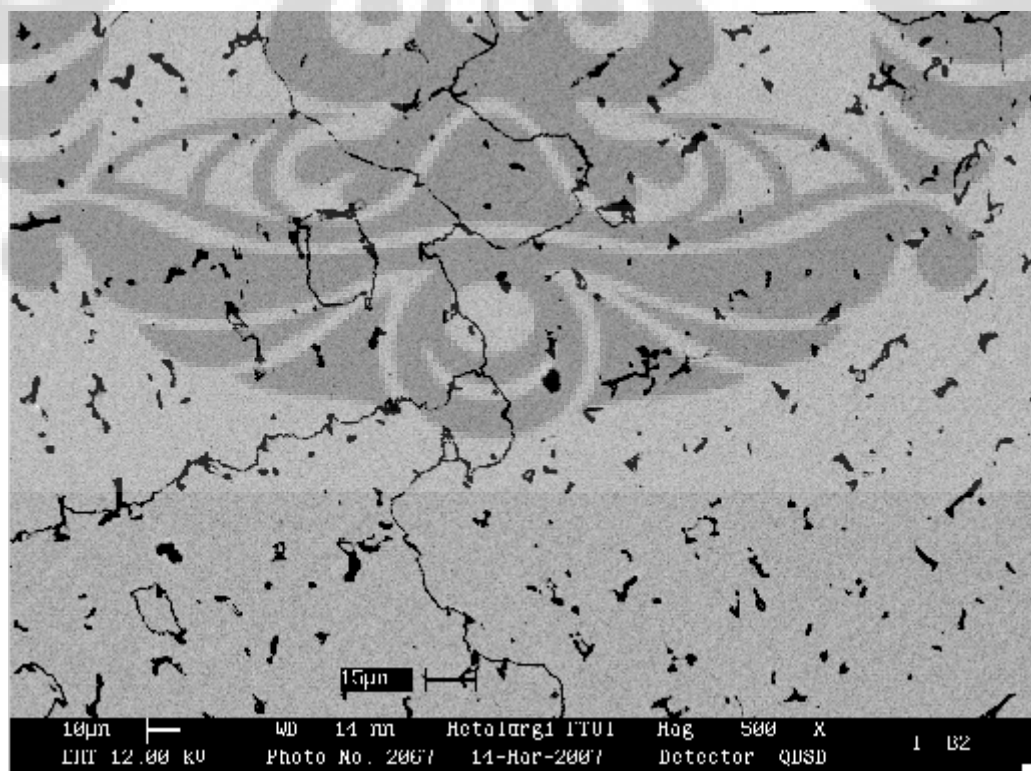
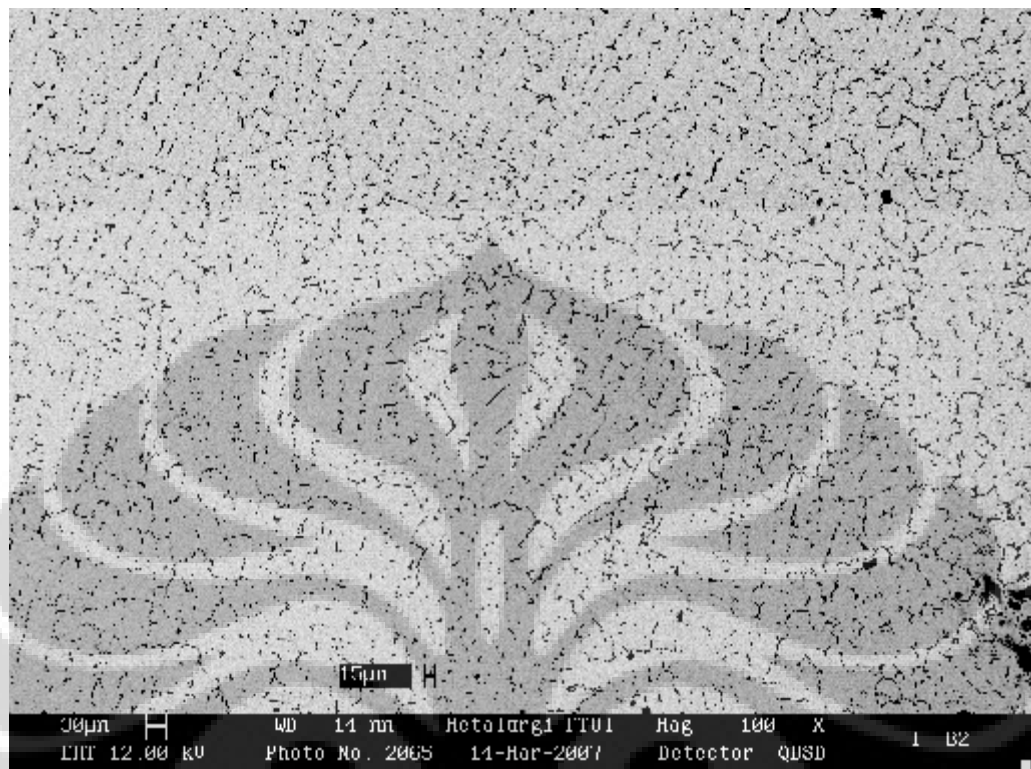




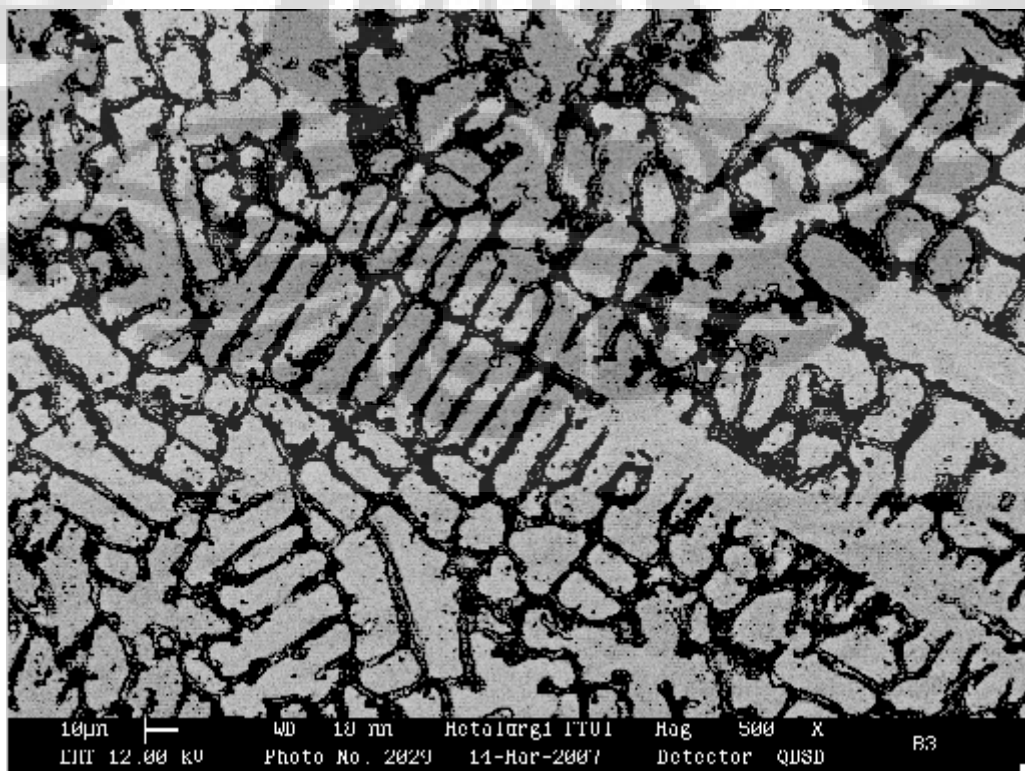
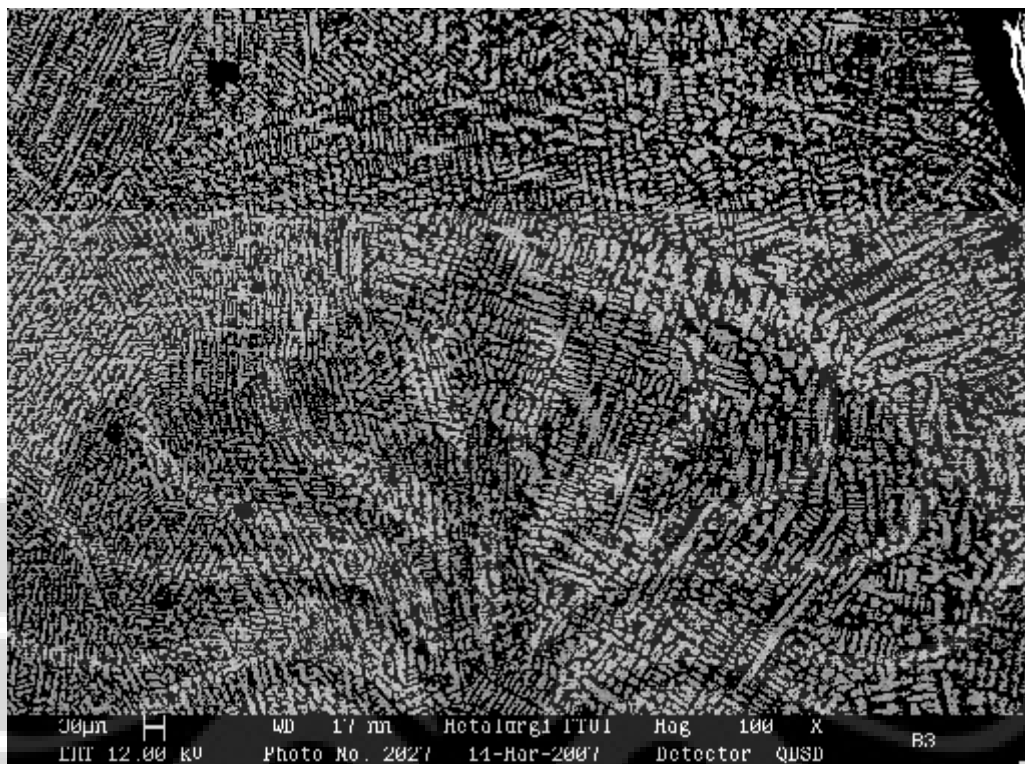
Lampiran 4. Hasil SEM Untuk Sampel Dengan Arus 125 A Dan Laju Bubuk 1.6 lb/h perbesaran 100x dan 500x



**Lampiran 5. Hasil SEM Untuk Sampel Dengan Arus 125 A Dan Laju Bubuk 1.8 lb/h perbesaran 100x dan 500x**



Lampiran 6. Hasil SEM Untuk Sampel Dengan Arus 125A Dan Laju Bubuk 2.2 lb/h perbesaran 100x dan 500x



Lampiran 8. Hasil perhitungan ukuran grain size fasa CrCo sampel Arus 100 A dan 125 A. [28]

No	Bidang hkl	Sudut $2\theta(^{\circ})$	K ( $\text{rad}\cdot\text{A}^{-2}$ )	Lambda (A)	FWHM ( $^{\circ}$ )	Ukuran grain (nm)
1.	111	43,534	0,9	1,5406	0,6211	13,7727
2.	200	50,707	0,9	1,5406	0,6813	12,9033
3.	220	74,540	0,9	1,5406	0,9183	10,8711
Rata-rata ukuran grain 100 A laju bubuk 1.6 lb/h						12
1.	111	43,695	0,9	1,5406	0,5569	15,3690
2.	200	50,898	0,9	1,5406	0,6023	14,6073
3.	220	74,847	0,9	1,5406	0,7799	12,8264
Rata-rata ukuran grain 100 A laju bubuk 1.8 lb/h						14
1.	111	43,784	0,9	1,5406	0,5717	14,9758
2.	200	51,003	0,9	1,5406	0,6959	12,6481
3.	220	75,016	0,9	1,5406	1,0666	9,3893
Rata-rata ukuran grain 100 A laju bubuk 2.2 lb/h						12
1.	111	43,411	0,9	1,5406	0,6034	14,1706
2.	200	50,561	0,9	1,5406	0,6823	12,8766
3.	220	74,305	0,9	1,5406	0,9864	10,1048
Rata-rata ukuran grain 125 A laju bubuk 1.6 lb/h						12
1.	111	43,695	0,9	1,5406	0,5569	15,3690
2.	200	50,898	0,9	1,5406	0,6023	14,6073
3.	220	74,847	0,9	1,5406	0,7799	12,8264
Rata-rata ukuran grain 125 A laju bubuk 1.8 lb/h						14
1.	111	43,921	0,9	1,5406	1,0453	8,1946
2.	200	51,167	0,9	1,5406	1,1819	7,4523
3.	220	75,279	0,9	1,5406	1,718	5,8395
Rata-rata ukuran grain 125 A laju bubuk 2.2 lb/h						7

Lampiran 9 Hasil perhitungan ukuran grain size fasa Cr<sub>4</sub>Ni sampel arus 100 A dan 125 A. [28]

No	Bidang hkl	Sudut 2θ(°)	K (rad.A <sup>-2</sup> )	Lambda (Å)	FWHM (°)	Ukuran grain (nm)
1.	110	43,796	0,9	1,5406	0,3691	23,1971
2.	200	63,665	0,9	1,5406	0,8023	11,6549
3.	211	80,478	0,9	1,5406	1,1790	8,8270
Rata-rata ukuran grain 100 A laju bubuk 1.6 lb/h						15
1.	110	44,696	0,9	1,5406	0,5647	15,2106
2.	200	65,058	0,9	1,5406	0,7830	12,0338
3.	211	82,383	0,9	1,5406	1,0151	10,3999
Rata-rata ukuran grain 100 A laju bubuk 1.8 lb/h						12
1.	110	44,482	0,9	1,5406	0,7883	10,8878
2.	200	64,727	0,9	1,5406	1,1302	8,3217
3.	211	81,929	0,9	1,5406	1,4837	7,0908
Rata-rata ukuran grain 100 A laju bubuk 2.2 lb/h						9
1.	110	44,375	0,9	1,5406	1,0222	8,3933
2.	200	64,560	0,9	1,5406	1,0593	8,8705
3.	211	81,701	0,9	1,5406	1,0614	9,8949
Rata-rata ukuran grain 125 A laju bubuk 1.6 lb/h						9
1.	110	44,641	0,9	1,5406	0,6493	13,2261
2.	200	64,972	0,9	1,5406	0,5641	16,6956
3.	211	82,265	0,9	1,5406	0,4848	21,7564
Rata-rata ukuran grain 125 A laju bubuk 1.8 lb/h						17
1.	110	44,520	0,9	1,5406	0,3980	21,5679
2.	200	64,786	0,9	1,5406	0,5129	18,3433
3.	211	82,010	0,9	1,5406	0,6337	16,6121
Rata-rata ukuran grain 125 A laju bubuk 2.2 lb/h						19