

**PENGARUH LAJU BUBUK TERHADAP STRUKTUR KRISTAL
DAN KOMPOSISI FASA PADA LAPISAN STELLITE 6
YANG DIBUAT DENGAN PROSES PTAW**



TESIS

**AUGUSTINUS ARIF SARTONO
6305220017**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**Pengaruh Laju Bubuk Terhadap Struktur Kristal dan Komposisi Fasa
pada Lapisan Stellite 6 yang Dibuat dengan Proses PTAW**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister

**Augustinus Arif Sartono
6305220017**


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

PENGESAHAN


Tesis ini diajukan oleh :
Nama : Augustinus Arif Sartono
NPM : 6305220017
Program Studi : Magister Fisika
Judul Tesis : Pengaruh Laju Bubuk Terhadap Struktur Kristal dan Komposisi Fasa Pada Lapisan Stellite 6 yang Dibuat dengan Proses PTAW

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

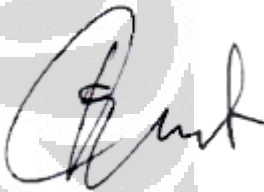
DEWAN PENGUJI



Dr. Azwar Manaf




Dr. Budhy Kurniawan




Dr. Agus Salam

PEMBIMBING




Dr. Kebamoto



Dr. Muhammad Hikam

MENGETAHUI

Ketua Program Studi Magister Fisika
FMIPA Universitas Indonesia



Dr. Dedi Suyanto
NIP : 130 935271

Tanggal Lulus : 26 April 2008.

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Augustinus Arif Sartono
NPM : 6305220017
Program Studi : Magister Fisika
Fakultas : Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam UI
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 Laju Bubuk Terhadap Struktur Kristal dan Komposisi Fasa pada Lapisan Stellite 6 yang Dibuat dengan Proses PTAW

Beserta perangkat yang ada (bila diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non Eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia /format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta izin 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 sendiri.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta
Pada tanggal : 26 April 2008
Yang menyatakan :



Augustinus Arif Sartono
NPM : 6305220017

ABSTRAK

Nama : Augustinus Arif Sartono
Program Studi : Magister Fisika
Judul Tesis : Pengaruh Laju Bubuk Terhadap Struktur Kristal dan Komposisi Fasa pada Lapisan Stellite 6 yang Dibuat dengan Proses PTAW

Lapisan Stellite 6 dibuat dengan berbagai laju bubuk yang masuk dalam plasma pada proses pelapisan dengan teknik Plasma of Transferred Arc-Welding (PTAW). Sampel kemudian diperiksa dengan EDX, SEM dan XRD. Dari analisa data XRD serta pengukuran kekerasan, diperoleh bahwa kekerasan maksimum terjadi pada laju bubuk 1,6 Lb/jam atau (0,73 kg/jam) dan menurun terhadap laju bubuk.

Kata kunci : laju bubuk

ABSTRACT

Name : Augustinus Arif Sartono
Study Program : Magister of Physics
Thesis Title : The Powder Flow Rate Influence to Crystal Structure and Phase Composition on Stellite 6 Coat which is Made by PTAW Process.

Stellite 6 film was made by Plasma of Transferred Arc-Welding (PTAW), its powder deposition rate was varied. The specimen was then examined by EDX, SEM and XRD. The XRD analysis and hardness measurement show that the optimum hardness happened at powder flow rate 1,6 Lb/hr (0,73 kg/hr) and it's decrease as function of powder rate deposition.

Keyword : powder flow rate

DAFTAR ISI

(1)

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Umum	1
1.2. Latar Belakang	1
1.3. Rumusan Masalah	2
1.4. Hipotesis	2
1.5. Batasan Masalah	2
1.6. Tujuan	3
BAB 2 DASAR TEORI	4
2.1. Ikhtisar dari Teknologi Pelapisan Logam	4
2.2. Ikhtisar Plasma Transferred Arc Welding	4
2.3. X-Ray Diffraction (XRD)	6
2.4. Hukum Bragg	9
2.5. Sistem Kristal dan Indeks Miller	11
2.6. Metode Analisis Rietveld	14
2.6.1. Prinsip dasar	14
2.6.2. Persamaan Profile Pola Difraksi	14
2.6.3. Metode Perhitungan	17

DAFTAR ISI

(2)

BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1.	Pendahuluan.....	19
3.2.	Proses Penelitian.....	19
3.2.1.	Kandungan Stellite 6	20
3.2.2.	Proses Pembuatan Sampel.....	20
3.2.3.	Penelitian Khusus.....	24
3.3.	Pengujian dengan Sinar-X.....	25
3.4.	Spesifikasi Alat.....	25
3.5.	Persiapan Pengukuran.....	27
3.6.	Kronologi Penelitian	28
BAB 4	PEMBAHASAN DAN ANALISA	29
4.1.	Hasil Preparasi Lapisan dengan Metode PTAW	29
4.2.	Hasil Pengukuran dan Identifikasi Pola Difraksi Sinar-X Lapisan...30	
4.3.	Analisa XRD dengan Menggunakan Metode Rietveld	32
4.3.1.	Proses Refinement Sampel Kategori A dan B	35
4.3.3.	Proses Refinement Sampel Quenching 1000°C	38
4.3.4.	Data Parameter Kisi dan Data Posisi Atom	41
4.3.4.	Hasil Perhitungan	43
4.4.	Analisa Struktur Kristal	50
4.5.	Karakterisasi Struktur Mikro dengan SEM	50
4.6.	Karakterisasi Kekerasan	52
4.7.	Diskusi	52
4.7.1.	Sampel A Sebelum Quenching dan Sesudah Quenching	52
4.7.2.	Sampel B Sebelum Quenching dan Sesudah Quenching	58
4.7.3.	Persamaan Stoikiometri	65
BAB 5	KESIMPULAN	67
	DAFTAR PUSTAKA	69
	LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH	71
	LAMPIRAN	72

DAFTAR TABEL

2.1.	Target material dan konstanta yang berhubungan	9
2.2.	Sistem kristal pada bahan secara tiga dimensi	12
3.1.	Kandungan unsur Stellite 6	20
3.2.	Daftar rencana pembuatan sampel dengan variasi arus dan laju bubuk (flow rate)	23
4.1.	Hasil preparasi lapisan dengan teknik PTAW quenching 1000 °C	29
4.2.	Data parameter kisi hasil analisis dengan program RIETAN	41
4.3.	Data parameter kisi hasil analisis dengan program RIETAN	42
4.4.	Data fraksi massa CrCo, Cr ₄ Ni, dan Cr ₂ O ₃	43
4.5.	Data kerapatan atom dan volume unit sel untuk sampel A dan B	43
4.6.	Data kerapatan atom dan volume unit sel untuk sampel A dan B quenching pada suhu 1000 °C	44
4.7.	Hasil perhitungan ukuran grain fasa CrCo sampel A dan B	45
4.8.	Hasil perhitungan ukuran grain fasa Cr ₄ Ni sampel A dan B	46
4.9.	Hasil perhitungan ukuran grain fasa CrCo hasil quench	47
4.10.	Hasil perhitungan ukuran grain fasa Cr ₄ Ni hasil quench	48
4.11.	Hasil perhitungan ukuran grain fasa Cr ₂ O ₃ hasil quench	49
4.12.	Ukuran dendrite dan jarak batas dendrite	51
4.13.	Hasil pengukuran kekerasan	53

DAFTAR GAMBAR

(1)

2.1.	Pelapisan dengan teknik PTAW.....	5
2.2.	Pengontrol utama pelapisan dengan teknik PTAW.....	6
2.3.	Skema sistem kerja tabung sinar-x.....	7
2.4.	Panjang gelombang dan intensitas	7
2.5.	Grafik intensitas radiasi sinar-x	8
2.6.	Ilustrasi peristiwa difraksi menurut Bragg	10
2.7.	Sistem kristal pada bahan CsCl (Cesium Chlorida).....	11
2.8.	Indeks Miller pada bidang sistem cubic sederhana.....	13
3.1.	Bahan dasar pembuatan sampel penelitian, potongan baja dipakai	19
3.2.	Grafik komposisi kandungan unsur Stellite 6, tampak bahwa sampel ini didominasi oleh Co dan Cr dan sedikit W, Ni, Fe, Si dan C	20
3.3.	Proses welding pembuatan sampel. Proses penyemprotan busur plasma (PTAW) ini, energi thermal / panas dari busur listrik yang beroperasi antara 40 kW – 80 kW bersama dengan suatu gas pembentuk plasma, yaitu nitrogen atau argon, digunakan untuk mencairkan dan menembakkan material pelapis pada kecepatan tinggi (~600 m/det) kepada material yang akan dilapisi (substrate)	21
3.4.	Skema Welding, Pada proses penyemprotan busur plasma, energi thermal /panas dari busur listrik (biasanya beroperasi pada 40 kW atau 80 kW) bersama dengan suatu gas pembentuk plasma, baik nitrogen atau argon, digunakan untuk mencairkan dan menembakkan material pelapis pada kecepatan tinggi kepada material yang akan dilapisi (substrate). Tujuan utama dari sistem ini adalah untuk menghasilkan suhu tinggi yang mencapai 1600 °C untuk menempelkan (deposisi) material dengan temperatur leleh yang tinggi	22
3.5.	Prinsip kerja pelapisan, material pelapis biasanya dalam bentuk bubuk dan memerlukan gas pembawa untuk memasukkan bubuk ke dalam ruang pembakaran api plasma. Karena semprotan yang keras dari masing-masing partikel, kekuatan ikat yang tinggi bisa didapatkan pada pelapisan (bubuk simpanan).	23
3.7.	Diagram langkah penelitian.	28
4.1.	Pola difraksi sinar-x sampel dengan laju bubuk 1,6 lb/jam, 1,8 lb/jam, 2,2 lb/jam dan kuat arus 100 ampere	30
4.2.	Pola difraksi sinar-x sampel dengan laju bubuk 1,6 lb/jam, 1,8 lb/jam, 2,2 lb/jam dan kuat arus 125 ampere	31
4.3.	Pola difraksi sinar-x sampel dengan laju bubuk 1,6 lb/jam, 1,8 lb/jam, 2,2 lb/jam dan kuat arus 100 ampere quench pada 1000 °C	31

DAFTAR GAMBAR

(2)

4.4.	Pola difraksi sinar-x sampel dengan laju bubuk 1,6 lb/jam, 1,8 lb/jam, 2,2 lb/jam dan kuat arus 125 ampere quench pada 1000 °C	32
4.5.	Hasil refinement dengan metode Rietveld dengan input paduan Chromium Cobalt	33
4.6.	Hasil refinement dengan metode Rietveld dengan input paduan Chromium Nickel	34
4.7.	Hasil refinement menggunakan metode Rietveld dengan input paduan Chromium Oksida	34
4.8.	Grafik hubungan antara sudut 2θ dengan intensitas yang diperoleh dari data pengukuran XRD dari salah satu sampel. (sampel yang dipakai sebagai contoh ini adalah dengan laju bubuk 2,2 lb/jam dan kuat arus 100 ampere)	35
4.9.	Hasil sementara refinement pola difraksi sinar-x sampel dengan laju bubuk 2,2 lb/jam dan kuat arus 100 ampere, ditemukan fasa CrCo	36
4.10.	Hasil lengkap refinement pola difraksi sinar-x sampel dengan laju bubuk 2,2 lb/jam dan kuat arus 100 ampere (sampel A3), ditemukan fasa CrCo dan Cr ₄ Ni	37
4.11.	Grafik hubungan antara sudut 2θ dengan intensitas yang diperoleh dari data pengukuran XRD dari salah satu sampel. Sampel yang dipakai sebagai contoh ini adalah dengan laju bubuk 1,6 lb/jam dan kuat arus 100 ampere (sampel kategori A1), quenching 1000°C)	38
4.12.	Hasil sementara refinement pola difraksi sinar-x sampel dengan laju bubuk 1,6 lb/jam dan kuat arus 100 ampere, quenching 1000°C ditemukan fasa CrCo	39
4.13.	Hasil sementara refinement pola difraksi sinar-x sampel dengan laju bubuk 1,6 lb/jam dan kuat arus 100 ampere, quenching 1000°C ditemukan fasa CrCo, dan Cr ₄ Ni	40
4.14.	Hasil lengkap refinement pola difraksi sinar-x sampel dengan laju bubuk 1,6 lb/jam dan kuat arus 100 ampere serta quenching 1000°C (sampel A1), ditemukan 3 fasa, yaitu CrCo, Cr ₄ Ni dan Cr ₂ O ₃	40
4.15.	(a) Sistem kristal dari CrCo, (b) sistem kristal dari Cr ₄ Ni, dan (c) sistem kristal dari Cr ₂ O ₃	50
4.16.	Foto SEM sampel dengan laju bubuk 1,6 lb/jam dan kuat arus 100 ampere	51
4.17.	Fraksi massa pada lapisan sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, 2,2 Lb/Jam, kuat arus 100 A sebelum dan sesudah quenching 1000°C	53
4.18.	Kerapatan atom pada lapisan sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, 2,2 Lb/Jam, kuat arus 100 A sebelum dan sesudah quenching 1000°C	54
4.19.	Volume unit cell pada lapisan sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, 2,2 Lb/Jam, kuat arus 100 A sebelum dan sesudah quenching 1000°C	55

DAFTAR GAMBAR

(3)

4.20.	Parameter kisi pada lapisan sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, 2,2 Lb/Jam, kuat arus 100 A sebelum dan sesudah quenching 1000°C	56
4.21.	Diameter grain pada lapisan sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, 2,2 Lb/Jam, kuat arus 100 A sebelum dan sesudah quenching 1000°C	57
4.22.	Kekerasan pada lapisan sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, 2,2 Lb/Jam, kuat arus 100 A sebelum dan sesudah quenching 1000°C	58
4.23.	Fraksi massa pada lapisan sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, 2,2 Lb/Jam, kuat arus 125 A sebelum dan sesudah quenching 1000°C	59
4.24.	Kerapatan atom pada lapisan sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, 2,2 Lb/Jam, kuat arus 125 A sebelum dan sesudah quenching 1000°C	60
4.25.	Volume unit cell pada lapisan sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, 2,2 Lb/Jam, kuat arus 125 A sebelum dan sesudah quenching 1000°C	61
4.26.	Parameter kisi pada lapisan sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, 2,2 Lb/Jam, kuat arus 125 A sebelum dan sesudah quenching 1000°C	62
4.27.	Diameter grain pada lapisan sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, 2,2 Lb/Jam, kuat arus 125 A sebelum dan sesudah quenching 1000°C	63
4.28.	Kekerasan pada lapisan sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, 2,2 Lb/Jam, kuat arus 125 A sebelum dan sesudah quenching 1000°C	64

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Keterangan Lampiran	Hal.
1.	Lampiran 1 : Sertifikat Stellite 6	72
2.	Lampiran 2 : Referensi Fasa CrCo, Cr ₄ Ni, dan Co ₂ O ₃	73
3.	Lampiran 3 : Data EDX Batas Butir.....	74
4.	Lampiran 4 : Grafik EDX Batas Butir	75
5.	Lampiran 5 : Data EDX Butir	76
6.	Lampiran 6 : Grafik EDX Butir	77
7.	Lampiran 7 : Grafik Pengukuran dengan XRD	78
8.	Lampiran 8 : Grafik Hasil Refinement Sampel	82
9.	Lampiran 9 : Tabel Data Posisi Atom	88
10.	Lampiran 10 : Tabel Data Posisi Atom Quenching	90
11.	Lampiran 11 : Gambar Hasil SEM	92
12.	Lampiran 12 : Data Uji Hardness	95
13.	Lampiran 13 : Grafik Kekerasan	97

BAB

1. PENDAHULUAN

1.1. Umum

Peradaban modern telah disokong oleh sebagian besar perkembangan penerapan bidang fisika. Fisika sampai pada saat ini telah maju sangat pesat terutama dalam aplikasi bahan atau alat sebagai alat bantu menyejahterakan kehidupan manusia. Para ilmuwan telah memberikan kontribusi atas perkembangan peradaban modern, namun demikian usaha ke arah penemuan masih terbuka lebar karena misteri alam karya Tuhan yang maha dahsyat selalu dapat memberikan inspirasi untuk menghasilkan karya yang lebih baik lagi.

Dalam kehidupan telah kita nikmati hasil perkembangan teknologi dalam berbagai bidang yang meliputi bidang teknik mekanik, teknik elektro dan bidang material sains. Tesis ini ingin memaparkan penelitian yang berhubungan dengan struktur pelapisan bahan khususnya material zat padat. Diharapkan informasi yang tertuang dalam tesis ini dapat menjadi gambaran seperlunya.

1.2. Latar Belakang

Latar belakang diadakannya penelitian ini berhubungan dengan bidang yang menjadi perhatian bagi program studi fisika murni dan terapan. Bidang material merupakan bagian yang sangat penting untuk diutamakan, agar bagian ini menjadi semakin berkembang di masa yang akan datang. Adapun latar belakang utama dalam penelitian ini adalah :

- 1.2.1. Tuntutan kebutuhan hidup manusia telah banyak mempengaruhi perkembangan teknologi, salah satunya adalah pelapisan permukaan bahan (*coating*).
- 1.2.2. Pelapisan dimaksudkan untuk melindungi permukaan material terhadap lingkungan yang mungkin menyebabkan korosi dan reaksi lain yang merusak, melindungi permukaan dari keausan akibat interaksi antara dua permukaan, memperbaiki sifat fisik dan mekanik dari material yang dilapisi dan tidak kalah pentingnya juga untuk meningkatkan tampilan permukaan.

- 1.2.3. Perubahan fasa dan perubahan ukuran butir akan mempengaruhi sifat material terutama kekerasan menjadi lebih baik dan dapat dimodifikasi sesuai dengan keinginan.

1.3. Rumusan Masalah

Setelah memperhatikan latar belakang, dalam penelitian ini lebih mengutamakan pilihan masalah yang berhubungan dengan bidang fisika murni dan terapan. Pilihan itu dijabarkan dalam rumusan sebagai berikut :

- 1.3.1. Apakah terjadinya perubahan fasa atau perubahan struktur kristal dapat disebabkan oleh perlakuan panas (*heat treatment*) ?
- 1.3.2. Mungkinkah pengaruh laju bubuk dalam pembuatan sampel (pelapisan bahan material) dengan *Plasma of Transferred Arc Welding* (PTAW) menyebabkan perubahan fasa atau perubahan struktur kristal ?

1.4. Hipotesis

Agar penelitian ini lebih terfokus, perlu dirumuskan dugaan-dugaan yang bakal terjadi. Dugaan tersebut dituangkan ke dalam 3 bagian, yaitu :

- 1.4.1. Variasi kuat arus dan laju bubuk pada proses pelapisan dengan *Plasma of Transferred Arc Welding* (PTAW) akan mengakibatkan perubahan komposisi fasa dan struktur lapisan.
- 1.4.2. Perlakuan quenching (pemanasan) menyebabkan munculnya fasa baru dan mempengaruhi sifat mekanik material terutama kekerasan.

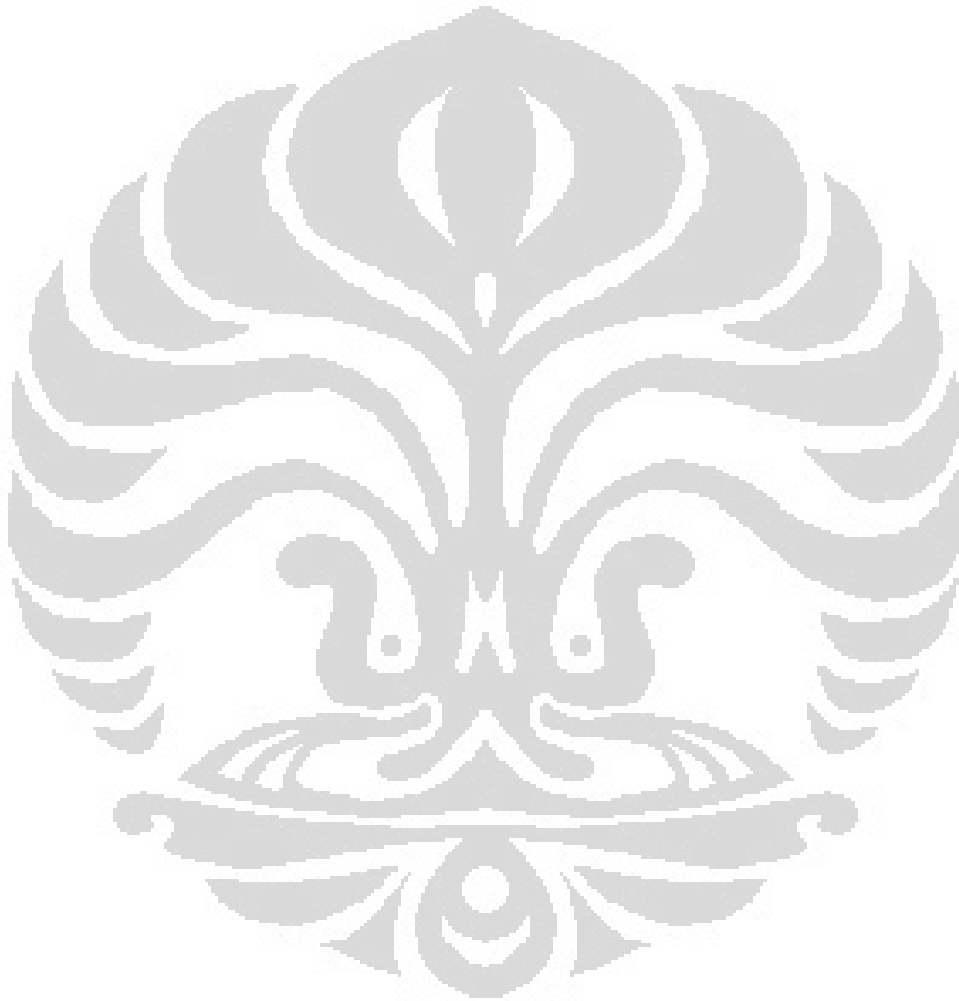
1.5. Batasan Masalah

Pada penelitian ini, yang akan dilakukan adalah menentukan perubahan komposisi fasa pada Stellite 6 (*Cobalt*) yang terbentuk dan pengaruhnya terhadap struktur mikro, komposisi, dan kekerasannya akibat dari perubahan arus dan laju bubuk serta pemanasan (*quenching*).

1.6. Tujuan

Dalam penelitian ini memiliki 3 tujuan, yaitu :

- 1.6.1. Mengetahui pengaruh laju bubuk terhadap struktur kristal dan komposisi fasa pada lapisan Stellite 6 yang dibuat dengan proses PTAW.
- 1.6.2. Mengetahui pengaruh *quenching* terhadap struktur mikro, komposisi, dan kekerasan lapisan.
- 1.6.3. Mengetahui penyebab munculnya fasa baru dalam lapisan.



BAB

2. DASAR TEORI

2.1. Ikhtisar dari Teknologi Pelapisan Logam

Teknologi pelapisan yang bersifat melindungi bahan logam dari berbagai tujuan masing-masing jenis memiliki kelebihan dan kekurangan spesifik berkaitan dengan bahan material yang digunakannya, berbagai jenis aplikasi tersebut antara lain :

- Las Pelapisan (*Welded Overlays*)
- Teknologi pengecoran logam (*Casting & Foundry Technologies*)
- Las Penyambungan (*Brazed Overlays*)
- Proses perlakuan panas (*Heat Treatment Processes*)
- Pelapisan percikan panas (*Thermal Spray Coatings*)
- Penyepuhan (*Electro-Mechanical Plating*)

Dari jenis aplikasi di atas, dua hal pertama yaitu, Las pelapisan (*Welded Overlays*) dan Teknologi pengecoran logam (*Casting & Foundry Technologies*) sering kali dapat digunakan untuk mengoptimalkan pelapisan material yang terbuat dari bahan yang sama. Teknik Las untuk pelapisan lebih lanjut dapat dipecahkan melalui proses:

- *Rod and Powder Brazing* (RB & PB)
- *Flux-Cored Arc Welding* (FCAW)
- *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)
- *Plasma of Transferred Arc Welding* (PTAW)

Teknik pelapisan yang berhubungan dengan bahan material logam dapat dilakukan dengan metode-metode di atas. Tesis ini hanya akan memusatkan pada metode Plasma of Transferred Arc Welding (PTAW).

2.2. Ikhtisar Plasma Transferred Arc Welding

Teknik Plasma Transferred Arc Welding (PTAW) telah diperkenalkan ke dunia industri pada tahun 1964 sebagai metode pelapisan yang membawa perubahan lebih baik dalam mengendalikan perlakuan logam. Sekarang ini, teknik PTAW

membawa perubahan industri dengan menyediakan suatu perubahan teknik dalam bidang tingkat kendali dan ketelitian untuk menghasilkan mutu yang lebih baik terutama dalam ketepatan menyediakan elektroda untuk persyaratan produksi tinggi pada semua tingkat dari kuat arus dalam ampere. Teknik pelapisan plasma dikendalikan secara otomatis sesuai dengan teknik manual.



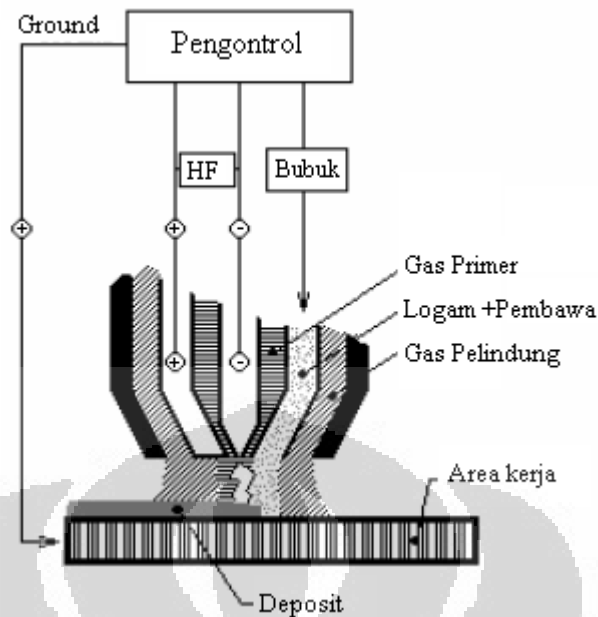
Gambar 2. 1: Pelapisan dengan teknik PTAW

PTAW adalah suatu proses pelapisan di mana suatu busur lingkaran dengan energi tinggi diciptakan untuk mentransfer plasma di antara kepala obor (kutub positif dan negatif), sehingga logam dasar yang akan dilapisi membentuk suatu genangan cairan. Gas mulia, biasanya argon didatangkan ke dalam busur lingkaran elektrik yang bertugas memproduksi suatu kolom plasma. Campuran logam yang berupa bubuk diberi dorongan ke dalam kolom plasma dan kemudian dilelehkan ke dalam substrate, sehingga secara langsung berhubungan dengan substrate.

Keuntungan menggunakan PTAW adalah :

- Laju endapan yang tinggi (sampai 25 kg/jam)
- Efisiensi deposisi yang tinggi (mendekati 85%)
- Pelemahan yang rendah dengan base metal (secara umum kurang dari 10%)

Derajat tingkat pelemahan adalah tergantung tipe substrate dan massanya, dan parameter pelapisan. Tingkat pelemahan yang rendah memastikan bahwa campuran lapisan logam mencapai kebutuhan untuk mengembalikan bentuk sampai yang diperlukan atau mencapai bentuk baru yang dikehendaki. Hal ini penting dalam kaitannya dengan penghematan bahan ketika dibandingkan dengan alat lain yang berfungsi sama untuk menghapuskan efek negatif tentang pelemahan. Sebagai tambahan, PTAW mengizinkan kepada pengguna dalam memilih kandungan lapisan yang dikehendaki.



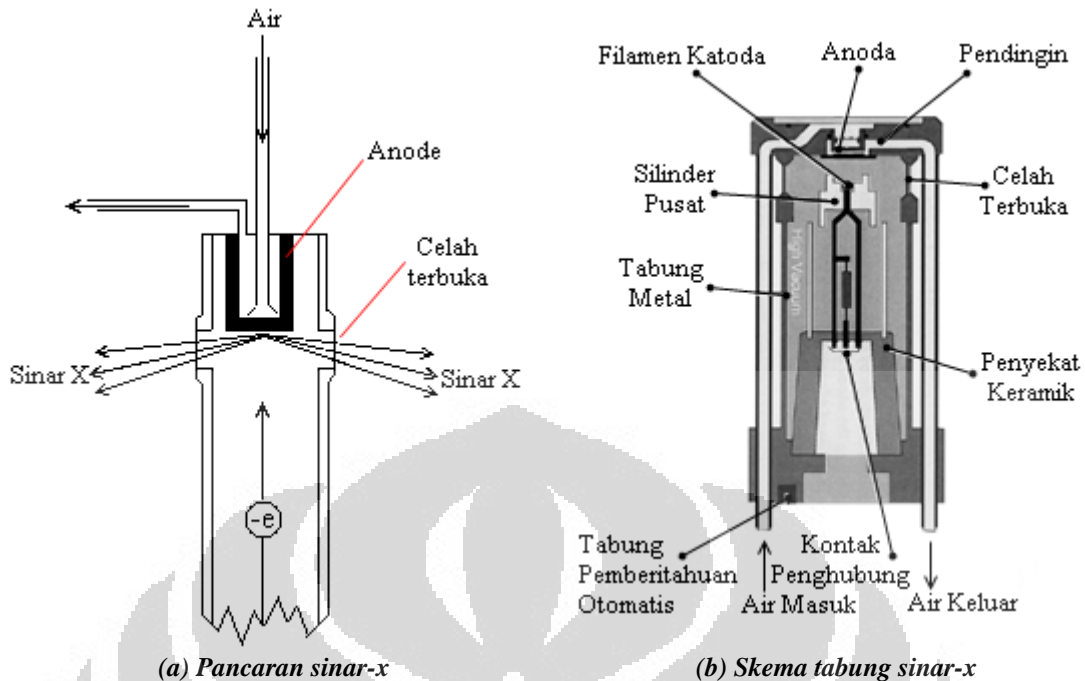
Gambar 2. 2: Pengontrol utama pelapisan dengan teknik PTAW¹

Sebab PTAW menggunakan penampung campuran logam yang berupa bubuk, sehingga kebutuhan material dalam aplikasi yang diharapkan adalah relatif mudah. Secara umum, gabungan bahan metal digunakan untuk pelapisan terkait aplikasi. Bahan metal ini memiliki kandungan campuran logam disebut Stellite 6 sebagai material acuan yang terdiri dari cobalt chrome dan wolfram dengan balance cobalt sekitar 60%. Ukuran, kuantitas dan bentuk memiliki kandungan yang unik sebagai bahan yang spesifik untuk keperluan pelapisan. Sedangkan bahan base metalnya dapat digunakan dari logam apa saja, tetapi dalam kebutuhan penelitian ini base metal menggunakan bahan logam baja yang relatif lebih kuat dan lebih mudah menyiapkannya.

2.3. X-Ray Diffraction (XRD)

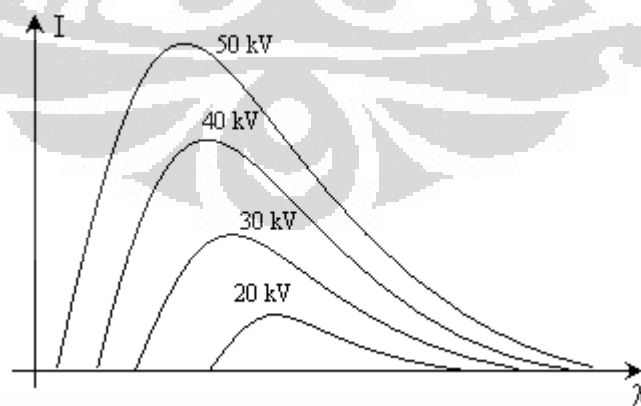
Sinar-x adalah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang terbentang dari sekitar 0,1 sampai 100×10^{-10} m. Gelombang ini diproduksi ketika elektron bergerak dengan cepat mengenai suatu target yang padat dan tenaga gerak mereka diubah menjadi radiasi. Panjang gelombang dari radiasi dipancarkan tergantung dari energi elektron itu.

¹ www.castolin.com/wCastolin_com/pdf/publications/PTAW.pdf



Gambar 2. 3: Skema sistem kerja tabung sinar-x.²

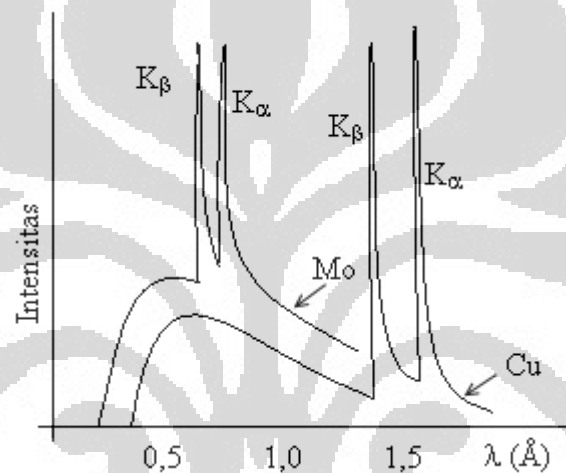
Gambar 2. 3 menunjukkan skema suatu tabung sinar-x sederhana. Suatu tegangan yang sangat tinggi diberikan pada elektroda di ujung-ujung tabung kemudian tabung ini diberikan tekanan rendah sekitar 0,001 mmHg. Arus mengalir antara kedua elektroda dan elektron yang menuju target logam itu, menyebabkan pancaran dari Sinar-x. Jika satu alur suatu grafik dari panjang gelombang sinar-x dipancarkan terhadap intensitas mereka untuk bermacam-macam diterapkan mempercepat tegangan untuk memperoleh hasil seperti Gambar 2. 4 dan Gambar 2. 5



Gambar 2. 4: Panjang gelombang dan intensitas.

² <http://physics.pdx.edu/~pmoeck/phy381/Topic5a-XRD.pdf>

Kurva adalah khas dari radiasi benda-hitam. Apa yang menarik adalah sangat jelas di dekat pada panjang gelombang yang pendek. Panjang gelombang yang minimum (λ_{\min}), ini sesuai dengan efisiensi maksimum tentang konversi dari energi gerak ke radiasi elektromagnetik, dengan kata lain jika kita menggunakan persamaan Planck $E = h.f$ kita dapat mengkalkulasi λ_{\min} . Jika permercepat tegangan adalah V , kemudian nilai minimum ini adalah $\lambda = \frac{h}{mv}$. Jika kita sekarang merubah target dengan logam dengan nomor atom yang kecil seperti tembaga, kemudian kita amati radiasi yang muncul sangat tajam, Gambar 2. 5



Gambar 2. 5: Grafik intensitas radiasi sinar-x.

Ini yang sangat tajam disebut garis karakter dan radiasi sinar-x disebut karakteristik radiasi. Bentuk yang tajam ini adalah disebabkan oleh elektron lepas dari K dari suatu atom dan kemudian elektron dari L yang cascading ke dalam peluang di K ini. Energi yang dipancarkan dalam proses ini sesuai dengan $K\alpha$ dan $K\beta$. Jika beberapa batang-batang rel hadir di target, masing-masing akan memancarkan dengan bebas karakteristik radiasi. Properti ini dapat digunakan untuk menentukan unsur-unsur menurut mutu unsur-unsur yang hadir di dalam suatu campuran logam dengan pembuatan target di dalam suatu tabung sinar-x dan kemudian membaca sekilas semua panjang gelombang yang dipancarkan oleh target itu. Target khas dan konstanta yang berhubungan disampaikan dalam Tabel 2. 1.

Tabel 2. 1: Target material dan konstanta yang berhubungan.

	Cr	Fe	Cu	Mo
Z	24	26	29	42
$\alpha_1, \text{Å}$	2.2896	1.9360	1.5405	0.70926
$\alpha_2, \text{Å}$	2.2935	1.9399	1.5443	0.71354
$\bar{\alpha} \pm, \text{Å}$	2.2909	1.9373	1.5418	0.71069
$\beta_1, \text{Å}$	2.0848	1.7565	1.3922	0.63225
$\beta, \text{filt.}$	V, 0.4mil †	Mn, 0.4mil	Ni, 0.6 mil	Nb, 3mils
$\alpha, \text{filt.}$	Ti	Cr	Co	Y
Resolution, Å	1.15	0.95	0.75	0.35
Critical potential, kV	5.99	7.11	8.98	20.0
Operating conditions, kV:	30-40	35-45	35-45	50-55
half- or full-wave-rectified, mA	10	10	20	20
constant potential, mA	7	7	14	14

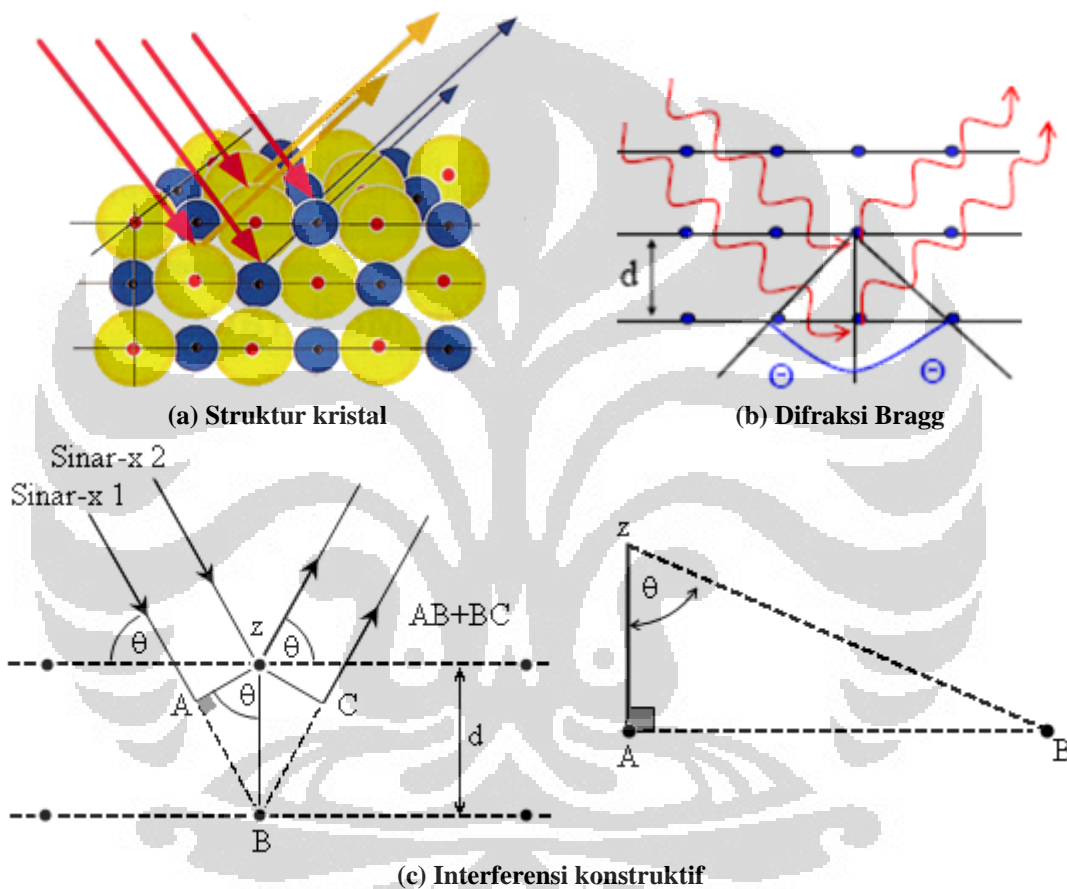
Berdasarkan Tabel 2. 1 $\bar{\alpha}$ adalah intensitas-berat rata-rata dari α_1 dan α_2 dan adalah figur yang pada umumnya menggunakan panjang gelombang ketika dua bentuk tidaklah dipecahkan jelas nyata bahwa Sinar-x dapat diserap oleh zat padat, dan peristiwa penyerapan ini dapat diuraikan oleh suatu persamaan yang sangat sederhana. Intensitas yang diamati dinyatakan sebagai $I = I_0 \exp(\mu.t)$ di mana μ suatu koefisien serapan linear dan t adalah panjang lintasan di mana Sinar-x sedang bergerak. Nilai dari koefisien penyerap ini meningkat ketika nomor-atom dari unsur itu meningkat.

2.4. Hukum Bragg

Terbentuknya suatu pola difraksi konstruktif hanya bisa terjadi apabila dua gelombang atau lebih mempunyai hubungan fasa tertentu. Namun di sini titik fokus pembahasan hanya dibatasi pada difraksi sinar-x oleh struktur kristal, sehingga difraksi sinar-x hanya ditinjau yang berasal dari susunan atom-atom yang teratur dan

periodik sesuai dengan posisi-posisi tertentu di dalam kristal. Atom-atom di dalam kristal dapat dipandang berada pada bidang-bidang yang sejajar satu sama lain yang dipisahkan oleh jarak d , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. 6. Sedangkan hukum Bragg dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (2.1)$$



Gambar 2. 6: Ilustrasi peristiwa difraksi menurut Bragg³

$$n\lambda = AB + BC, AB = BC$$

$$n\lambda = 2AB$$

$$\sin \theta = AB/d$$

$$AB = d \sin \theta \Leftrightarrow n\lambda = 2d \sin \theta$$

$$\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta_{hkl}$$

Pada Gambar 2. 6, diasumsikan bahwa berkas sinar-x yang datang pada bahan sejajar satu sama lain, mempunyai satu panjang gelombang (λ), dan dengan sudut datang

³ <http://www.eserc.stonybrook.edu/ProjectJava/Bragg/index.html>

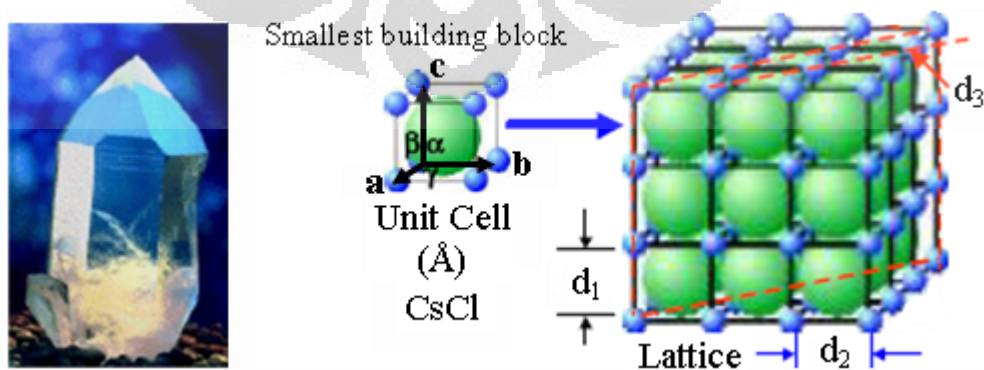
dinyatakan dengan θ terhadap bidang difraksi (*sudut Bragg*). Besarnya sudut Bragg ini tentunya akan mempunyai harga berbeda untuk tiap-tiap bidang [1].

$$n\lambda = \frac{2d_{hkl}}{n} \sin \theta = 2d_{nh,nk,nl} \sin \theta \quad (2.2)$$

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

2.5. Sistem Kristal dan Indeks Miller

Kristal didefinisikan sebagai suatu bahan padatan yang mempunyai suatu keteraturan tertentu dan mempunyai sifat kimia maupun fisika serba sama di seluruh bagian padatan. Kristal ini terdiri dari susunan atom-atom yang tersusun secara teratur dan periodik dalam arah tiga dimensi. Dalam mendefinisikan kisi kristal, maka cara yang sederhana adalah dengan membayangkan atom-atom dalam kristal berupa titik-titik. Setiap titik-titik mempunyai lingkungan yang serba sama, sehingga satu sama lain tidak dapat dibedakan walaupun dipandang dari segala arah. Bila tiap-tiap titik tersebut dihubungkan maka akan diperoleh kisi-kisi yang teratur dan periodik memenuhi ruang yang ada [2]. Volume terkecil yang dibatasi oleh rusuk-rusuk kisi disebut dengan sel satuan seperti ditunjukkan pada Gambar 2. 7.

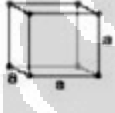
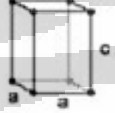
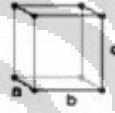
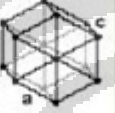
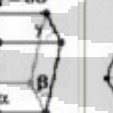
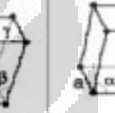


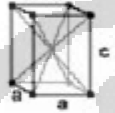
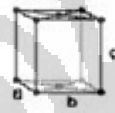


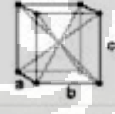



Gambar 2. 7: Sistem kristal pada bahan CsCl (*Cesium Chlorida*)

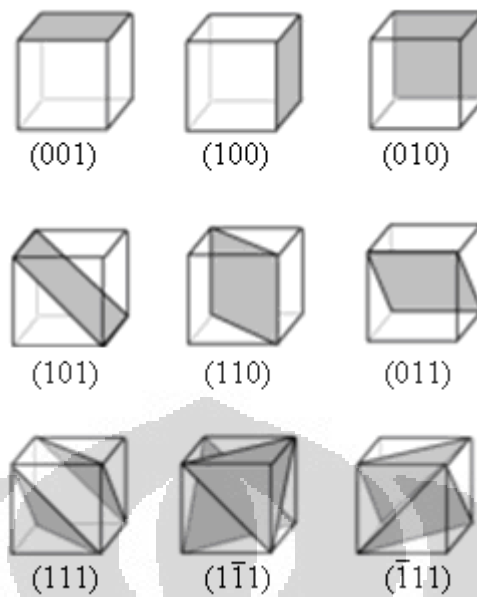
Panjang tiap-tiap rusuk sel yang searah dengan sumbu kristalografi disebut dengan tetapan kisi (*lattice constant*), dan lazim dinamakan dengan sumbu a, b, dan c (parameter kisi). Sudut yang dibentuk oleh bc, ac, dan ab berturut-turut disebut dengan α , β , dan γ . Sedangkan dimensi yang dibangun disebut dengan sistem kristal seperti yang terlihat pada Tabel 2. 2.

Setiap bidang di dalam kristal dapat didefinisikan dengan tiga titik yang non co linier dan simbol untuk setiap bidang dinyatakan dengan Indeks Miller, yang dapat diperoleh dengan mengambil harga reciprocal dari fraksi perpotongan dari bidang terhadap sumbu kristalografi-nya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. 8.

Tabel 2. 2: Sistem kristal pada bahan secara tiga dimensi

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

*) The Fourteen Bravais Lattices, B.D. Cullity, hal.36 [2]



Gambar 2. 8: Indeks Miller pada bidang sistem cubic sederhana [2]

Sedangkan hubungan antara lattice constant d dengan dimensi sel mengikuti rumusan sebagai berikut :

a). Cubic :

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \quad (2.3)$$

b). Tetragonal :

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (2.4)$$

c). Orthorhombic :

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (2.5)$$

d). Hexagonal :

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2} \quad (2.6)$$

e). Monoclinic :

$$\frac{1}{d^2} = \frac{1}{\sin^2 \beta} \left(\frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2 \sin^2 \beta}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} - \frac{2hl \cos \beta}{ac} \right) \quad (2.7)$$

2.6. Metode Analisis Rietveld

2.6.1. Prinsip Dasar

Bila puncak-puncak difraksi serbuk terpisah satu sama lain, maka parameter-parameter struktural dapat ditentukan secara langsung dari data intensitas terintegrasi dengan metode penghalusan (*refinement*) konvensional yang disebut metode intensitas terintegrasi. Metode ini masih cukup baik untuk digunakan, jika puncak-puncak yang saling tumpang tindih (*overlap*) sedikit jumlahnya. Dalam hal ini dilakukan dengan cara mengubah data intensitas yang membangun puncak-puncak difraksi menjadi data luas puncak difraksi atau disebut juga data garis kemudian diubah menjadi harga-harga $\sum F_k^2$, di mana F_k adalah faktor struktur dan Σ melambangkan penjumlahan refleksi-refleksi Bragg yang “overlap”.

Metode intensitas terintegrasi ini tak dapat lagi memberikan hasil yang akurat jika terdapat banyak puncak-puncak “*overlap*” [3, 4] karena akan menyebabkan hilangnya rincian informasi yang terkandung di dalam profile puncak difraksi.

Dalam metode Rietveld, setiap titik pada pola difraksi dipandang sebagai satu pengamatan tunggal yang kemungkinan mengandung kontribusi dari sejumlah refleksi Bragg yang berbeda. Kemudian pola difraksi hasil perhitungan dicocokkan dengan pola difraksi hasil pengamatan dengan pola difraksi hasil perhitungan dicocokkan dengan pola difraksi hasil pengamatan setelah terlebih dahulu dipilih fungsi bentuk puncak yang paling sesuai. Pada setiap posisi sudut atau setiap titik pada profile pola difraksi, jumlah kontribusi intensitas akibat “*overlap*” dapat dihitung berdasarkan harga parameter-parameter yang didapat dengan asas perhitungan “*least squares*”.

2.6.2. Persamaan Profile Pola Difraksi

Secara fisis fungsi intensitas yang dinyatakan :

$$I(\theta_k) = s |F_k(hkl)|^2 ML(\theta_k) \quad (2.8)$$

menyatakan bahwa banyaknya neutron akan didifraksikan hanya jika sudut hamburan (θ) sama dengan sudut Bragg (θ_k). Jadi fungsi intensitas tidak lain adalah

persamaan intensitas garis. Namun demikian dalam kenyataan intensitas difraksi tidak terbentuk garis tetapi berupa puncak-puncak Bragg yang melebar.

Fungsi bentuk puncak yang digunakan dalam program komputer analisis Rietveld hasil pengembangan Fujio Izumi [5] adalah fungsi pseudo-voigt yang telah dimodifikasi, yakni kombinasi linier dari fungsi Gauss dan fungsi Lorentz dengan tinggi puncak dan lebar penuh setengah tinggi puncak maksimum (FWHM) tidak sama. Fungsi pseudo-Voigt yang telah dimodifikasi dituliskan sebagai berikut :

$$G(2\theta) = C \left\{ \gamma \exp \left[-4 \ln 2 \left(\frac{2\theta - 2\theta_k}{H_k(G)} \right)^2 \right] + (1-\gamma) \left[1 + 4 \left(\frac{2\theta - 2\theta_k}{H_k(L)} \right)^2 \right] \left\{ 1 - At \left[\frac{(2\theta - 2\theta_k)^2}{\tan \theta_k} \right] \right\} \right\} \quad (2.9)$$

dengan

$$C = \left[\left(\frac{\pi}{4 \ln 2} \right)^{1/2} \gamma H_k(G) + \frac{\pi(1-\gamma)H_k(L)}{2} \right]^{-1} \quad (2.10)$$

$$H_k(G) = \left[U(\tan \theta_k - C_s)^2 + V(\tan \theta_k - C_s) + W \right]^{1/2} \quad (2.11)$$

$$H_k(L) = \frac{H_k(G)}{\delta} \quad (2.12)$$

Pada persamaan-persamaan (2.9) hingga (2.12) di atas, γ = fraksi komponen Gauss, $H_k(G)$ = FWHM komponen Gauss, $H_k(L)$ = FWHM komponen Lorentz, $C_s = 0$ atau

0,6 dan $1 - At \left[\frac{(2\theta - 2\theta_k)^2}{\tan \theta_k} \right]$ = faktor koreksi bentuk puncak asimetris. Faktor

koreksi bentuk asimetris perlu diberikan karena pada sudut hamburan yang sangat rendah dan sangat tinggi, puncak-puncak difraksi menjadi tidak simetris akibat terbatasnya divergensi vertikal berkas. A = parameter asimetris dan t = konstanta

yang diberi harga +1, 0 atau -1 tergantung pada apakah selisih $(2\theta - 2\theta_k)$ berturut-turut positif, nol atau negatif.

Persamaan (2.11) menyatakan ketergantungan $H_k(G)$ pada θ_k , U V dan W disebut parameter FWHM. Bila korelasi antara parameter-parameter FWHM sangat tinggi, maka C_s sebaiknya diberi harga 0,6 [5]. Dalam persamaan (2.9) terdapat lima buah parameter variabel yakni : U, V, W, γ dan δ . Fungsi bentuk puncak dapat diubah-ubah tergantung pada berapa harga parameter γ . Jika $\gamma = 1$ bentuk puncak memenuhi fungsi Gauss dan bentuk puncak memenuhi fungsi Lorentz jika γ diberi harga 0. Parameter variabel γ memiliki daerah harga : $0 \leq \gamma \leq 1$. Untuk pola difraksi neutron, profile puncak difraksinya tepat memenuhi fungsi Gauss ($\gamma = 1$).

Dengan demikian harga intensitas profile pola difraksi pada posisi $2\theta_i$ dapat dihitung dengan mengalikan persamaan (2.8) dengan persamaan (2.9), setelah dikoreksi dengan fungsi latar belakang $y_{ib}(c)$ dan fungsi orientasi “preferred” P_k , diperoleh :

$$y_i(c) = \sum_k s |F_k(hkl)|^2 M_k P_k L(\theta_k) G(2\theta_i) + y_{ib}(c) \quad (2.13)$$

\sum_k melambangkan penjumlahan jika terdapat puncak-puncak Bragg yang saling tumpang tindih. Penjumlahan dilakukan terhadap semua refleksi yang dianggap masih dapat menyumbangkan intensitasnya pada $y_i(c)$. Untuk pola difraksi neutron, rentang maksimum yang masih dapat dijangkau oleh penjumlahan \sum_k adalah sejauh $1,5 H_k$ dari posisi puncak difraksi $2\theta_k$.

$$y_{ib}(c) = b_0 + b_1 z_i + b_2 z_i^2 + b_3 z_i^3 + b_4 z_i^4 + b_5 z_i^5 \quad (2.14)$$

di mana

$z_i = \left[\left\{ 2\theta_i / (\theta_{mak} - \theta_{min}) \right\} - 1 \right]$ dan $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$ adalah parameter latar belakang (background).

2.6.3. Metode Perhitungan

Prinsip dasar analisis Rietveld adalah mencocokkan (*fitting*) profile puncak perhitungan terhadap profile puncak pengamatan. Pencocokan profile tersebut dilakukan dengan menerapkan prosedur perhitungan kuadrat terkecil non linier yang diberi syarat batas [5]. Jadi analisis Rietveld tidak lain adalah problem optimasi fungsi non linier dengan pembatas (*constraints*). Dalam bahasa matematik dinyatakan sebagai berikut : minimumkan fungsi obyektif

$$f(x) = \sum_{i=1}^N w_i [y_i(o) - y_i(c)]^2 \quad (2.15)$$

sedemikian sehingga vektor parameter variabel :

$x^* = [x_1^*, x_2^*, x_3^*, \dots, x_m^*]^T$ yang meminimumkan fungsi $f(x)$ tersebut memenuhi p buah pembatas pertidaksamaan linier/ non linier : $g_n(x) > 0$, ($n = 1, 2, 3, \dots, p$) dan juga memenuhi q buah pembatas persamaan linier/non linier : $h_n(x) = 0$, ($n = 1, 2, 3, \dots, q$). $\sum_{i=1}^N$ adalah penjumlahan yang dilakukan terhadap semua titik pada pola difraksi mulai dari titik ke-1 hingga ke- N . $w_i (= 1/y_i(o))$ dan $y_i(o)$ berturut-turut adalah faktor bobot (*weighting factor*) dan intensitas pengamatan pada posisi $2\theta_i$. Problem optimasi fungsi non linier dengan pembatas tersebut dipecahkan dengan metode fungsi penalty titik luar (*exterior penalty function method*) [6, 7].

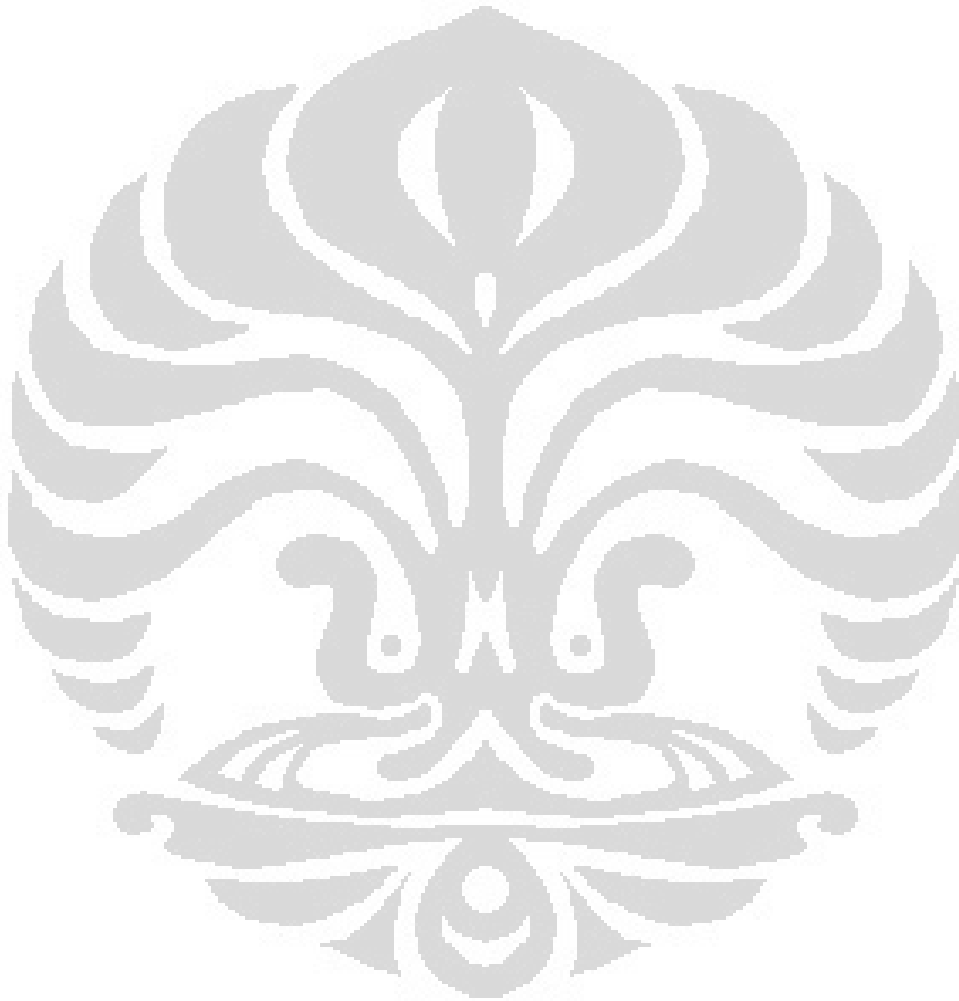
Metode ini mentransformasikan problem optimasi fungsi non linier dengan pembatas menjadi problem optimasi fungsi non linier tanpa pembatas. Dalam bahasa matematik bentuk pernyataannya menjadi : minimumkan fungsi

$$F(x) = f(x) + t^{(K)} \left[\sum_{n=1}^p H(g_n(x)) g_n^2(x) + \sum_{n=1}^q h_n^2(x) \right] \quad (2.16)$$

Di mana $t^{(K)}$ adalah bilangan positif yang harganya bertambah besar sejalan dengan bertambahnya harga K dari 0, 1, 2 dan seterusnya. H adalah operator "Heaviside" yang memenuhi hubungan : $H(a) = 0$ untuk $a \geq 0$ dan $H(a) = 1$ untuk $a < 0$.

Algoritma metode fungsi penalty titik luar terdiri dari empat langkah :

- 1). Mulai dengan $K = 0$, kemudian parameter variabel x dan $t^{(0)}$ diberi harga awal.
- 2). Parameter variabel x tersebut dihaluskan dengan prosedur perhitungan kuadrat terkecil non linier, sehingga diperoleh parameter x yang membuat $F(x)$ minimum.
- 3). Jika suku kedua dan ketiga pada persamaan (2.16) sudah berharga nol, hentikan perhitungan karena parameter x yang diperoleh adalah solusi optimalnya.
- 4). Tambahkan 1 pada K , naikkan harga $t^{(K)}$ kemudian kembali pada langkah 2).



BAB

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Pendahuluan

Pada penelitian ini dilakukan terhadap sampel yang dibuat dari hasil proses pelapisan pada bahan material baja dengan bubuk Stellite 6 yang mengandung bahan dasar yang terdiri dari Co, Cr, W, Ni, Fe, Si, C, Mn, dan Mo. Kandungan banyaknya unsur-unsur ini lebih lengkapnya dapat dilihat pada Gambar 3. 1. Proses pembentukan sampel ini akan dijelaskan dalam sub-bahasan 3.2. Diharapkan pada penelitian ini didapatkan material yang lebih keras dan dapat menunjukkan fasa-fasa baru sebagai uraian kandungan material yang sedang diolah.

Komposisi Stellite 6 dapat dibuat berdasarkan pedoman penamaan material ini menurut pabrik DOLORO STELLITE. Bahan Stellite 6 memiliki kandungan yang dinyatakan dalam sertifikat yang dikeluarkan dari pabrik, dan sertifikat ini dapat dilihat pada lampiran 1.

3.2. Proses Penelitian

Proses penelitian diawali dengan mempersiapkan bahan substrate tempat sampel dilekatkan. Substrate yang digunakan berupa lempeng baja dengan dimensi $70\text{ mm} \times 20\text{ mm} \times 5\text{ mm}$, sedangkan sampel yang dipilih Stellite 6 (Cobalt 60%)



(a) *Base metal baja*



(b) *Bubuk Stellite 6.*

Gambar 3. 1: Bahan dasar pembuatan sampel penelitian, potongan baja dipakai sebagai dasar (substrate) di mana Stellite 6 ditempelkan dengan teknik PTAW.

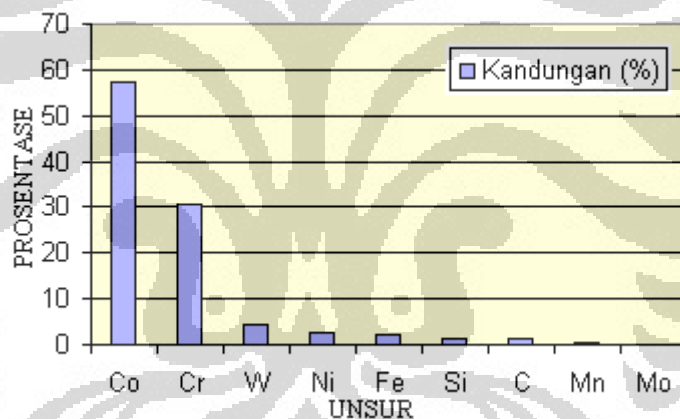
Pada tahap Observasi dan Pembuatan sampel dilakukan di PT Teknokraftindo Asia (Workshop)

3.2.1. Kandungan Stellite 6

Kandungan bahan Stellite 6 terdiri dari Co, Cr, W, Ni, Fe, Si, C, Mn, dan Mo, masing-masing ditunjukkan dalam Tabel 3. 1 di bawah ini.

Tabel 3. 1: Kandungan unsur Stellite 6.

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



Gambar 3. 2: Grafik komposisi kandungan unsur Stellite 6, tampak bahwa sampel ini didominasi oleh Co dan Cr dan sedikit W, Ni, Fe, Si dan C.

3.2.2. Proses Pembuatan Sampel

Substrate ditempatkan pada dudukan klem untuk diperlakukan proses pelapisan dengan variasi arus dan variasi laju bubuk terhadap 6 batang baja, rician variasinya lihat Tabel 3. 2 pada bagian rumusan masalah. Proses pelapisan dalam rangka membuat sampel ini secara sepintas diperlihatkan pada Gambar 3. 3 di bawah ini.



(a) Alat pengendalian laju bubuk dan perubahan arus listrik.



(b) Proses pelapisan

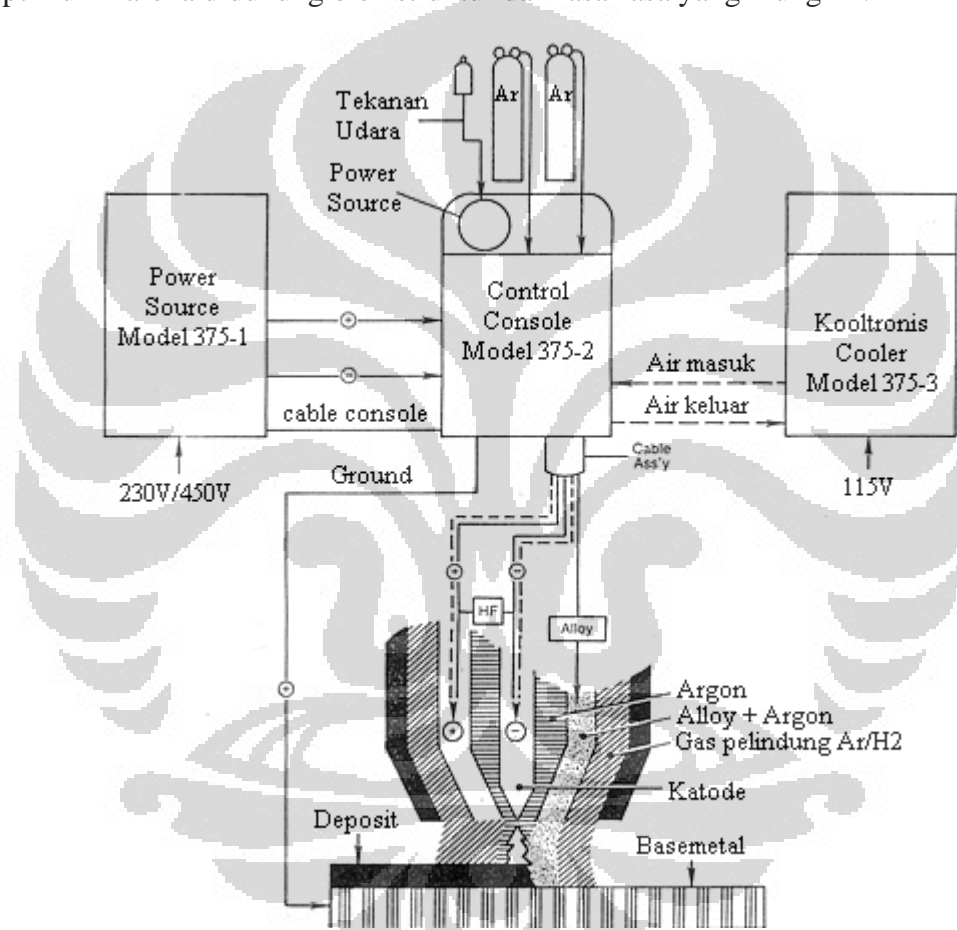


(c) Sampel yang sudah jadi.

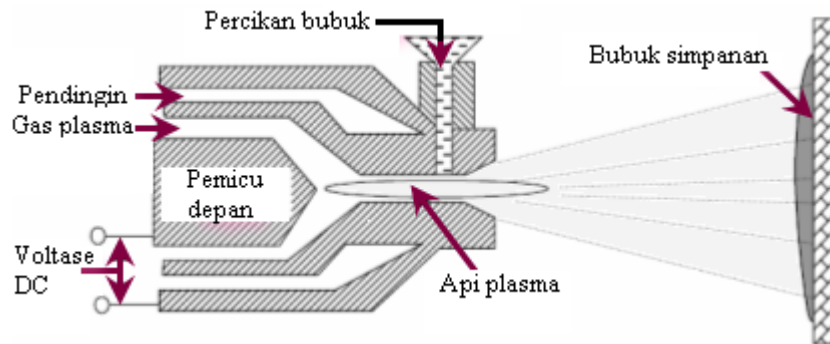
Gambar 3. 3: Proses welding pembuatan sampel. Proses penyemprotan busur plasma (PTAW) ini, energi thermal / panas dari busur listrik yang beroperasi antara 40 kW - 80 kW bersama dengan suatu gas pembentuk plasma, yaitu nitrogen atau argon, digunakan untuk mencairkan dan menembakkan material pelapis pada kecepatan tinggi (~600 m/det) kepada material yang akan dilapisi (substrate).

Tujuan utama dari sistem ini adalah untuk menghasilkan suhu tinggi yang mencapai 1600 °C untuk menempelkan (deposisi) material dengan temperatur leleh yang tinggi. Material pelapis yang digunakan Stellite 6 (Cobalt 60%) dalam bentuk bubuk, Gambar 3. 1b dan memerlukan gas pembawa untuk memasukkan bubuk ke dalam ruang pembakaran, seperti terlihat pada Gambar 3. 3. Karena semprotan yang keras dari masing-masing partikel, kekuatan ikat yang tinggi bisa didapatkan pada pelapisan.

Adapun bahan yang dipilih sebagai pelapis berupa bubuk Stellite 6 (Cobalt 60%). Dipilihnya bahan pelapis dari Stellite ini, dikarenakan Stellite telah banyak dimanfaatkan untuk keperluan pelapisan bahan, antara lain untuk; pelapisan mata bor, pelapisan komponen penggilas dalam mesin produksi, beberapa kelebihan dibandingkan dengan bahan metal yang lain, khususnya untuk keperluan ini. Proses pelapisan dilakukan dengan variasi arus listrik dan variasi laju bubuk berupa bubuk Stellite 6 terhadap substrate baja diharapkan dapat diperoleh kekerasan yang optimum karena didukung oleh struktur dan fasa-fasa yang mungkin.



Gambar 3. 4: Skema Welding, Pada proses penyemprotan busur plasma, energi thermal /panas dari busur listrik (biasanya beroperasi pada 40 kW atau 80 kW) bersama dengan suatu gas pembentuk plasma, baik nitrogen atau argon, digunakan untuk mencairkan dan menembakkan material pelapis pada kecepatan tinggi kepada material yang akan dilapisi (substrate). Tujuan utama dari sistem ini adalah untuk menghasilkan suhu tinggi yang mencapai 1600 °C untuk menempelkan (deposisi) material dengan temperatur leleh yang tinggi.



Gambar 3. 5: Prinsip kerja pelapisan, material pelapis biasanya dalam bentuk bubuk dan memerlukan gas pembawa untuk memasukkan bubuk ke dalam ruang pembakaran api plasma. Karena semprotan yang keras dari masing-masing partikel, kekuatan ikat yang tinggi bisa didapatkan pada pelapisan (bubuk simpanan).

Data yang akan diamati pertama dilakukan variasi arus listrik dan kedua dilakukan variasi laju bubuk, untuk 3 sampel pertama akan diatur dengan menggunakan arus 100 ampere dengan variasi laju bubuk 1,6 lb/hr, 1,8 lb/hr dan 2,2 lb/hr, sedangkan untuk 3 sampel kedua akan diatur dengan menggunakan arus 125 ampere dengan variasi laju bubuk 1,6 lb/hr, 1,8 lb/hr dan 2,2 lb/hr. Hal ini disesuaikan dengan kemampuan alat. Rencana pengamatan ini selengkapnya ditampilkan dalam bentuk tabel seperti yang ditampilkan pada Tabel 3. 2.

Tabel 3. 2: Daftar rencana pembuatan sampel dengan variasi arus dan laju bubuk

No.	Kode Sampel	Kuat Arus (ampere)	Laju Bubuk (Lb/hr)
1.	A1	100	1,6
2.	A2	100	1,8
3.	A3	100	2,2
4.	B1	125	1,6
5.	B2	125	1,8
6.	B3	125	2,2

Bahan : Baja Stainless Steel

Substrate : Stellite 6 (Powder) 60% Cobalt

Sampel yang diperoleh akan diamati melalui difraksi sinar-x dan untuk selanjutnya diharapkan akan dapat dihasilkan data dan grafik sesuai dengan jumlah sampel. Metode studi sifat-sifat fisik coating suatu bahan yang dipilih dalam

penelitian ini adalah analisis kimia pola difraksi sinar-x. Analisis kimia dengan menggunakan karakterisasi pola difraksi sinar-x yang merupakan sifat-sifat unik dari setiap substansi (senyawa), selanjutnya dicocokkan dengan tabel Hanawalt untuk mendapatkan fasa-fasa yang muncul.

3.2.3. Penelitian Khusus

Studi tentang material telah menyebabkan terbaginya bidang-bidang kekhususan. Tesis ini disusun mengambil bidang analisa material dengan menggunakan teknik Sinar-X atau sering disebut XRD (X-Ray Diffraction). Dewasa ini, telah terdapat berbagai jenis teknik untuk menganalisa sampel, salah satu teknik yang sering dipergunakan untuk menganalisa sampel adalah penggunaan sinar-X, yaitu X-Ray Fluorescence (XRF) dan X-Ray Diffraction (XRD).

Dengan XRF akan diperoleh hasil analisa unsur penyusun sampel, sedangkan XRD, akan diperoleh hasil analisa fasa penyusun sampel dan analisa kristalografi. Keunggulan teknik XRF terletak pada sampel yang dianalisis tidak perlu dirusak, sehingga metode ini termasuk dalam non-destructive test, sedangkan kelemahannya tidak dapat menganalisa unsur di bawah nomor atom 10. Keunggulan teknik XRD terletak pada diperolehnya fasa penyusun sampel dan bentuk kristal, sedangkan kelemahannya tidak dapat menganalisa sampel berbentuk amorf.

Dalam menganalisa sampel dengan menggunakan teknik XRD penulis menggunakan perangkat lunak, yaitu PCPDFWIN (ICDD), Excel, Rietveld dan Igor. Kecenderungan suatu zat tertentu selalu memberikan pola difraksi sinar-X yang berbeda, baik dalam keadaan murni maupun campuran. Fakta ini akan digunakan sebagai dasar dalam menganalisis sifat-sifat bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini. Hasil pengamatan menggunakan XRD akan digunakan sebagai data yang akan diolah kembali dengan menggunakan program Rietveld[8].

Analisa kualitatif untuk zat tertentu diselesaikan dengan mengidentifikasi pola-pola yang terjadi pada sampel. Hal ini sangat dimungkinkan, sebab intensitas pola difraksi sinar-X untuk satu fasa pada suatu campuran tergantung pada perbandingan fasa itu dalam contoh bahan. Dengan demikian untuk menentukan jenis senyawa apa yang terdapat dalam permukaan bahan, dapat diketahui dengan menggunakan analisis kimia melalui identifikasi pola difraksi sinar-X.

3.3. Pengujian dengan Sinar-X

Sinar-x merupakan gelombang elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang antara 0,1 – 100 Å. Kecepatan tempuh sinar-x dengan sinar tampak sama di ruang hampa. Sinar-x dapat berlaku sebagai gelombang dan partikel. Sinar-x dapat berinteraksi dengan film. Interaksi fluoresensi dengan bahan ZnS, CdS, dan NaI, serta pada kondisi tertentu dapat menimbulkan proses ionisasi. Indeks refraksi sinar-x mendekati satu. Fenomena utama dari sinar-x ini adalah dapat didifraksikan dengan baik oleh sebuah kristal. Karena daya tembusnya cukup tinggi, maka sinar-x banyak digunakan pada peralatan radiografi untuk keperluan kesehatan (Rontgen) Difraktometer sinar-x adalah sebuah peralatan ukur untuk mendapatkan karakteristik fasa dan struktur kristal suatu material kristalit dan non-kristalit. [9]

- Analisis kualitatif menyangkut tentang: Identifikasi Fasa
- Analisis kuantitatif menyangkut tentang: Menentukan Parameter Kisi, dan Phase Fraction Analysis
- Structure Refinement menyangkut tentang: Rietveld Methods
- Structure Solution menyangkut tentang: Reciprocal Space Methods dan Real Space Methods
- Peak Shape Analysis menyangkut tentang: Distribusi Ukuran Kristalit, Micro strain Analysis, dan Extended Defect Concentration

Unsur utama yang ada pada peralatan XRD tersebut antara lain : sumber sinar-x (beam source), sole slit (kolimator), divergent slit, sampel holder (goniometer), filter, monokromator, dan detektor.

3.4. Spesifikasi Alat

Alat yang digunakan dalam pengukuran penelitian ini antara lain adalah XRD yang dimiliki oleh BATAN, Tangerang. Spesifikasi alatnya adalah sebagai berikut :

Merek	:	PHILIPS
Type	:	PW2213/20
Voltage Output (KV)	:	
a) Range	:	25 to 60 KV in 5 KV Step.
b) Stability	:	0.02% for $\pm 10\%$ line voltage variation 0.02% for all load current changes from 10 to 80 mA

- c) Drift : 0.05% per 10 °C
- d) Repeatability : 0.05%
- e) Ripple : 50 KV
- f) KV Recovery Time : 3 second to attain stable KV after incremental KV change of 5 KV (within + 0.2% of final setting)

- Current (mA) :
- a) Range : 10 to 80 mA, seven 10 mA steps and ten 1 mA
- b) Stability : 0.015% for $\pm 10\%$ line voltage variation
- c) Drift : 0.015% per 10 °C
- d) Repeatability : 0.02%
- e) mA Recovery Time : 2 second to attain stable mA after incremental mA change of 10 mA (Within + 0.1% of final setting)

- Power :
- a) Output : 3KW max
- b) Input variation : 8.5 KVA, 40A max
- c) Input Voltage : 220 VAC 10%
- d) Line to Ground : 140 Vrms

- Water Requirements :
- a) Quantity : 0.9 gal/min (3.5 liter/min)
- b) Pressure : max. 90 psi (3.2 kg/cm²)
- c) Hardness : max. 35.7 mg cal
- d) Quality : pH between 6 and 9
- e) Temperature : max. 21°C and min 13°C
- f) Water Lines : min. 13 mm, flexible
- g) Environmental Requirement : ambient temperature should be min 18°C and max. 29°C humidity should range between 20% to 80%. Dew point temperature should be less than 25°C

- Detector :
- a) Type : Proportional
- b) Max. Count Rate : 500 000 c/s
- c) Dead Time Correction : better than $< 1\%$
- d) Dynamic Range of Amplification : 40
- e) Automatic Correctable Pulse Shift : Up to 50%
- f) Upper and Lower Level (Step of 0.05) : 0 to 99%
- g) Rate Meter Range : 1, 2, 500, 1000, 104, 105 c/s
- h) Rate Meter Time Constant : fixed 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5 s
- i) Intensity Measuring Interval (Step of 0.05) : 0 to 3276 s
- j) H.V. Supply : 1200 to 2000 V
- k) Detector Pulse Attenuation (Step of 2) : 1 to 8
- l) Selector Switch to Match Attenuation to X-ray Tube : Cr, Fe, Co, Mo, Cu
- m) Max. Accumulated Counts : 4x10¹⁰

- Goniometer Control :
- a) Type : Vertical
- b) Range : $2\theta = 0^\circ$ to 160°

c) Setting Speed with Anti-backlash Provision	: Typical 2.5 %/s
d) Continuous Scan Speed :	:
e) In Step of 0.001	: 0.001° to 0.127 %/s
f) In Step of 0.01	: 0.01° to 1.27 %/s
g) Step Size Range (in Step of 0.005)	: 0.005° to 327 %/s
h) Slit :	:
i) Slit Divergent	: Automatic
j) Slit Receiving	: 0.3 mm
k) Filter	: Ni

Strip Chart Recorder Control	:
• Paper Speed to Goniometer Scan Sipped Ratio	: 0 to 50 mm per ° (2θ)

Safety Features	:
a) Power Failure (Manual Reset)	
b) Water flow interlock	
c) X-ray Tube Overload	
d) mA Overload :	: 20, 40, 60, 80
e) KV –	: 60 kVP
f) KVA Overload :	: 1.2, 1.3, 1.8, 2.5, and 3.0
g) Open X-ray Tube Filament	
h) Door Interlock Switch	
i) Fail Safe Bulb in X-ray ON	

Accessories	:
a) Computer	: IBM compatible Pentium II MMX
b) Printer	: HP Paint Jet Color
c) Software	: APD Philips
d) JCPDS Data Base	: 1997

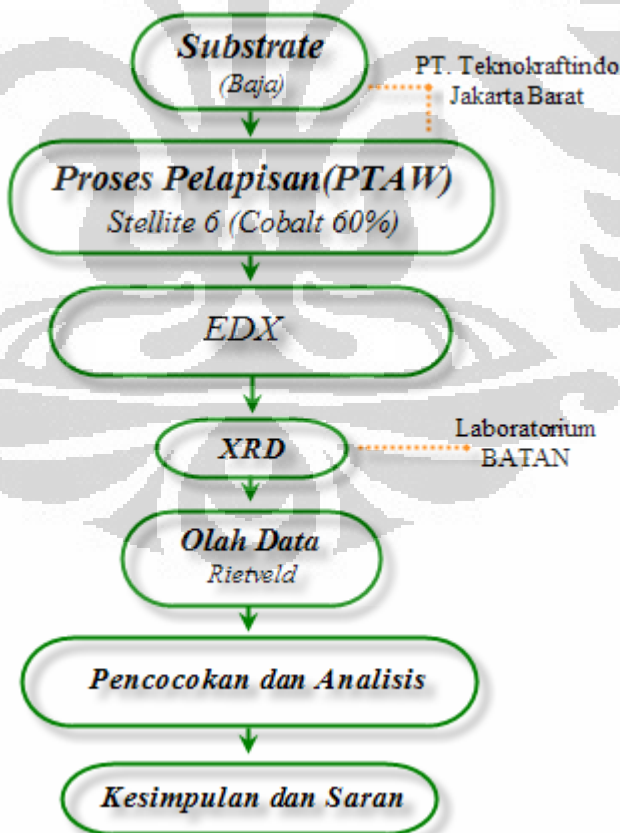
3.5. Persiapan Pengukuran

- Menyiapkan bahan yang akan diambil datanya dengan menggunakan sampel holder.
- Karena sampel berbentuk padatan maka harus memperhatikan tebal dan diameter sampel agar tidak melebihi batas ruang sampel holder dan apabila tidak memungkinkan maka sampel padatan tersebut diserbukkan terlebih dahulu.
- Menggunakan double tip maupun lilin (malam) untuk mengikat sampel.
- Bila sampel tersebut sedikit maka dapat menggunakan kaca sebagai sample holder.

- e) Membuka ruang sampel, kemudian memasukkan sampel yang akan diambil datanya setelah itu menutup ruang sampel.
- f) Menyesuaikan parameter untuk pengambilan data
- g) Memulai pengambilan data.
- h) Mengulangi prosedur 3.5. a). sampai 3.5. g). untuk memperlakukan sampel berikutnya.
- i) Setelah selesai melakukan pengukuran, langkah selanjutnya adalah mengambil data dari komputer berupa hardcopy maupun soft copy yang dapat dibuka melalui software EXCEL, IGOR dan lain-lain dalam bentuk ASCII file.

3.6. Kronologi Penelitian

Kronologi penelitian ditampilkan dalam bentuk diagram blok seperti ditunjukkan pada Gambar 3. 6. di bawah ini.



Gambar 3. 6: Diagram blok langkah penelitian.

BAB

4. PEMBAHASAN DAN ANALISA

4.1. Hasil Preparasi Lapisan dengan Metode PTAW

Metode Plasma of Transferred Arc Welding merupakan proses thermal spray yang memanfaatkan teknologi plasma. Biasanya metode ini dikenal dengan sebutan PTAW (Plasma of Transferred Arc Welding). Penambahan plasma spray ini digunakan untuk memanaskan dan melelehkan bubuk dan permukaan substrate tersebut. Dan pada dasarnya metode ini merupakan suatu kombinasi antara pengelasan dan proses thermal-spray. Di dalam teknik ini, suatu arus sekunder dialirkan di antara elektroda pistol dan diarahkan ke substrate. Bahan dasar yang digunakan dalam metode ini dapat berupa /partikel atau dalam bentuk kawat. Sedangkan pada penelitian ini, bahan dasar yang digunakan berasal dari PT. Teknokraft Indo Asia. Bahan dasar ini mempunyai nama komersial yaitu bubuk Stellite 6. Bubuk Stellite 6 ini memiliki kandungan unsur yang telah disertifikasi berdasarkan ISO9001 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3. 1 dan aslinya pada lampiran 1.

Bubuk Stellite 6 yang mengandung unsur-unsur yang tercantum dalam Tabel 3.1 dipersiapkan untuk ditembakkan atau dibenturkan melawan permukaan base metal, yaitu bahan yang akan dilapisi, kemudian diratakan dan ditahan pada dasar bahan itu untuk membentuk suatu lapisan permukaan. Lapisan ini terdiri atas partikel dengan ukuran relatif kecil dan diratakan sejajar dengan substrate sehingga secara khas dapat memperlihatkan suatu struktur lamellar. Sedangkan hasil preparasi lapisan menggunakan teknik PTAW ditunjukkan pada Tabel 4. 1 di bawah ini

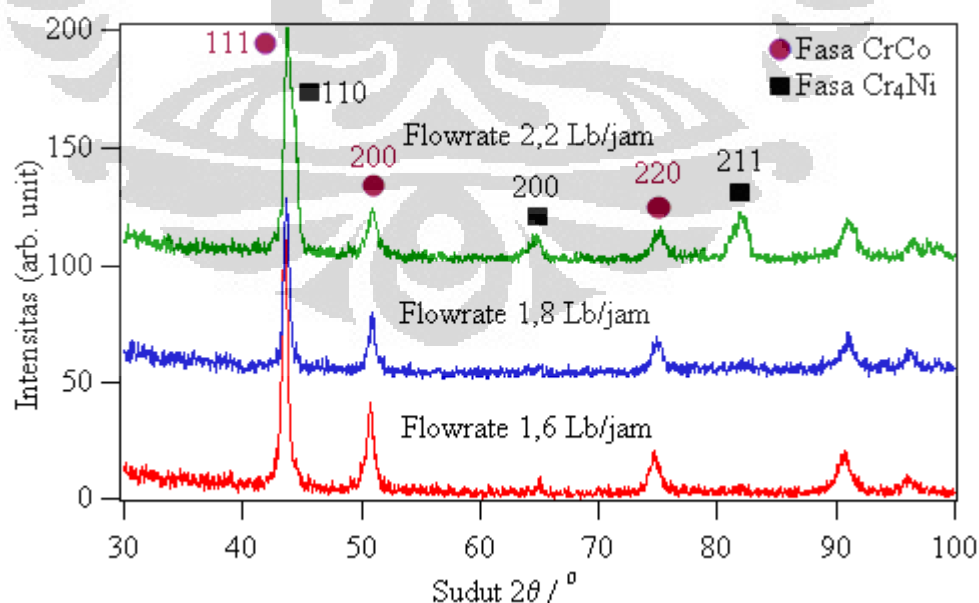
Tabel 4. 1: Hasil preparasi lapisan dengan teknik PTAW quenching 1000 °C.

No.	Parameter PTAW		Nama Sampel	Quenching (°C)	Nama Sampel
	Arus (A)	Laju bubuk (Lb/Jam)			
1.	100	1,6	A1	1000	A1 Quench 1000
2.	100	1,8	A2	1000	A2 Quench 1000
3	100	2,2	A3	1000	A3 Quench 1000
4.	125	1,6	B1	1000	B1 Quench 1000
5.	125	1,8	B2	1000	B2 Quench 1000
6.	125	2,2	B3	1000	B3 Quench 1000

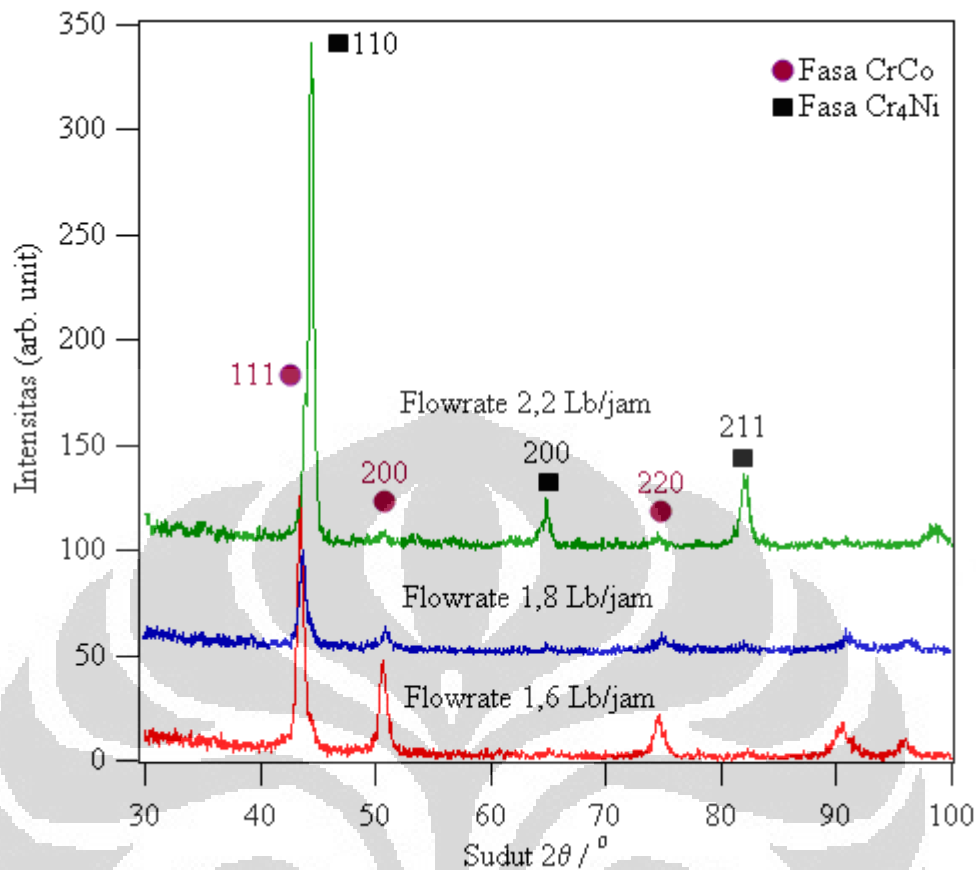
Berdasarkan Tabel 4. 1, bahwa parameter yang digunakan dari metode PTAW ini adalah meliputi arus yang merupakan interpretasi dari energi thermal yang diterapkan dan laju bubuk dari (bahan dasar) yang merupakan interpretasi dari jumlah atau volume yang akan ditembakkan. Sehingga dari hasil preparasi lapisan tersebut seperti pada Tabel 4. 1, tampak bahwa lapisan tersebut dibuat berdasarkan variasi energi thermal dan jumlah volume bahan dasar yang akan ditembakkan. Waktu pelapisan ini rata-rata selama 5 detik, sehingga menghasilkan lapisan yang memiliki ketebalan yang relatif sama. Variasi peningkatan arus dan laju bubuk ini diharapkan dapat memberikan pengaruh pertumbuhan dari paduan yang terbentuk sehingga akan didapatkan komposisi optimum yang memiliki sifat fisis dan mekanik yang baik.

4.2. Hasil Pengukuran dan Identifikasi Pola Difraksi Sinar-X Lapisan

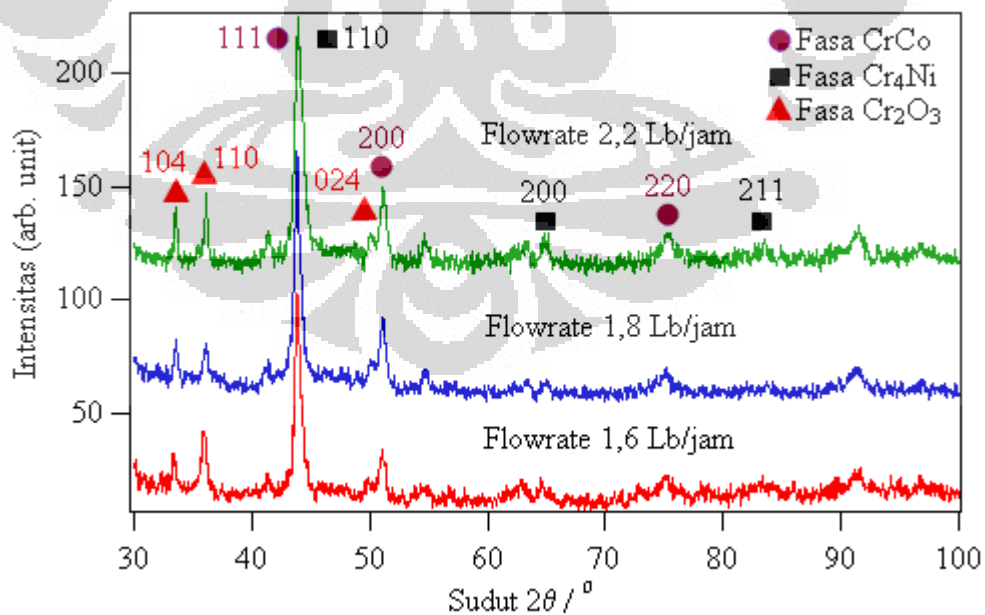
Karakterisasi awal yang dapat digunakan mengidentifikasi paduan atau fasa-fasa yang terbentuk pada lapisan hasil proses PTAW ini adalah pengukuran dengan menggunakan difraksi sinar-x (XRD). Hasil pengukuran difraksi sinar-x pada sampel A dan B berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 4. 1 dan Gambar 4. 2. Sedangkan hasil pengukuran difraksi sinar-x pada sampel A dan B setelah di-quenching berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 4. 3 dan Gambar 4. 4.



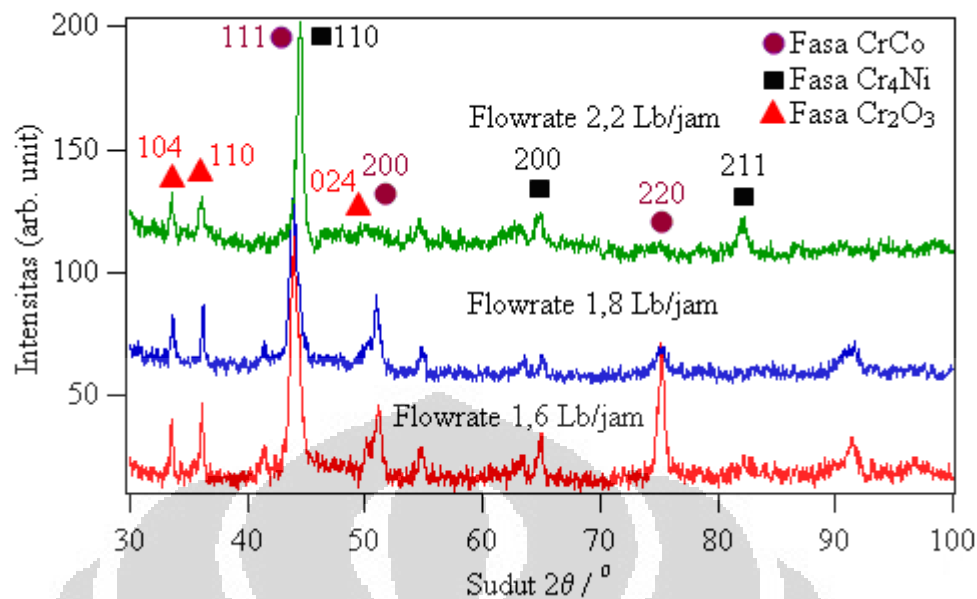
Gambar 4. 1: Pola difraksi sinar-x sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, 2,2 Lb/Jam dan kuat arus 100 ampere.



Gambar 4. 2: Pola difraksi sinar-x sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, 2,2 Lb/Jam dan kuat arus 125 ampere.



Gambar 4. 3: Pola difraksi sinar-x sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, 2,2 Lb/Jam dan kuat arus 100 ampere quench pada 1000 °C.



Gambar 4. 4: Pola difraksi sinar-x sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, 2,2 Lb/Jam dan kuat arus 125 ampere quench pada 1000 °C.

Berdasarkan identifikasi menggunakan tabel Hanawalt menunjukkan bahwa sampel A dan sampel B diduga memiliki 2 fasa yaitu fasa Chromium Cobalt (CrCo) dengan komposisi 35% Chromium 65% cobalt, dan fasa Chromium Nickel (Cr₄Ni). Sedangkan baik sampel A maupun sampel B yang telah dilakukan quenching pada suhu 1000 °C diduga memiliki tiga fasa, yaitu fasa Chromium Cobalt (CrCo) dengan komposisi 35% Chromium 65% cobalt (lihat komposisi Cr dan Co pada Tabel 3.1), fasa Chromium Nickel (Cr₄Ni) dengan komposisi 80% Chromium 20% Nickel, dan fasa Chromium Oksida (Cr₂O₃).

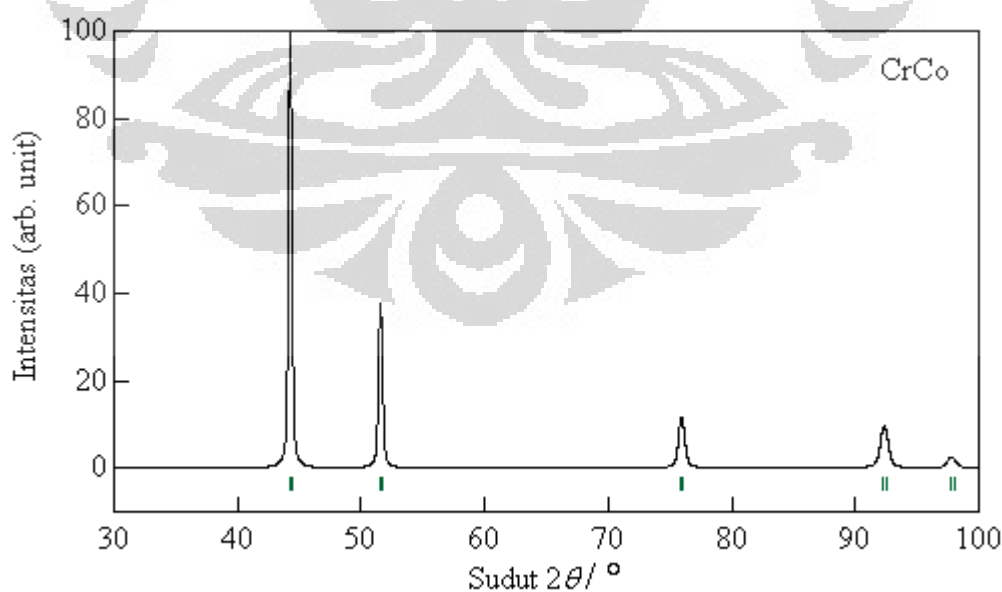
Referensi Tabel Hanawalt untuk paduan Chromium Cobalt (CrCo) merujuk pada penelitian Natl. Bur. Stand. (USA) yang telah dipublikasikan pada tahun 1966 [10] di mana diduga sebagian besar atom Chromium tersubstitusi ke dalam atom Cobalt pada posisi atom yang sama, dan referensi Tabel Hanawalt untuk Chromium Nickel (Cr₄Ni) dan Chromium Oksida (Cr₂O₃) merujuk pada penelitian Duwez dan Baen yang telah dipublikasikan pada tahun 1950, lihat Lampiran 2.

4.3. Analisa XRD dengan Menggunakan Metode Rietveld

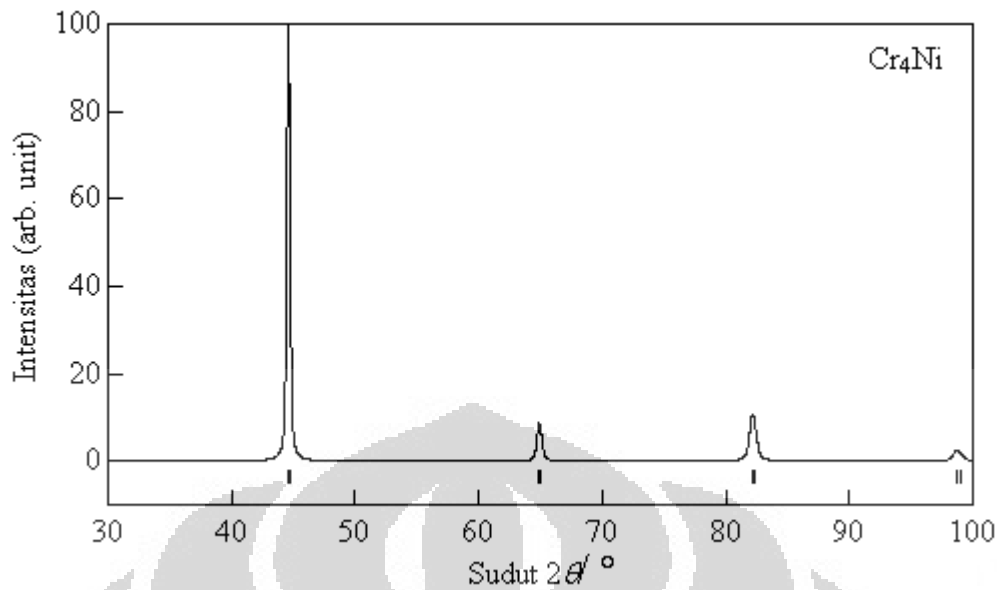
Analisis profile Difraktometer sinar-x yang diperoleh dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak program RIETAN (Rietveld Analysis), Program RIETAN ini dibuat oleh Fuji Izumi pada tahun 1994 [8]. Hasil pengolahan dari

program ini memberikan beberapa informasi, di antaranya adalah data parameter struktur kristal dalam satu sel satuan, data intensitas hasil perhitungan (calculation) dan pengamatan (observation), data jumlah fraksi massa yang diperoleh apabila lebih dari satu fasa, dan data refleksi Bragg yang muncul. Program ini juga dapat membuat sebuah hasil output untuk ketiga fasa tersebut, yaitu CrCo, Cr₄Ni, dan Cr₂O₃ berdasarkan input parameter yang diperoleh dari hasil identifikasi dengan Tabel Hanawalt [10].

Gambar 4. 5 merupakan hasil output untuk fasa Chromium Cobalt (CrCo) dengan input parameter yang diperoleh dari hasil identifikasi dengan Tabel Hanawalt menggunakan metode Rietveld. Informasi dari tabel Hanawalt bahwa sistem kristal paduan Chromium Cobalt ini adalah Cubic, dengan space group Fm3m (225), mempunyai parameter kisi $a = b = c = 3,57 \text{ \AA}$, dengan sudut-sudut yang dibentuk $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$. Sedangkan Gambar 4. 6 merupakan hasil output untuk fasa Chromium Nickel (Cr₄Ni) dengan input parameter yang diperoleh dari hasil identifikasi dengan Tabel Hanawalt menggunakan metode Rietveld. Informasi dari tabel Hanawalt bahwa sistem kristal Chromium Nickel ini adalah Cubic, dengan space group Im3m (229), mempunyai parameter kisi $a = b = c = 2,87 \text{ \AA}$, dan sudut-sudut yang dibentuk $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$.

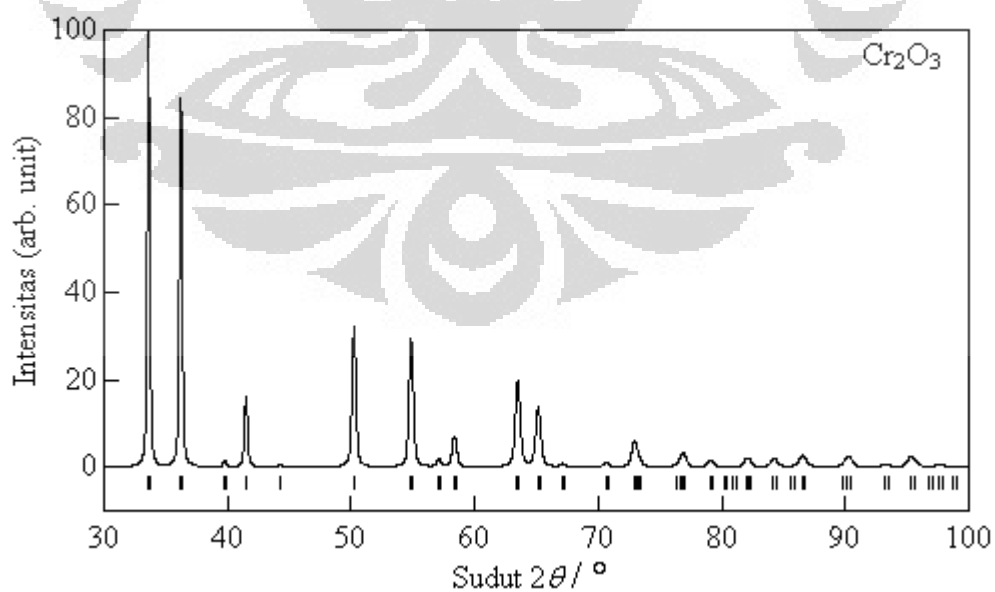


Gambar 4. 5: Hasil refinement dengan metode Rietveld dengan input paduan Chromium Cobalt.



Gambar 4. 6: Hasil refinement dengan metode Rietveld dengan input paduan Chromium Nickel.

Gambar 4. 7 merupakan hasil output untuk fasa Chromium Oksida (Cr₂O₃) dengan input parameter yang diperoleh dari hasil identifikasi dengan Tabel Hanawalt menggunakan metode Rietveld. Informasi dari tabel Hanawalt bahwa sistem kristal Chromium Oksida adalah hexagonal dengan space group R-3c (167), mempunyai parameter kisi $a = b = 4,97 \text{ \AA}$, dan $c = 13,63 \text{ \AA}$, dengan sudut-sudut yang dibentuk $\alpha = \beta = 90$, dan $\gamma = 120^\circ$.

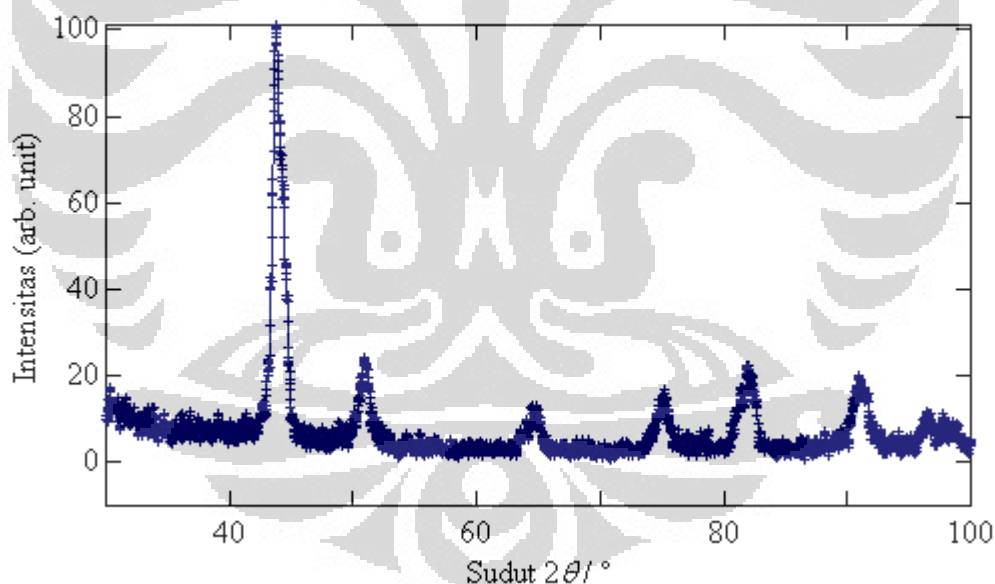


Gambar 4. 7: Hasil refinement menggunakan metode Rietveld dengan input paduan Chromium Oksida.

4.3.1. Proses Refinement Sampel Kategori A dan B

Sampel kategori A adalah perlakuan kuat arus 100A dengan laju bubuk masing-masing 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, dan 2,2 Lb/Jam, sedangkan sampel kategori B adalah perlakuan kuat arus 125A dengan laju bubuk masing-masing 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, dan 2,2 Lb/Jam. Jadi perbedaan kedua kategori sampel ini terletak pada perlakuan kuat arusnya.

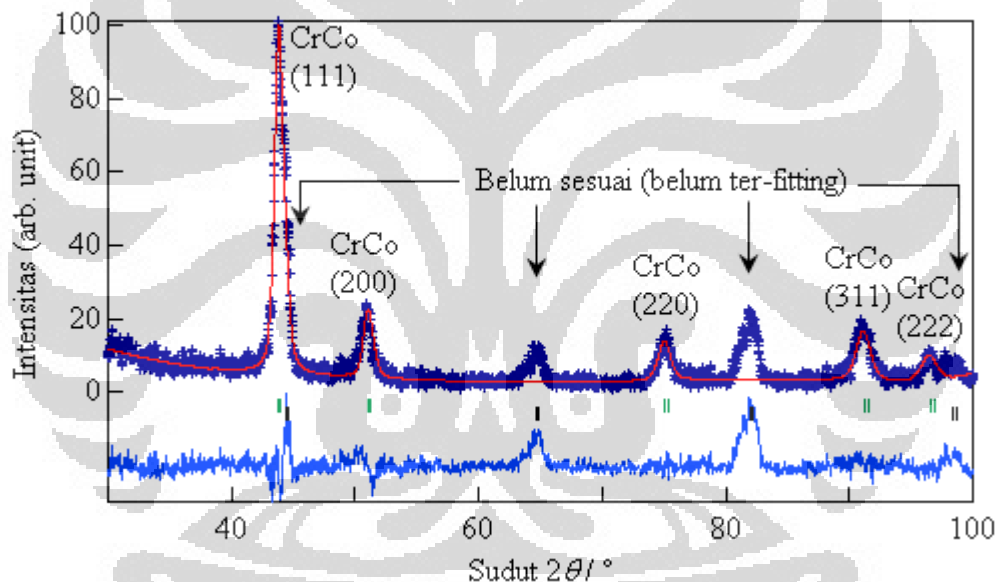
Mula-mula melihat data yang diperoleh dari pengukuran XRD berupa file bertipe UDR kemudian diubah atau dikonversi ke dalam file bertipe XLS dengan menggunakan program Excel. Dari data excel kemudian dibuat grafik hubungan antara 2θ dan intensitas. Atau dapat juga dilihat/dibuat dengan menggunakan program Bella, Igor, Origin dan lain-lain. Penulis menggunakan program Igor untuk menggambar grafik ini. Salah satu contoh grafik yang telah dibuat seperti diperlihatkan pada Gambar 4. 8, sedangkan gambar grafik yang lainnya dapat dilihat pada lampiran 7.



Gambar 4. 8: Grafik hubungan antara sudut 2θ dengan intensitas yang diperoleh dari data pengukuran XRD dari salah satu sampel. (sampel yang dipakai sebagai contoh ini adalah dengan laju bubuk 2,2 Lb/Jam dan kuat arus 100 ampere).

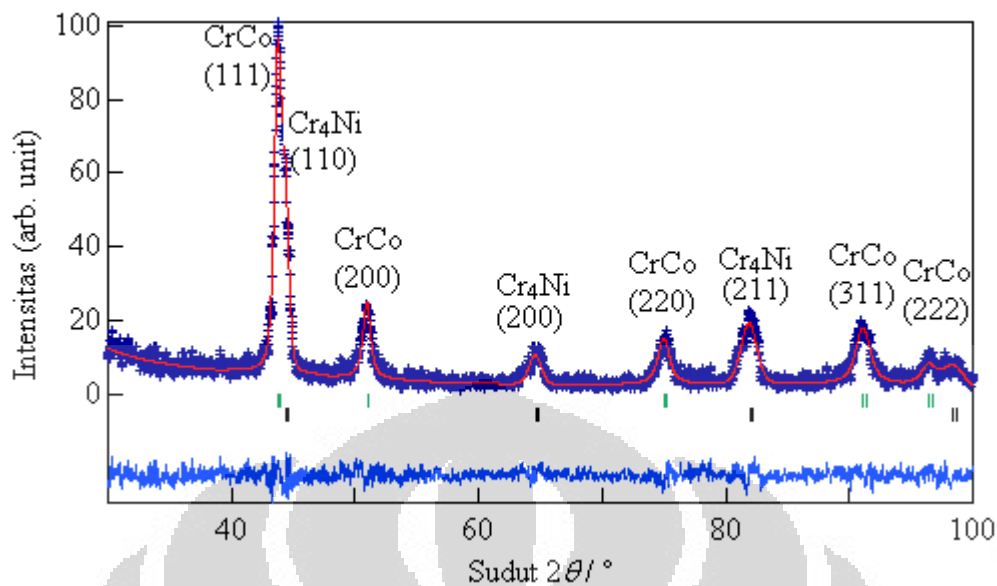
Berikutnya adalah langkah untuk menganalisis dengan menggunakan metode Rietveld, yaitu dengan memasukkan dua jenis data. Data pertama adalah data instrument yang berisi parameter struktur kristal dan data kedua adalah data intensitas. Parameter struktur kristal adalah data masukan dari suatu model

perhitungan yang diajukan sebagai standar acuan. Sedangkan data intensitas adalah data yang diperoleh dari hasil pengukuran menggunakan XRD. Pola difraksi hasil analisis menunjukkan adanya puncak-puncak yang berimpit dengan profile pola difraksi fasa CrCo. Dari sini hasil sementara telah diperoleh fasa CrCo yang sudah pasti ditunjukkan oleh hasil puncak-puncak yang telah bersesuaian (fitting). Pada referensi pertama berdasarkan tabel Hanawalt ini di-refinement dan diperoleh fasa pertama yaitu fasa CrCo masing-masing pada sudut $2\theta = 43,784^\circ$, $51,003^\circ$, dan $75,016^\circ$ sedangkan bidang hkl-nya berturut-turut (111), (200), dan (220). Puncak-puncak yang telah sesuai ini merupakan hasil refinement pola difraksi sinar-x dari sampel dengan laju bubuk 2,2 Lb/Jam dan perlakuan kuat arus 100 ampere (sampel kategori A3). Hasil sementara ini ditunjukkan pada Gambar 4. 9.





Gambar 4. 9: Hasil sementara refinement pola difraksi sinar-x sampel dengan laju bubuk 2,2 Lb/Jam dan kuat arus 100 ampere, ditemukan fasa CrCo.

Berikutnya dengan memasukkan data referensi kedua berdasarkan tabel Hanawalt kemudian di-refinement ulang diperoleh fasa kedua yaitu fasa Cr_4Ni masing-masing pada sudut $2\theta = 44,482^\circ$, $64,727^\circ$, dan $81,929^\circ$ sedangkan bidang hkl-nya berturut-turut (110), (200), dan (211). Puncak-puncak yang telah sesuai ini merupakan hasil refinement pola difraksi sinar-x dari sampel dengan laju bubuk 2,2 Lb/Jam dan perlakuan kuat arus 100 ampere. Hasil lengkap refinement sampel ini adalah ditemukannya fasa CrCo dan Cr_4Ni yang ditunjukkan pada Gambar 4. 10.



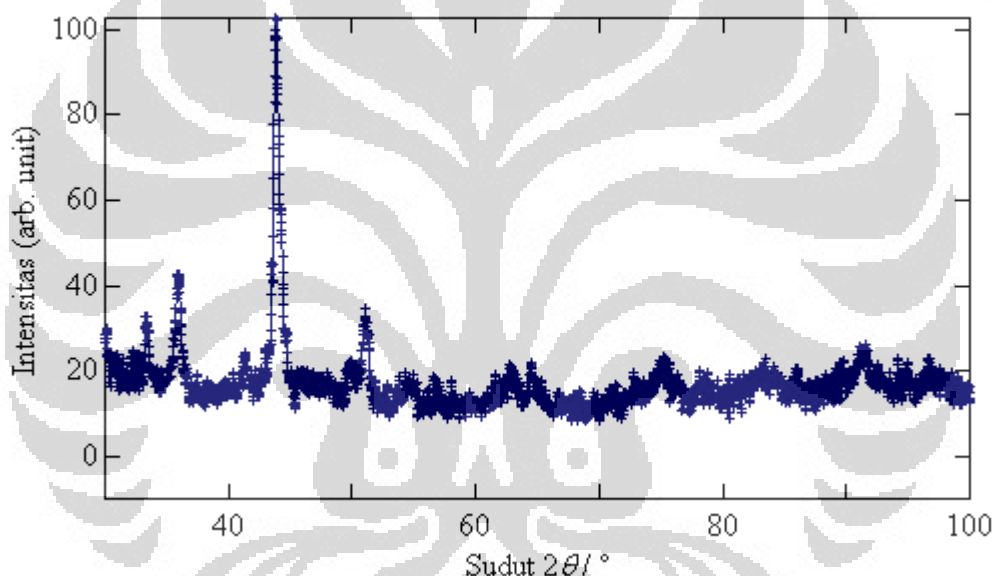
Gambar 4. 10: Hasil lengkap refinement pola difraksi sinar-x sampel dengan laju bubuk 2,2 Lb/Jam dan kuat arus 100 A(sampel A3), ditemukan fasa CrCo dan Cr₄Ni.

Simbol (+) pada Gambar 4. 10 adalah merupakan hasil pengukuran sampel dengan menggunakan difraksi sinar-x yang lazim disebut garis observasi. Garis tak terputus berupa garis lengkung (Curve line type dan Solid line style) yang berada di antara simbol (+) adalah hasil perhitungan berdasarkan data yang diperoleh dari penelitian Metcalfe (referensi fasa CrCo), dan Duwez (referensi fasa Cr₄Ni) yang kemudian disebut dengan garis kalkulasi. Garis bar dengan simbol (|) adalah titik-titik puncak fasa CrCo, dan Cr₄Ni dari hasil perhitungan berdasarkan referensi. Garis paling bawah dengan bentuk  (Line between points) adalah merupakan selisih dari profile hasil observasi dan profile hasil kalkulasi. Dari bentuk grafik tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa semakin datar bentuk garis  ini berarti bahwa profile hasil observasi semakin cocok yang artinya ter-fitting baik dengan profile hasil kalkulasi. Pola difraksi hasil analisis terhadap refinement sampel kedua dan ketiga dari sampel kategori A dan sampel pertama, kedua, dan ketiga dari sampel kategori B semuanya menghasilkan fasa yang sama yaitu CrCo dan Cr₄Ni. Tampilan grafik refinement selengkapnya (untuk semua sampel) dapat dilihat pada lampiran 8.

4.3.2. Proses Refinement Sampel Kategori A dan B Quenching 1000°C

Sampel kategori A quenching 1000°C adalah perlakuan kuat arus 100A dengan laju bubuk masing-masing 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, dan 2,2 Lb/Jam serta dipanaskan hingga 1000°C, sedangkan sampel kategori B quenching 1000°C adalah perlakuan kuat arus 125A dengan laju bubuk masing-masing 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, dan 2,2 Lb/Jam serta dipanaskan hingga 1000°C. Jadi perbedaan antara 4.3.1 dan 4.3.2 adalah terletak pada perlakuan panas.

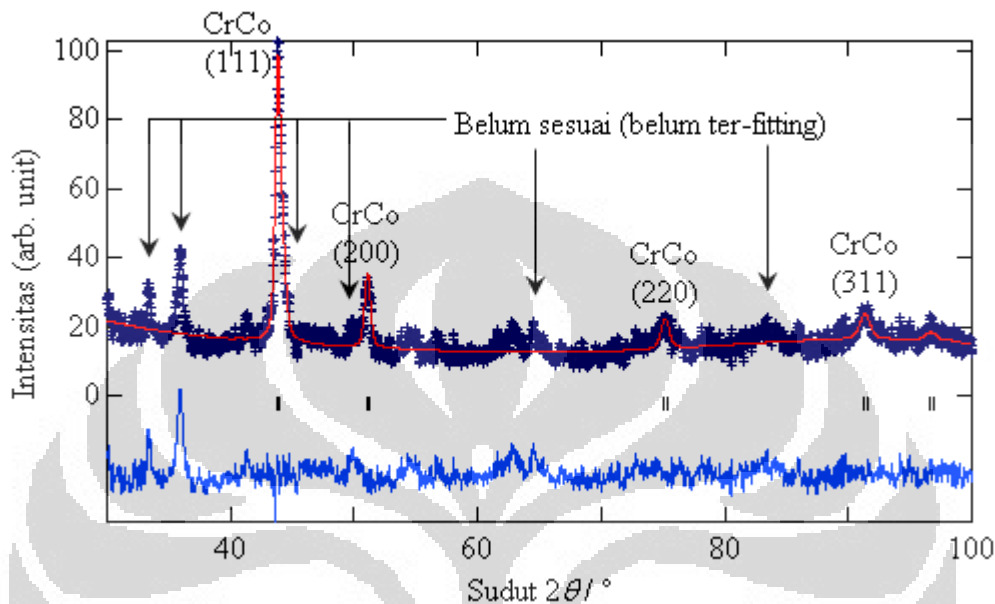
Dengan langkah yang sama dengan 4.3.1, salah satu contoh grafik yang telah dibuat seperti diperlihatkan pada Gambar 4. 11, sedangkan gambar grafik lainnya (sampel yang lain) dapat dilihat pada lampiran 7.



Gambar 4. 11: Grafik hubungan antara sudut 2θ dengan intensitas yang diperoleh dari data pengukuran XRD salah satu sampel. Sampel yang dipakai sebagai contoh ini adalah sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam dan kuat arus 100 ampere, serta quenching 1000°C (sampel kategori A1).

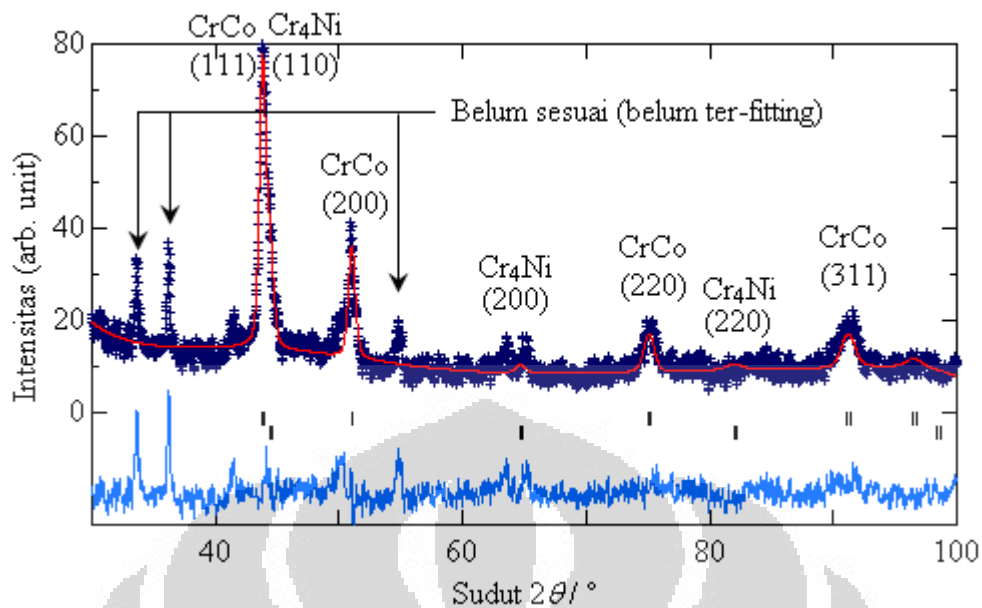
Berikutnya adalah langkah untuk menganalisis dengan menggunakan metode Rietveld, seperti yang telah dilakukan sebelumnya. Pola difraksi hasil analisis menunjukkan adanya puncak-puncak yang berimpit dengan profile pola difraksi fasa CrCo. Dari sini hasil sementara telah diperoleh fasa CrCo yang sudah pasti ditunjukkan oleh hasil puncak-puncak yang telah bersesuaian (fitting). Pada referensi pertama berdasarkan tabel Hanawalt ini di-refinement dan diperoleh fasa pertama yaitu fasa CrCo masing-masing pada sudut $2\theta = 43,833^\circ$, $51,061^\circ$, dan $75,109^\circ$,

sedangkan bidang hkl-nya berturut-turut (111), (200), dan (220). Puncak-puncak yang telah sesuai ini merupakan hasil refinement pola difraksi sinar-x dari sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam dan perlakuan kuat arus 100 ampere, serta quenching 1000°C (sampel A1). Hasil sementara ini ditunjukkan pada Gambar 4. 12.



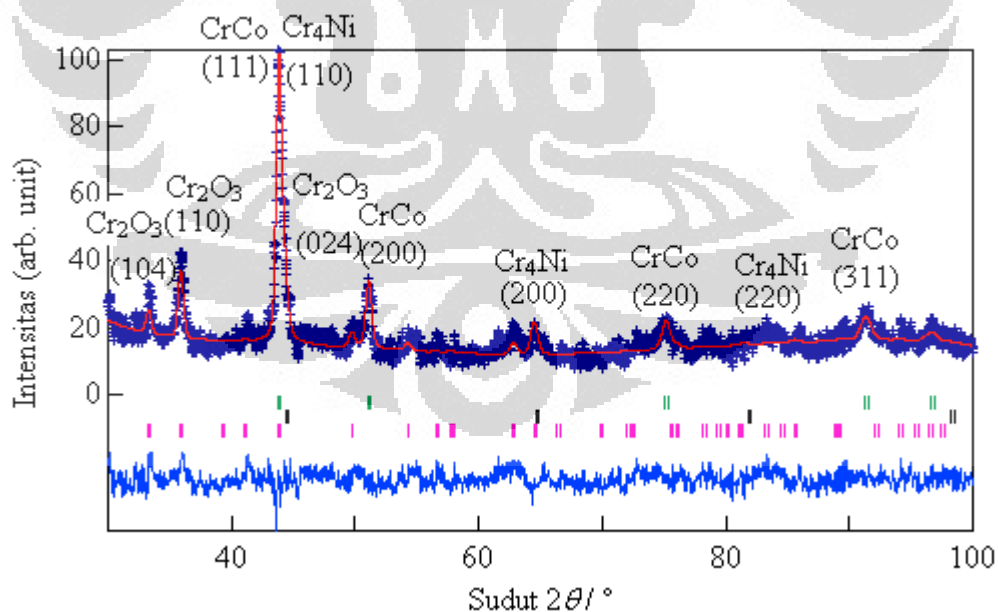
Gambar 4. 12: Hasil sementara refinement pola difraksi sinar-x sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam dan kuat arus 100 A, quenching 1000°C ditemukan fasa CrCo.

Berikutnya dengan memasukkan data referensi kedua berdasarkan tabel Hanawalt kemudian di-refinement ulang diperoleh fasa kedua yaitu fasa Cr_4Ni masing-masing pada sudut $2\theta = 44,431^\circ$, $64,647^\circ$, dan $81,820^\circ$ sedangkan bidang hkl-nya berturut-turut (110), (200), dan (211). Puncak-puncak yang telah sesuai ini merupakan hasil refinement pola difraksi sinar-x dari sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam dan perlakuan kuat arus 100 A serta quenching 1000°C. Hasil sementara dua fasa ini, bahwa fasa yang muncul juga sama dengan fasa yang muncul pada sampel kategori A dan B sebelum dilakukan quenching, yaitu fasa CrCo dan Cr_4Ni . Namun demikian dari grafik refinement dapat dilihat (Gambar 4. 13), bahwa masih terdapat puncak-puncak yang belum ter-fitting dengan baik. Hal ini menunjukkan bahwa masih ada fasa yang belum dideteksi, oleh karena itu masih diperlukan refinement ulang dengan memasukkan data referensi ketiga. Pada langkah ini diperoleh fasa ketiga yaitu fasa Cr_2O_3 masing-masing pada sudut $2\theta = 33,242^\circ$, $35,855^\circ$, dan $49,694^\circ$ sedangkan bidang hkl-nya berturut-turut (104), (110), dan (024).



Gambar 4. 13: Hasil sementara refinement pola difraksi sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam dan kuat arus 100 A, quenching 1000°C muncul fasa CrCo, dan Cr₄Ni.

Puncak-puncak yang telah sesuai ini merupakan hasil refinement pola difraksi sinar-x dari sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam dan perlakuan kuat arus 100 ampere serta quenching 1000°C. Hasil lengkap refinement sampel ini adalah ditemukannya fasa CrCo, Cr₄Ni, dan Cr₂O₃ yang ditunjukkan pada Gambar 4. 14.



Gambar 4. 14: Hasil lengkap refinement pola difraksi sinar-x sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam dan kuat arus 100 ampere serta quenching 1000°C (sampel A1), ditemukan 3 fasa, yaitu CrCo, Cr₄Ni dan Cr₂O₃.

Dari grafik selisih antara profile hasil observasi dan profile hasil kalkulasi terlihat bahwa bentuknya telah datar, hal ini menandakan hasil refinement ini sudah baik. Pola difraksi hasil analisis terhadap refinement sampel kedua dan ketiga dari sampel kategori A dan sampel pertama, kedua, dan ketiga dari sampel kategori B setelah quenching 1000°C semuanya menghasilkan fasa yang sama yaitu CrCo, Cr₄Ni, dan Cr₂O₃. Tampilan grafik refinement selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 8.

4.3.3. Data Parameter Kisi dan Data Posisi Atom

Data parameter kisi untuk fasa Chromium Cobalt (CrCo), fasa Chromium Nickel (Cr₄Ni), dan fasa Chromium Oksida (Cr₂O₃) untuk sampel A dan B ditunjukkan pada Tabel 4. 2. Sedangkan data parameter kisi untuk fasa Chromium Cobalt (CrCo), fasa Chromium Nickel (Cr₄Ni), dan fasa Chromium Oksida (Cr₂O₃) untuk sampel A dan B hasil proses quenching pada 1000 °C ditunjukkan pada Tabel 4. 3. Nilai dari posisi atom, faktor R (criteria of fit) dan Chi square S (goodness of fit) dari struktur kristal fasa Chromium Cobalt (CrCo), fasa Chromium Nickel (Cr₄Ni), dan fasa Chromium Oksida (Cr₂O₃) hasil analisis ini ditunjukkan pada tabel di lampiran 9.

Tabel 4. 2: Data parameter kisi hasil analisis dengan program RIETAN.

Parameter kisi (Å)			
Chromium Cobalt (CrCo) space group Fm3m (225)			
Sampel	a	b	c
A1	3,497	3,597	3,597
A2	3,585	3,585	3,585
A3	3,578	3,578	3,578
B1	3,607	3,607	3,607
B2	3,576	3,576	3,576
B3	3,567	3,567	3,567
Chromium Nickel (Cr₄Ni) space group Im3m (229)			
Sampel	a	b	c
A1	2,921	2,921	2,921
A2	2,865	2,865	2,865
A3	2,878	2,878	2,878
B1	2,885	2,885	2,885
B2	2,888	2,888	2,888
B3	2,876	2,876	2,876

Tabel 4. 3: Data parameter kisi hasil analisis dengan program RIETAN.

Parameter kisi (Å)			
Chromium Cobalt (CrCo) space group Fm3m (225)			
Sampel	a	b	c
A1	3,574	3,574	3,574
A2	3,574	3,574	3,574
A3	3,570	3,570	3,570
B1	3,574	3,574	3,574
B2	3,574	3,574	3,574
B3	4,180	4,180	4,180
Chromium Nickel (Cr₄Ni) space group Im3m (229)			
Sampel	a	b	c
A1	2,881	2,881	2,881
A2	2,878	2,878	2,878
A3	2,875	2,875	2,875
B1	2,876	2,876	2,876
B2	2,882	2,882	2,882
B3	2,872	2,872	2,872
Chromium Oksida (Cr₂O₃) space group R-3c (167)			
Sampel	a	b	c
A1	5,005	5,005	13,747
A2	4,973	4,973	13,614
A3	4,976	4,976	13,635
B1	4,963	4,963	13,602
B2	4,973	4,973	13,633
B3	4,972	4,972	13,646

Sedangkan nilai dari posisi atom, faktor R (*criteria of fit*) dan Chi square S (*goodness of fit*) dari struktur kristal fasa Chromium Cobalt (CrCo), fasa Chromium Nickel (Cr₄Ni), dan fasa Chromium Oksida (Cr₂O₃) hasil analisis ini untuk sampel A1, A2, A3, B1, B2, dan B3 setelah proses quenching pada suhu 1000 °C ditunjukkan pada tabel di lampiran 10.

Dari data (lampiran 10) tampak bahwa faktor R relative kecil, dan faktor S bernilai lebih kecil dari nilai standar Rietveld (Standar = 1,30). Refinement ini menunjukkan bahwa hasil fitting antara observasi dan kalkulasi sudah cukup baik. Hasil refinement pola difraksi sinar-x ini menunjukkan bahwa lapisan ini memiliki dua fasa, yaitu : fasa Chromium Cobalt (CrCo) yang mempunyai sistem kristal cubic dengan group ruang Fm3m (225), dan fasa Chromium Nickel (Cr₄Ni) yang mempunyai sistem kristal cubic dengan group ruang Im3m (229). Fasa Chromium

Oksida (Cr_2O_3) tumbuh setelah lapisan tersebut di-quenching dan fasa itu mempunyai sistem kristal hexagonal dengan group ruang R-3c (167).[10]

4.3.4. Hasil Perhitungan

Sedangkan jumlah kandungan masing-masing baik fasa CrCo, Cr_4Ni maupun fasa Cr_2O_3 dalam bentuk fraksi massa (%). Data fraksi massa dari sampel A dan B baik sebelum dan sesudah quenching ditunjukkan pada Tabel 4. 4

Tabel 4. 4: Data fraksi massa CrCo, Cr_4Ni , dan Cr_2O_3 .

Sampel dan Fasa	Fraksi Massa (%)				
	Sebelum quench		Sesudah quench		
	CrCo	Cr_4Ni	CrCo	Cr_4Ni	Cr_2O_3
A1	99,8	0,2	81,3	3,1	15,6
A2	99,2	0,8	85,7	3,8	10,6
A3	81,0	19,0	72,7	16,9	10,5
B1	96,9	3,1	76,2	12,9	10,9
B2	89,2	10,8	61,4	26,2	12,4
B3	8,4	91,6	9,6	76,1	14,3

Data kerapatan atom dan volume unit sel dari sampel A dan B sebelum quenching dan sesudah quenching berturut-turut ditunjukkan pada Tabel 4. 5 dan Tabel 4. 6.

Tabel 4. 5: Data kerapatan atom dan volume unit sel untuk sampel A dan B.

Sampel	Kerapatan atom ($\text{gr}, \text{cm}^{-3}$)		Volume unit sel (Å^3)	
	CrCo	Cr_4Ni	CrCo	Cr_4Ni
A1	8,1	14,8	46,6	24,9
A2	7,8	15,6	46,1	23,5
A3	6,5	15,4	45,8	23,8
B1	8,3	15,3	46,9	24,0
B2	8,2	15,6	45,7	23,7
B3	8,3	15,4	45,4	23,8

Tabel 4. 6: Data kerapatan atom dan volume unit sel untuk sampel A dan B quenching pada suhu 1000 °C.

Sampel	Kerapatan atom (gr,cm ⁻³)			Volume unit sel (Å ³)		
	CrCo	Cr ₄ Ni	Cr ₂ O ₃	CrCo	Cr ₄ Ni	Cr ₂ O ₃
A1	8,2	15,3	13,6	45,7	23,9	298,2
A2	8,2	15,4	13,9	45,7	23,8	291,6
A3	8,2	15,5	14,1	45,5	23,8	292,4
B1	8,2	15,4	14,0	45,7	23,8	290,1
B2	8,7	14,8	14,4	46,7	24,1	292,0
B3	8,1	15,5	13,9	73,2	23,7	292,1

Perhitungan ukuran kristalit dengan Formula Debye – Scherer. Besarnya diameter ukuran grain / kristalit (grain size) dapat dihitung berdasarkan formula Debye Scherer (4.1), dari hasil analisis metode Rietveld pada sampel ini, yaitu dengan memasukkan parameter sudut pada bidang tertentu dan lebar setengah puncak maksimum (FWHM) pada bidang tersebut.

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

Hasil perhitungan diameter grain/kristalit tersebut ditunjukkan Tabel 4. 7, dan , yang berturut-turut untuk ukuran grain fasa CrCo dan Cr₄Ni untuk sampel A1, A2, A3, B1, B2, dan B3. Dan Tabel 4. 8, Tabel 4. 9, Tabel 4. 10, dan Tabel 4. 11 berturut-turut untuk ukuran grain fasa CrCo, Cr₄Ni, dan Cr₂O₃ quenching 1000°C untuk semua sampel.

Tabel 4. 7: Hasil perhitungan ukuran grain fasa CrCo sampel A dan B.

No	Bidang hkl	Sudut $2\theta(^{\circ})$	K (rad.A ⁻²)	Lambda (A)	FWHM ($^{\circ}$)	Ukuran grain (nm)
1.	111	43,534	0,9	1,5406	0,6211	13,8
2.	200	50,707	0,9	1,5406	0,6813	12,9
3.	220	74,540	0,9	1,5406	0,9183	10,9
Rata-rata ukuran grain A1						12,5
1.	111	43,695	0,9	1,5406	0,5569	15,4
2.	200	50,898	0,9	1,5406	0,6023	14,6
3.	220	74,847	0,9	1,5406	0,7799	12,8
Rata-rata ukuran grain A2						14,3
1.	111	43,784	0,9	1,5406	0,5717	14,9
2.	200	51,003	0,9	1,5406	0,6959	12,6
3.	220	75,016	0,9	1,5406	1,0666	9,4
Rata-rata ukuran grain A3						12,3
1.	111	43,411	0,9	1,5406	0,6034	14,2
2.	200	50,561	0,9	1,5406	0,6823	12,9
3.	220	74,305	0,9	1,5406	0,9864	10,1
Rata-rata ukuran grain B1						12,4
1.	111	43,695	0,9	1,5406	0,5569	15,4
2.	200	50,898	0,9	1,5406	0,6023	14,6
3.	220	74,847	0,9	1,5406	0,7799	12,8
Rata-rata ukuran grain B2						14,3
1.	111	43,921	0,9	1,5406	1,0453	8,2
2.	200	51,167	0,9	1,5406	1,1819	7,5
3.	220	75,279	0,9	1,5406	1,718	5,8
Rata-rata ukuran grain B3						7,2

Tabel 4. 8: Hasil perhitungan ukuran grain fasa Cr₄Ni sampel A dan B.

No	Bidang hkl	Sudut 2θ(°)	K (rad.A ⁻²)	Lambda (Å)	FWHM (°)	Ukuran grain (nm)
1.	110	43,796	0,9	1,5406	0,3691	23,2
2.	200	63,665	0,9	1,5406	0,8023	11,7
3.	211	80,478	0,9	1,5406	1,1790	8,8
Rata-rata ukuran grain A1						14,6
1.	110	44,696	0,9	1,5406	0,5647	15,2
2.	200	65,058	0,9	1,5406	0,7830	12,0
3.	211	82,383	0,9	1,5406	1,0151	10,4
Rata-rata ukuran grain A2						12,5
1.	110	44,482	0,9	1,5406	0,7883	10,9
2.	200	64,727	0,9	1,5406	1,1302	8,3
3.	211	81,929	0,9	1,5406	1,4837	7,1
Rata-rata ukuran grain A3						8,8
1.	110	44,375	0,9	1,5406	1,0222	8,4
2.	200	64,560	0,9	1,5406	1,0593	8,9
3.	211	81,701	0,9	1,5406	1,0614	9,9
Rata-rata ukuran grain B1						9,1
1.	110	44,641	0,9	1,5406	0,6493	13,2
2.	200	64,972	0,9	1,5406	0,5641	16,7
3.	211	82,265	0,9	1,5406	0,4848	21,8
Rata-rata ukuran grain B2						17,2
1.	110	44,520	0,9	1,5406	0,3980	21,6
2.	200	64,786	0,9	1,5406	0,5129	18,3
3.	211	82,010	0,9	1,5406	0,6337	16,6
Rata-rata ukuran grain B3						18,8

Tabel 4. 9: Hasil perhitungan ukuran grain fasa CrCo hasil quench.

No	Bidang hkl	Sudut $2\theta(^{\circ})$	K ($\text{rad}\cdot\text{A}^{-2}$)	Lambda (A)	FWHM ($^{\circ}$)	Ukuran grain (nm)
1.	111	43,833	0,9	1,5406	0,5049	17,0
2.	200	51,061	0,9	1,5406	0,5523	15,9
3.	220	75,109	0,9	1,5406	0,7374	13,6
Rata-rata ukuran grain A1 quench						15,5
1.	111	43,826	0,9	1,5406	0,5509	15,5
2.	200	51,054	0,9	1,5406	0,5955	14,8
3.	220	75,097	0,9	1,5406	0,7701	13,0
Rata-rata ukuran grain A2 quench						14,4
1.	111	31,421	0,9	1,5406	0,4804	17,2
2.	200	35,564	0,9	1,5406	0,4946	16,9
3.	220	48,177	0,9	1,5406	0,5405	16,1
Rata-rata ukuran grain A3 quench						16,7
1.	111	43,792	0,9	1,5406	0,5857	14,6
2.	200	51,013	0,9	1,5406	0,6387	13,8
3.	220	75,031	0,9	1,5406	0,8482	11,8
Rata-rata ukuran grain B1 quench						13,4
1.	111	43,831	0,9	1,5406	0,5285	16,2
2.	200	51,059	0,9	1,5406	0,5599	15,7
3.	220	75,106	0,9	1,5406	0,6730	14,9
Rata-rata ukuran grain B2 quench						15,6
1.	111	37,220	0,9	1,5406	1,5085	5,6
2.	200	43,245	0,9	1,5406	1,5732	5,4
3.	220	62,815	0,9	1,5406	1,8134	5,1
Rata-rata ukuran grain B3 quench						5,4

Tabel 4. 10: Hasil perhitungan ukuran grain fasa Cr₄Ni hasil quench.

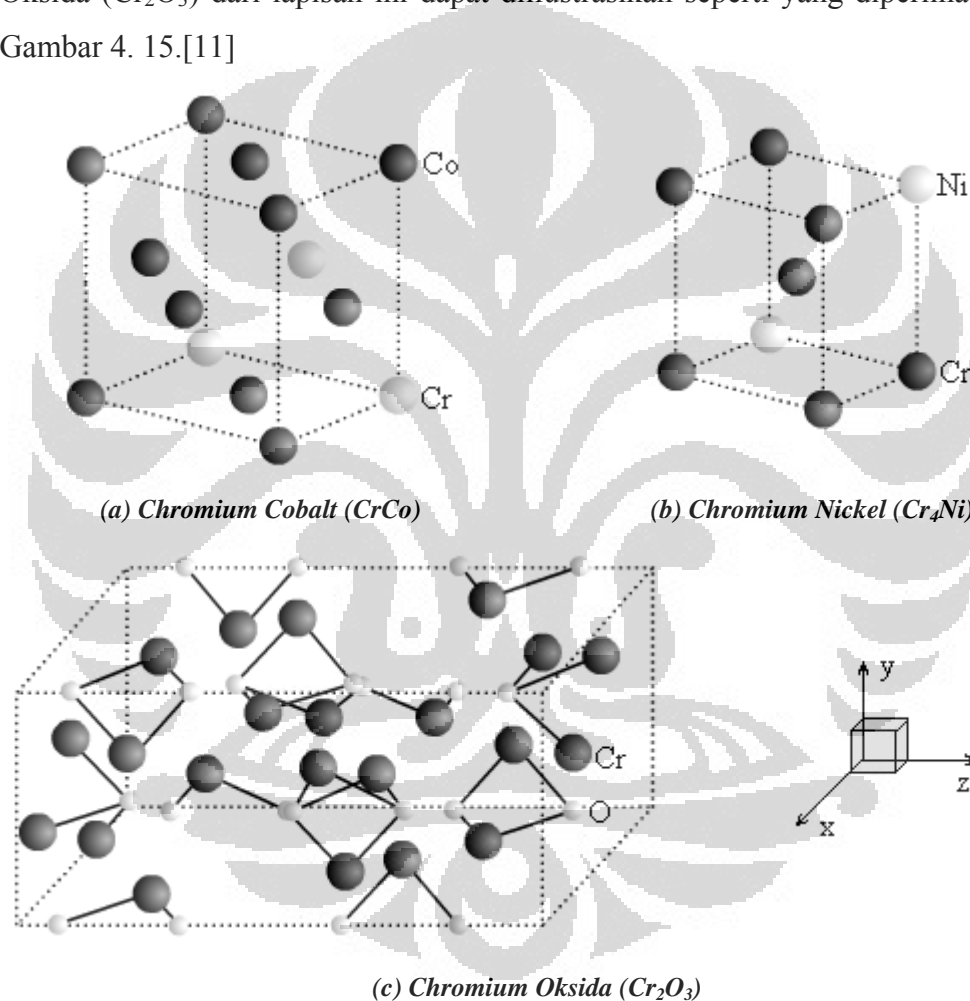
No	Bidang hkl	Sudut 2θ(°)	K (rad,Å ⁻²)	Lambda (Å)	FWHM (°)	Ukuran grain (nm)
1.	110	44,431	0,9	1,5406	0,4587	18,7
2.	200	64,647	0,9	1,5406	0,6449	14,6
3.	211	81,820	0,9	1,5406	0,8413	12,5
Rata-rata ukuran grain A1 quench						15,3
1.	110	44,483	0,9	1,5406	0,6343	13,5
2.	200	64,727	0,9	1,5406	0,7867	12,0
3.	211	81,930	0,9	1,5406	0,9466	11,1
Rata-rata ukuran grain A2 quench						12,2
1.	110	44,535	0,9	1,5406	0,4867	17,6
2.	200	64,808	0,9	1,5406	0,9033	10,4
3.	211	82,041	0,9	1,5406	1,2928	8,1
Rata-rata ukuran grain A3 quench						12,1
1.	110	44,510	0,9	1,5406	0,66	13,0
2.	200	64,770	0,9	1,5406	0,9493	9,9
3.	211	81,988	0,9	1,5406	1,2536	8,4
Rata-rata ukuran grain B1 quench						10,4
1.	110	44,315	0,9	1,5406	0,8162	10,5
2.	200	64,468	0,9	1,5406	0,9984	9,4
3.	211	81,575	0,9	1,5406	1,1902	8,8
Rata-rata ukuran grain B2 quench						9,6
1.	110	44,575	0,9	1,5406	0,5018	17,1
2.	200	64,870	0,9	1,5406	0,6485	14,5
3.	211	82,125	0,9	1,5406	0,8052	13,1
Rata-rata ukuran grain B3 quench						14,9

Tabel 4. 11: Hasil perhitungan ukuran grain fasa Cr_2O_3 hasil quench.

No	Bidang hkl	Sudut $2\theta(^{\circ})$	K ($\text{rad}, \text{A}^{-2}$)	Lambda (A)	FWHM ($^{\circ}$)	Ukuran grain (nm)
1.	110	35,855	0,9	1,5406	0,4921	17,0
2.	024	49,694	0,9	1,5406	0,5621	15,6
3.	104	33,242	0,9	1,5406	0,4798	17,3
Rata-rata ukuran grain A1 quench						16,6
1.	110	36,093	0,9	1,5406	0,3809	21,9
2.	024	50,086	0,9	1,5406	0,4197	20,9
3.	104	33,532	0,9	1,5406	0,374	22,2
Rata-rata ukuran grain A2 quench						21,7
1.	110	36,068	0,9	1,5406	0,3587	23,3
2.	024	50,036	0,9	1,5406	0,4044	21,7
3.	104	33,490	0,9	1,5406	0,3506	23,7
Rata-rata ukuran grain A3 quench						22,9
1.	110	36,172	0,9	1,5406	0,3172	26,3
2.	024	50,180	0,9	1,5406	0,3337	26,3
3.	104	33,579	0,9	1,5406	0,3137	26,5
Rata-rata ukuran grain B1 quench						26,4
1.	110	36,093	0,9	1,5406	0,3728	22,4
2.	024	50,064	0,9	1,5406	0,4213	20,8
3.	104	33,502	0,9	1,5406	0,3643	22,8
Rata-rata ukuran grain B2 quench						22,0
1.	110	36,099	0,9	1,5406	0,3866	21,6
2.	024	50,056	0,9	1,5406	0,4313	20,3
3.	104	33,484	0,9	1,5406	0,3786	21,9
Rata-rata ukuran grain B3 quench						21,3

4.4. Analisa Struktur Kristal

Analisis struktur kristal dilakukan dengan memberikan masukan data berdasarkan hasil analisis Rietveld, yaitu parameter kisi, space group, posisi atom, dan jarak ikatan antar atom yang dapat diperoleh dari jari-jari masing-masing atom baik untuk fasa Chromium Cobalt (CrCo), Chromium Nickel (Cr_4Ni) maupun fasa Chromium Oksida (Cr_2O_3). Dengan demikian sistem kristal baik untuk fasa Chromium Cobalt (CrCo), Chromium Nickel (Cr_4Ni) maupun fasa Chromium Oksida (Cr_2O_3) dari lapisan ini dapat diilustrasikan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4. 15.[11]

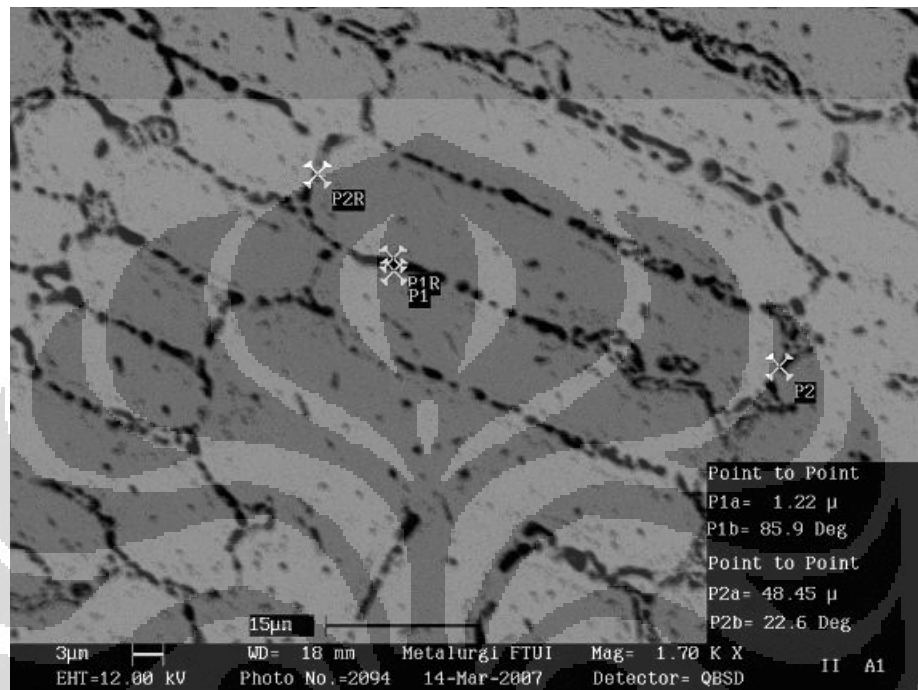


Gambar 4. 15: (a) Sistem kristal dari CrCo , (b) sistem kristal dari Cr_4Ni , dan (c) sistem kristal dari Cr_2O_3 [12].

4.5. Karakterisasi Struktur Mikro dengan SEM

Hasil preparasi lapisan dengan menggunakan metode PTAW tersebut kemudian dilihat morphology permukaannya dengan menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM). Gambar 4. 16 merupakan foto SEM sampel A1,

sedangkan gambar foto SEM sampel lain terdapat pada lampiran 11. Tampak pada gambar SEM bentuk partikel menyerupai dendrite-dendrite dengan batas-batas tampak homogen. Sedangkan distribusi ukuran dendrite dan batas dendrite ditunjukkan pada Tabel 4. 12.



Gambar 4. 16: Foto SEM sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam dan kuat arus 100 A.

Pada Tabel 4. 12 menunjukkan bahwa distribusi ukuran partikel matrik tidak berubah dengan kenaikan laju bubuk, namun jarak batas dendrite-nya meningkat seiring dengan kenaikan laju bubuk.

Tabel 4. 12: Ukuran dendrite dan jarak batas dendrite.

Sampel	Laju bubuk (Lb/Jam)	Arus (ampere)	Panjang dendrite (μmeter)	Batas dendrite (μmeter)
A1	1,6	100	22,60	1,22
A2	1,8	100	22,37	1,37
A3	2,2	100	29,13	2,27
B1	1,6	125	40,22	1,32
B2	1,8	125	43,66	1,98
B3	2,2	125	43,91	5,96

4.6. Karakterisasi Kekerasan

Pengukuran kekerasan menggunakan alat Micro Hardness Tester Matsuzawa dengan rumusan sebagai berikut :

$$0,102 \frac{F}{s} = 0,102 \frac{2F \sin \frac{\theta}{2}}{d^2} = 0,1891 \frac{F}{d^2} \quad (4.2)$$

Tabel 4. 13: Hasil pengukuran kekerasan.

Nilai Kekerasan = HV (kg.mm ⁻²)		
Sampel	Beban Indentor 1000 gram	
	Sebelum quench	Sesudah quench
A1	403,08	531,52
A2	298,88	308,20
A3	259,04	289,54
B1	450,66	337,29
B2	315,15	240,61
B3	271,74	238,00

Sampel dipersiapkan dalam bentuk plat, kemudian sampel di-mounting dengan tujuan untuk memperoleh bidang datar pada saat dilakukan pengukuran. Setelah sampel dinyatakan siap diukur, dilakukan penjejakan dengan variasi indentor 200 gram, 500 gr, dan 1000 gr. Tabel 4. 13 merupakan hasil pengukuran kekerasan yang telah dikonversi ke HV dengan beban indentor 1000 gram untuk sampel A dan B baik sebelum quenching maupun sesudah quenching. Tabel kekerasan (HV) dan grafik kekerasan terhadap laju bubuk selengkapnya di lampiran 12 dan 13.

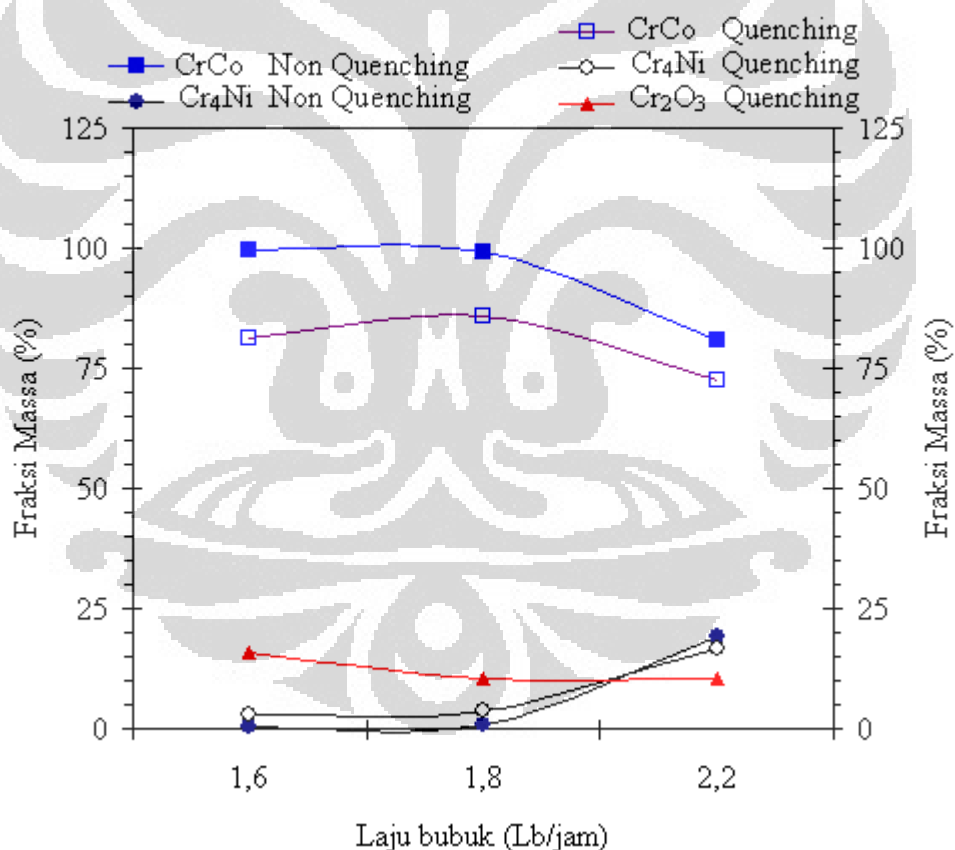
4.7. Diskusi

4.7.1. Sampel Kategori A Sebelum Quenching dan Sesudah Quenching

Berdasarkan hasil analisis dari pola difraksi sinar-x menunjukkan bahwa bahan dasar Bubuk Stellite 6 yang digunakan untuk membuat lapisan dengan proses PTAW dapat menghasilkan 2 fasa utama yaitu Chromium Cobalt (CrCo) dan Chromium Nickel (Cr₄Ni). Pada Gambar 4. 17 menunjukkan hubungan antara fraksi massa dari fasa yang terkandung di dalam sampel berdasarkan hasil analisis Rietveld

dengan variasi laju bubuk bahan dasar yang berturut-turut untuk sampel A baik sebelum dan sesudah quenching. Berdasarkan hasil dari analisis Rietveld menunjukkan bahwa fasa Cr_4Ni relatif tidak berubah, sedangkan fraksi massa fasa CrCo semakin kecil setelah quenching.

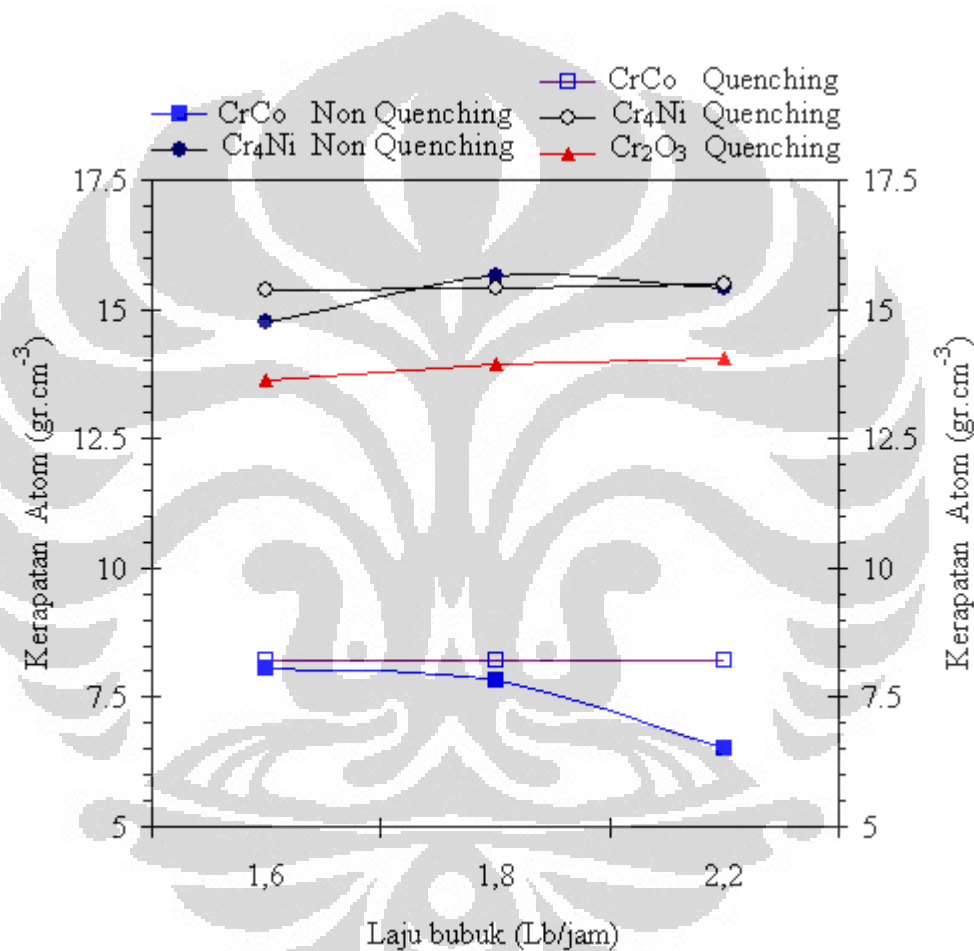
Berdasarkan hubungannya dengan laju bubuk menunjukkan bahwa peningkatan laju bubuk fraksi massa CrCo (baik non quenching maupun quenching) menurun, sedangkan fraksi massa fasa Cr_4Ni menunjukkan peningkatan seiring dengan naiknya laju bubuk. Sebelum di-quenching laju tinggi, Cr lebih suka membentuk Cr_4Ni dari pada CrCo . Setelah quenching muncul fasa baru Cr_2O_3 dengan fraksi massa yang relatif konstan. Dapat disimpulkan setelah quenching CrCo makin berkurang, Cr_4Ni meningkat dan terjadi oksidasi Cr pada suhu 1000°C .



Gambar 4. 17: Fraksi massa pada lapisan sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, 2,2 Lb/Jam, kuat arus 100 A sebelum dan sesudah quenching 1000°C .

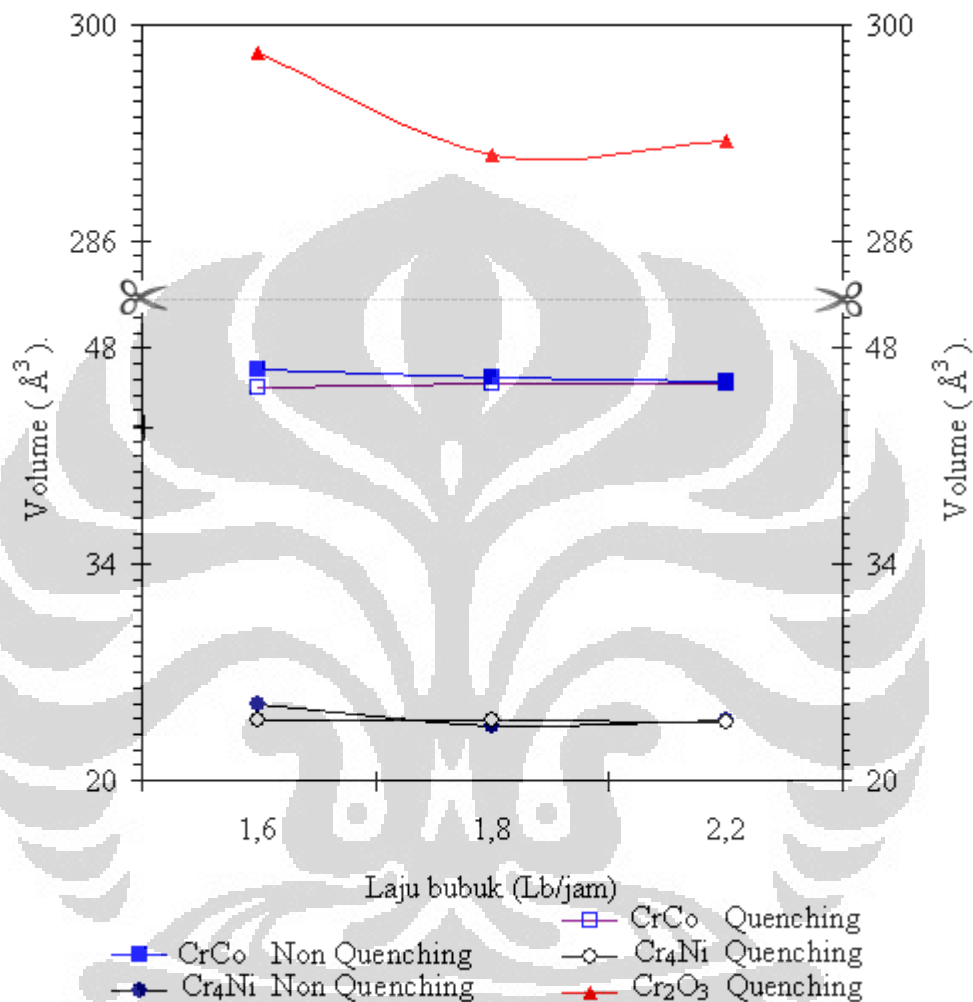
Pada Gambar 4. 18 menunjukkan fakta bahwa untuk sampel A sebelum quenching kerapatan fasa Cr_4Ni lebih besar dibandingkan dengan kerapatan atom fasa CrCo , sedangkan kerapatan atom CrCo meningkat setelah quenching.

Dapat disimpulkan bahwa quenching membuat kerapatan atom untuk seluruh rentang laju bubuk konstan baik untuk CrCo maupun Cr_4Ni . Hal ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam aplikasi bahwa setelah pemakaian akan terjadi perubahan sifat fisis dan dapat mempengaruhi sifat mekanik.



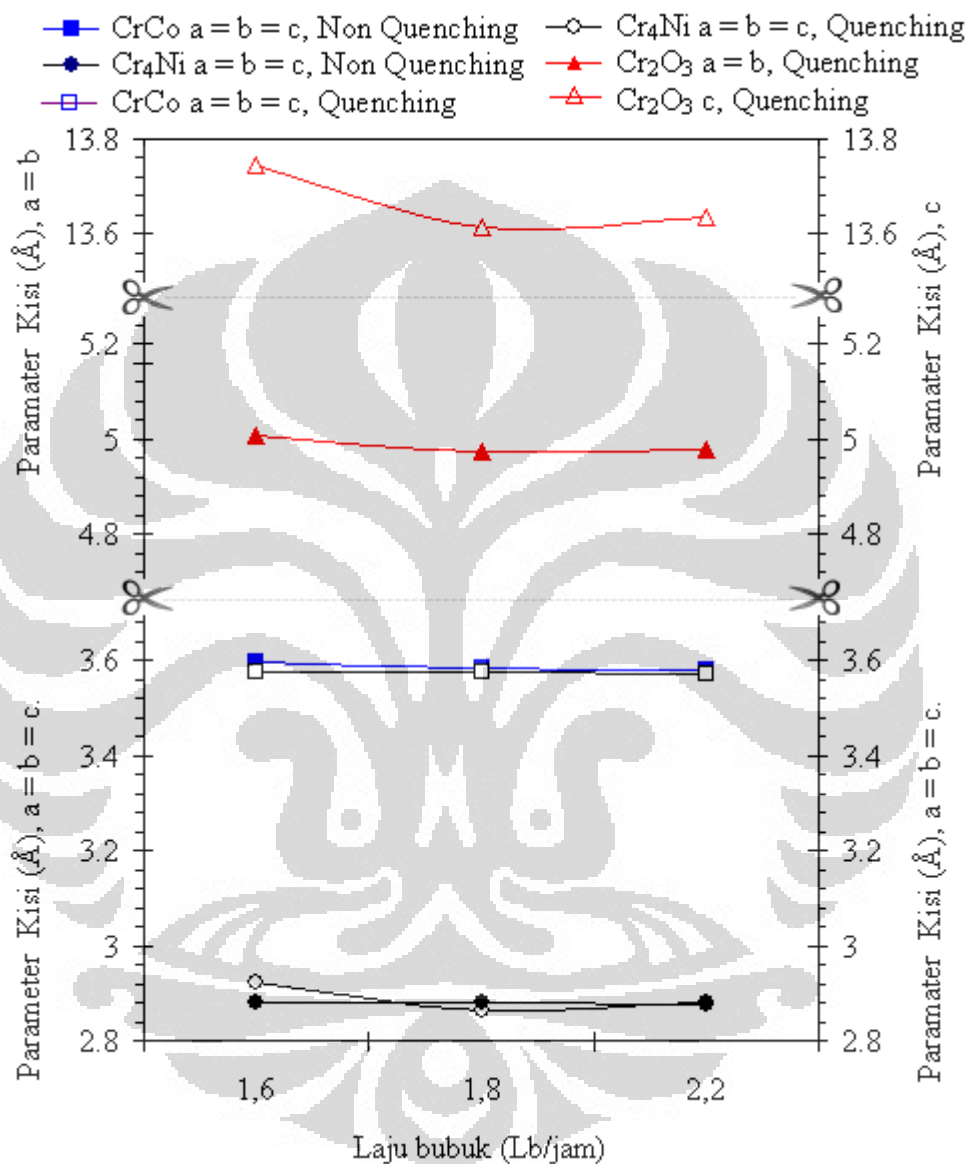
Gambar 4. 18: Kerapatan atom pada lapisan sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, 2,2 Lb/Jam, kuat arus 100 A sebelum dan sesudah quenching 1000°C.

Gambar 4. 19 adalah grafik hubungan antara volume unit cell terhadap laju bubuk, pada grafik ini volume masing-masing fasa yang muncul menunjukkan hampir tidak berubah sedangkan oksidasi Cr_2O_3 berkurang pada laju bubuk tinggi.



Gambar 4. 19: Volume unit cell pada lapisan sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, 2,2 Lb/Jam, kuat arus 100 A sebelum dan sesudah quenching 1000°C.

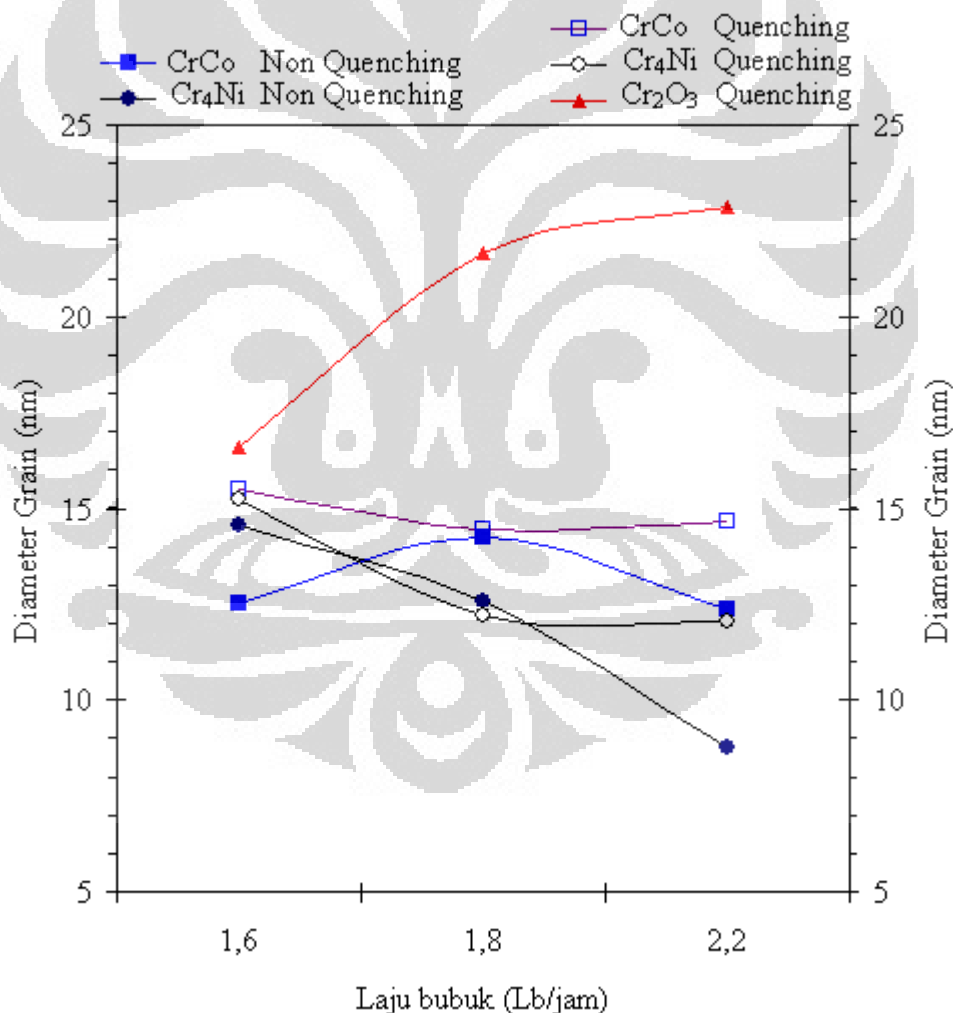
Gambar 4. 20 adalah grafik hubungan antara parameter kisi terhadap laju bubuk, parameter CrCo dan Cr₄Ni tidak berubah sebelum dan sesudah quenching, hal ini berarti bahwa tidak ada residual stress dalam bahan pada saat pembuatan.



Gambar 4. 20: Parameter kisi pada lapisan sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, 2,2 Lb/Jam, kuat arus 100 A sebelum dan sesudah quenching 1000°C.

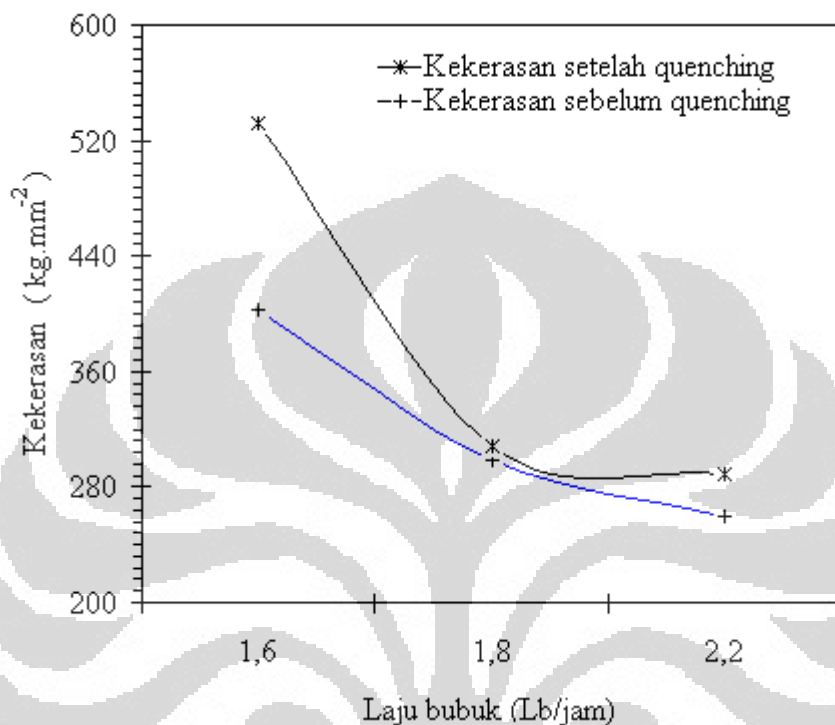
Gambar 4. 21 adalah grafik hubungan antara diameter grain terhadap laju bubuk, setelah quenching ada tiga hal yang dapat diamati, pertama diameter CrCo relatif konstan, kedua diameter Cr₄Ni penurunannya berkurang pada diameter semakin kecil, dan ketiga diameter Cr₂O₃ semakin naik terhadap laju bubuk. Hal ini disebabkan oleh kekerasan Cr₂O₃, menurut Hall Petch Kekerasan $\propto \frac{1}{\sqrt{d}}$.

Sebelum quenching kemungkinan besar kekerasannya dipengaruhi oleh CrCo, namun kontradiksi pada laju bubuk 2,2 Lb/Jam. (Pada titik 2,2 Lb/Jam ini banyak hal yang tidak konsisten, ini disebabkan oleh faktor lain seperti fasa non kristal yang di luar dari tujuan tesis ini).



Gambar 4. 21: Diameter grain pada lapisan sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, 2,2 Lb/Jam, kuat arus 100 A sebelum dan sesudah quenching 1000°C.

Gambar 4. 22 adalah grafik hubungan antara kekerasan terhadap laju bubuk, dari grafik ini dapat disimpulkan bahwa kekerasan menurun terhadap laju bubuk dan meningkat setelah perlakuan quenching.



Gambar 4. 22: Kekerasan pada lapisan sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, 2,2 Lb/Jam, kuat arus 100 A sebelum dan sesudah quenching 1000°C.

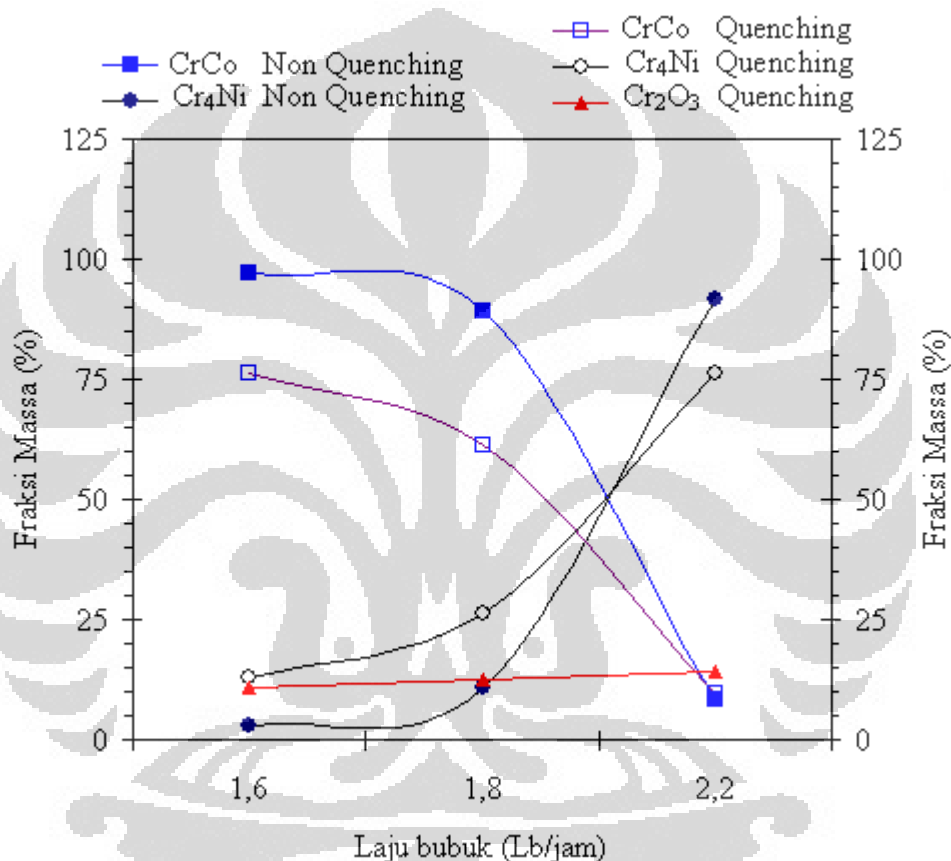
4.7.2. Sampel Kategori B Sebelum Quenching dan Sesudah Quenching

Pada Gambar 4. 23 menunjukkan hubungan antara fraksi massa dari fasa yang terkandung di dalam sampel berdasarkan hasil analisis Rietveld dengan variasi laju bubuk bahan dasar yang berturut-turut untuk sampel B (laju bubuk 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, dan 2,2 Lb/Jam, dan kuat arus 125 ampere) baik sebelum dan sesudah quenching. Berdasarkan hasil dari analisis Rietveld menunjukkan bahwa fasa Cr₄Ni relatif tidak berubah pada laju bubuk di bawah 1,8 Lb/Jam, sedangkan fraksi massa fasa CrCo semakin kecil setelah quenching.

Berdasarkan hubungannya dengan laju bubuk menunjukkan bahwa peningkatan laju bubuk fraksi massa CrCo (baik non quenching maupun quenching) menurun, sedangkan fraksi massa fasa Cr₄Ni menunjukkan peningkatan seiring

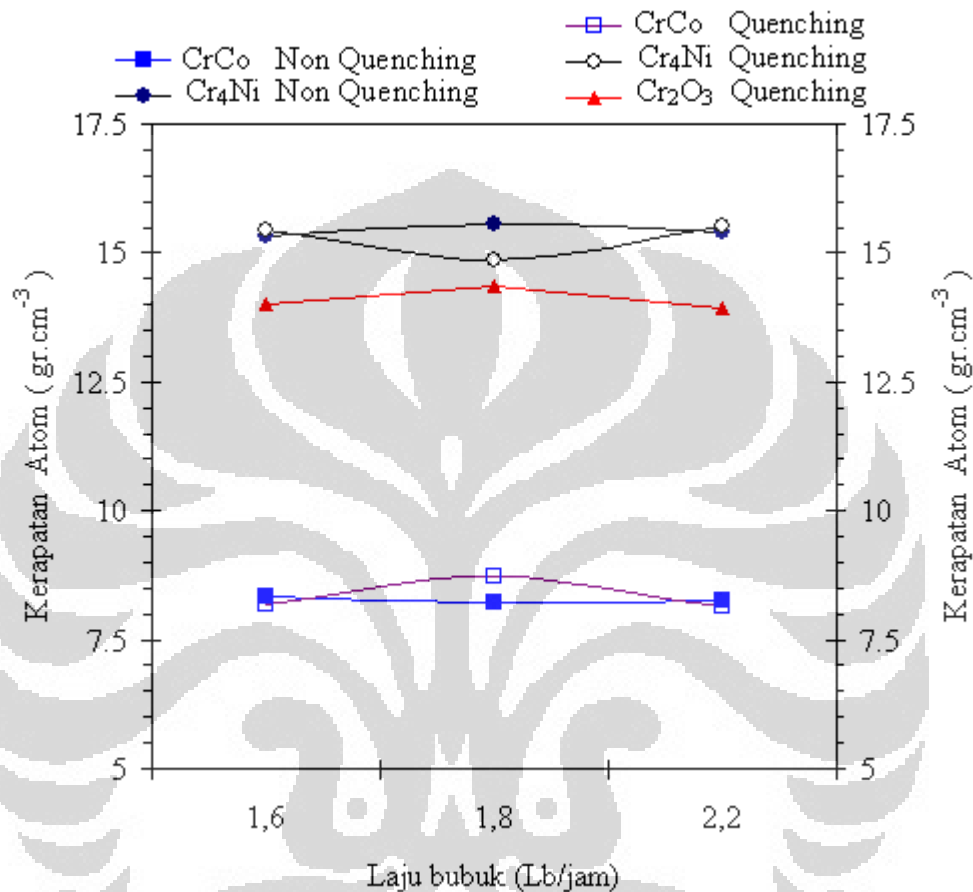
dengan naiknya laju bubuk. Sebelum di-quenching laju tinggi, Cr lebih suka membentuk Cr_4Ni dari pada CrCo .

Setelah quenching muncul fasa baru Cr_2O_3 dengan fraksi massa yang relatif konstan. Dapat disimpulkan setelah quenching CrCo makin berkurang, Cr_4Ni meningkat dan terjadi oksidasi Cr pada suhu 1000°C . Pengaruh kuat arus menyebabkan terbentuknya Cr_4Ni jauh lebih dominan daripada laju bubuk di atas 1,8 Lb/Jam.



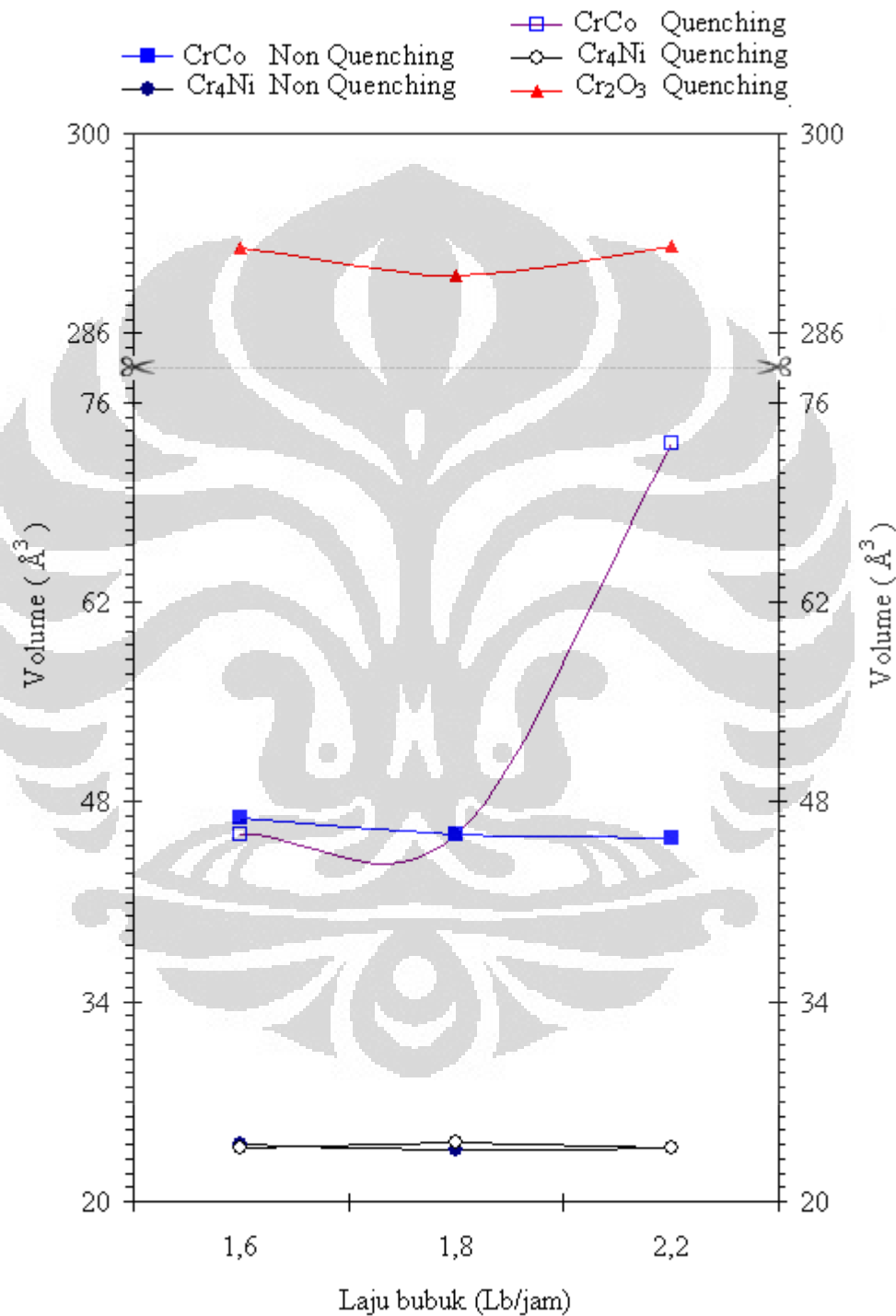
Gambar 4. 23: Fraksi massa pada lapisan sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, 2,2 Lb/Jam, kuat arus 125 A sebelum dan sesudah quenching 1000°C .

Gambar 4. 24 adalah grafik hubungan antara kerapatan atom terhadap laju bubuk, dari grafik ini menunjukkan kerapatan atom tetap untuk seluruh fasa sebelum dan sesudah quenching. Pengaruh kuat arus terhadap kerapatan atom hampir tidak ada.



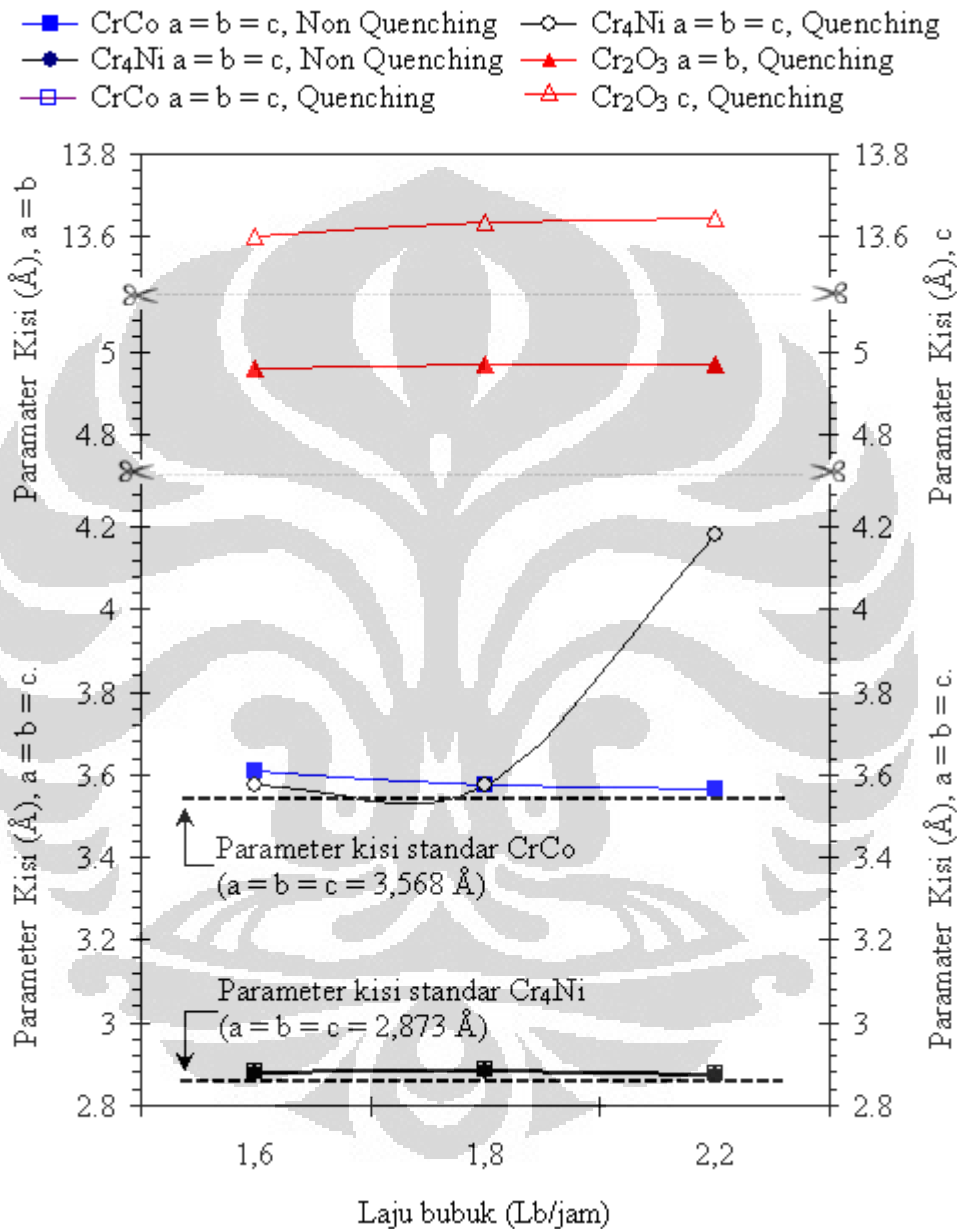
Gambar 4. 24: Kerapatan atom pada lapisan sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, 2,2 Lb/Jam, kuat arus 125 A sebelum dan sesudah quenching 1000°C.

Gambar 4. 25 adalah grafik hubungan antara volume unit cell terhadap laju bubuk, pengaruh kuat arus terhadap perubahan volume hampir tidak berubah, namun demikian untuk fasa CrCo setelah quenching menunjukkan perubahan yang sangat besar.



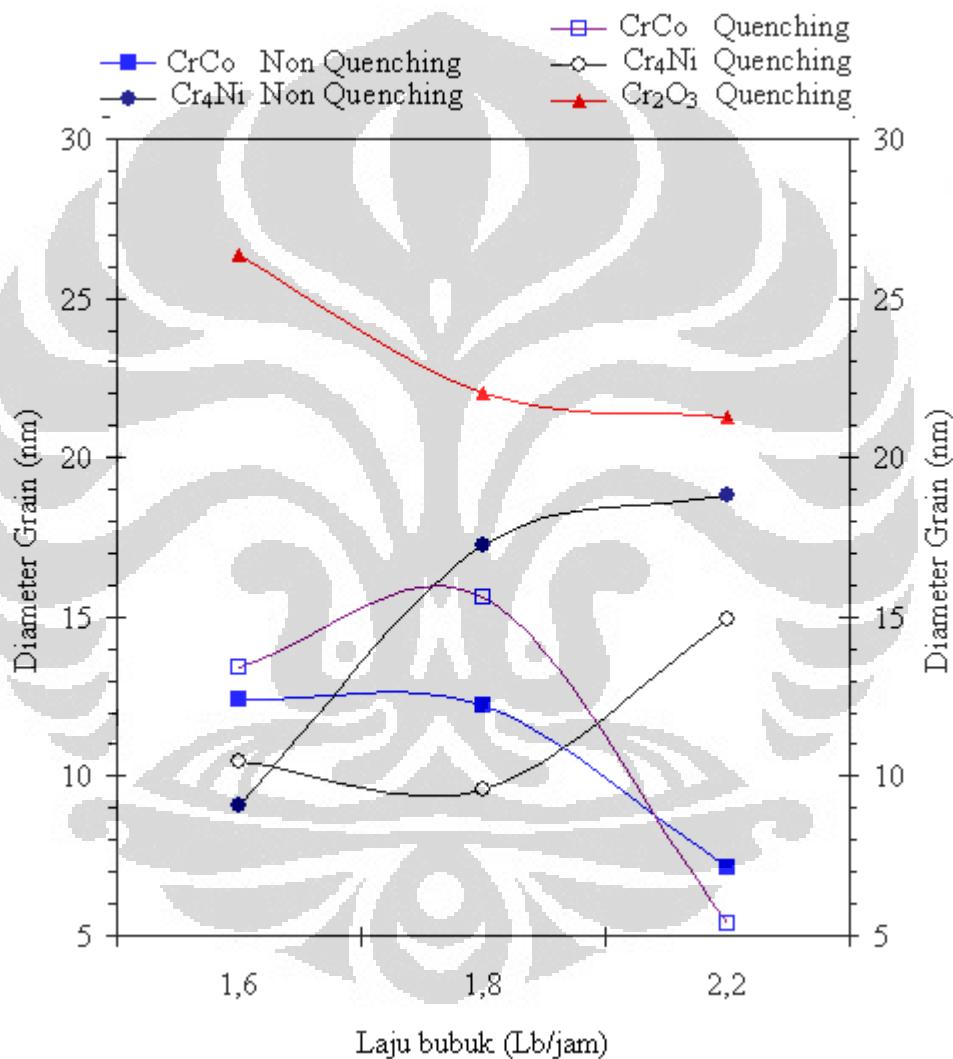
Gambar 4. 25: Volume unit cell pada lapisan sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, 2,2 Lb/Jam, kuat arus 125 A sebelum dan sesudah quenching 1000°C.

Gambar 4. 26 adalah grafik hubungan antara parameter kisi terhadap laju bubuk, dari grafik ini menunjukkan bahwa CrCo memiliki strain mengecil sedangkan Cr₄Ni membesar hal ini ditunjukkan oleh perbedaan parameter kisi standar CrCo dan Cr₄Ni. (Lihat lampiran 2)



Gambar 4. 26: Parameter kisi pada lapisan sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, 2,2 Lb/Jam, kuat arus 125 A sebelum dan sesudah quenching 1000°C.

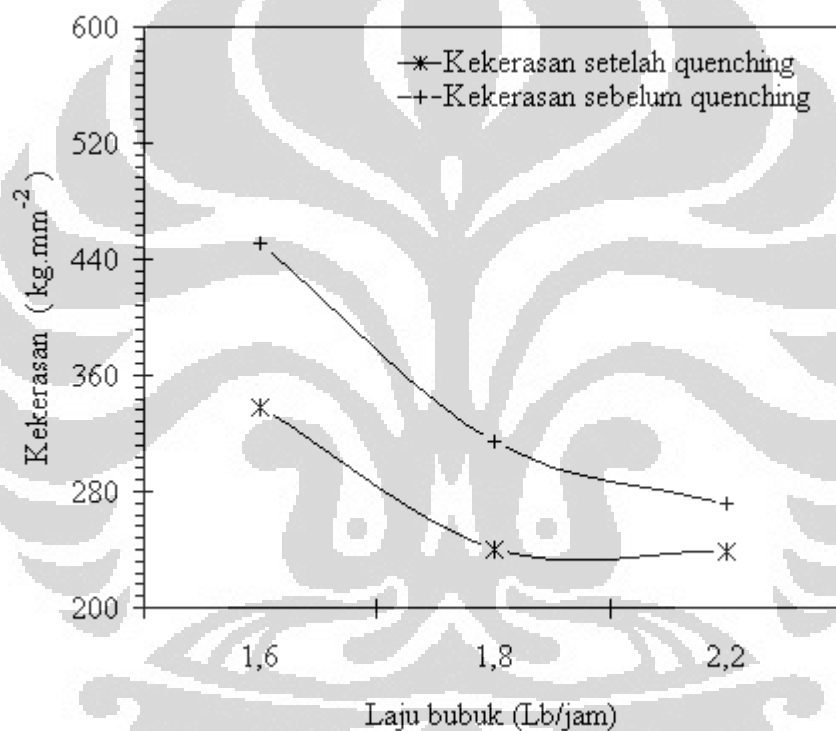
Gambar 4. 27 adalah grafik hubungan antara diameter grain terhadap laju bubuk, pada grafik ini menunjukkan hasil yang berbeda dibandingkan dengan sampel kategori A. Pengaruh Cr_4Ni oleh kuat arus tidak menunjukkan perubahan grain yang sama dibandingkan dengan perubahan grain yang terjadi pada sampel kategori A. Hal ini kemungkinan yang terjadi disebabkan oleh berbagai faktor, pertama fasa yang rumit, amorf, fasa lain yang tidak terdeteksi, dan yang kedua ketelitian XRD, Rietveld untuk fasa banyak (mungkin GSAS lebih baik).



Gambar 4. 27: Diameter grain pada lapisan sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, 2,2 Lb/Jam, kuat arus 125 A sebelum dan sesudah quenching 1000°C.

Gambar 4. 28 adalah grafik hubungan antara kekerasan terhadap laju bubuk, kekerasan sebelum quenching lebih tinggi dibandingkan dengan kekerasan sesudah quenching. Hal ini disebabkan oleh adanya pengembangan parameter kisi pada Cr_4Ni_3 .

Berdasarkan serangkaian karakterisasi tersebut sehingga secara mikroskopik dapat disimpulkan bahwa pada laju bubuk 1,6 Lb/Jam dengan arus 100 ampere merupakan komposisi yang paling optimum untuk mendapatkan harga kekerasan yang paling tinggi pada lapisan dengan menggunakan metode PTAW ini.



Gambar 4. 28: Kekerasan (HV) pada lapisan sampel dengan laju bubuk 1,6 Lb/Jam, 1,8 Lb/Jam, 2,2 Lb/Jam, kuat arus 125 A sebelum dan sesudah quenching 1000°C.

4.7.3. Persamaan Stoikiometri

Mengapa pada perhitungan fraksi massa Cr₄Ni bisa mencapai 24% mengingat kandungan Ni dari serbuk hanya 2,5%? Dalam hal ini dapat dijelaskan, Berdasarkan identifikasi menggunakan tabel Hanawalt menunjukkan bahwa sampel A dan sampel B diduga memiliki 2 fasa yaitu fasa Chromium Cobalt (CrCo) dengan komposisi 35% Chromium 65% cobalt, dan fasa Chromium Nickel (Cr₄Ni). Sedangkan baik sampel A maupun sampel B yang telah dilakukan quenching pada suhu 1000 °C diduga memiliki tiga fasa, yaitu fasa Chromium Cobalt (CrCo) dengan komposisi 35% Chromium 65% cobalt (lihat komposisi Cr dan Co pada Tabel 3.1), fasa Chromium Nickel (Cr₄Ni) dengan komposisi 80% Chromium 20% Nickel, dan fasa Chromium Oksida (Cr₂O₃). Sampel A Cr₄Ni = 18,98% (*Hasil refinement*) dan Sampel B Cr₄Ni = 18,84% (*Hasil refinement*).

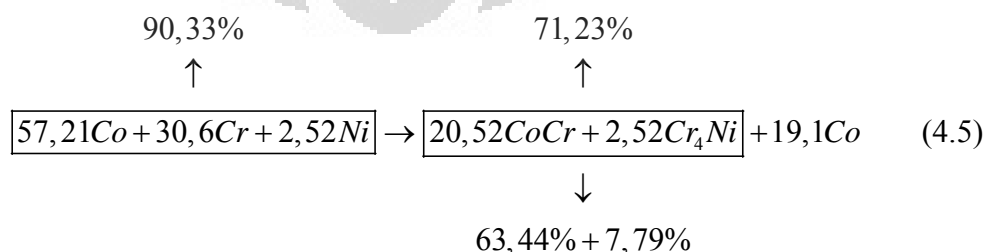
Berdasarkan hasil sertifikasi (*Lihat Lampiran 1*) dari bahan Stellite 6, kandungan Ni sebanyak 2,52% (*Lihat Tabel 3.1*). Persamaan stoikiometri ideal (*impurity negligible*) :



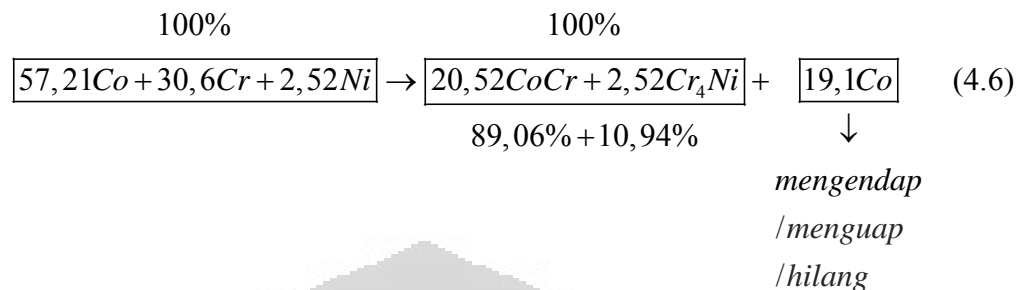
Empirisnya :



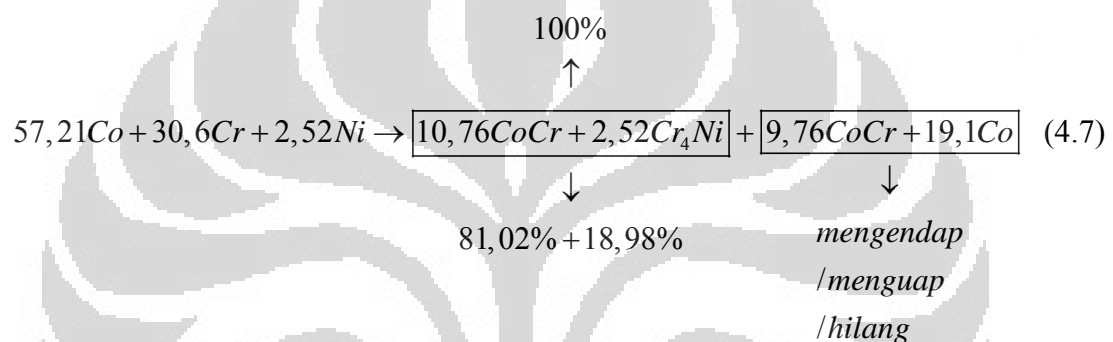
Persentasenya :



Persamaan stoikiometri not ideal (*impurity negligible*):



Persamaan stoikiometri hasil eksperimen (*impurity negligible*):



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

BAB

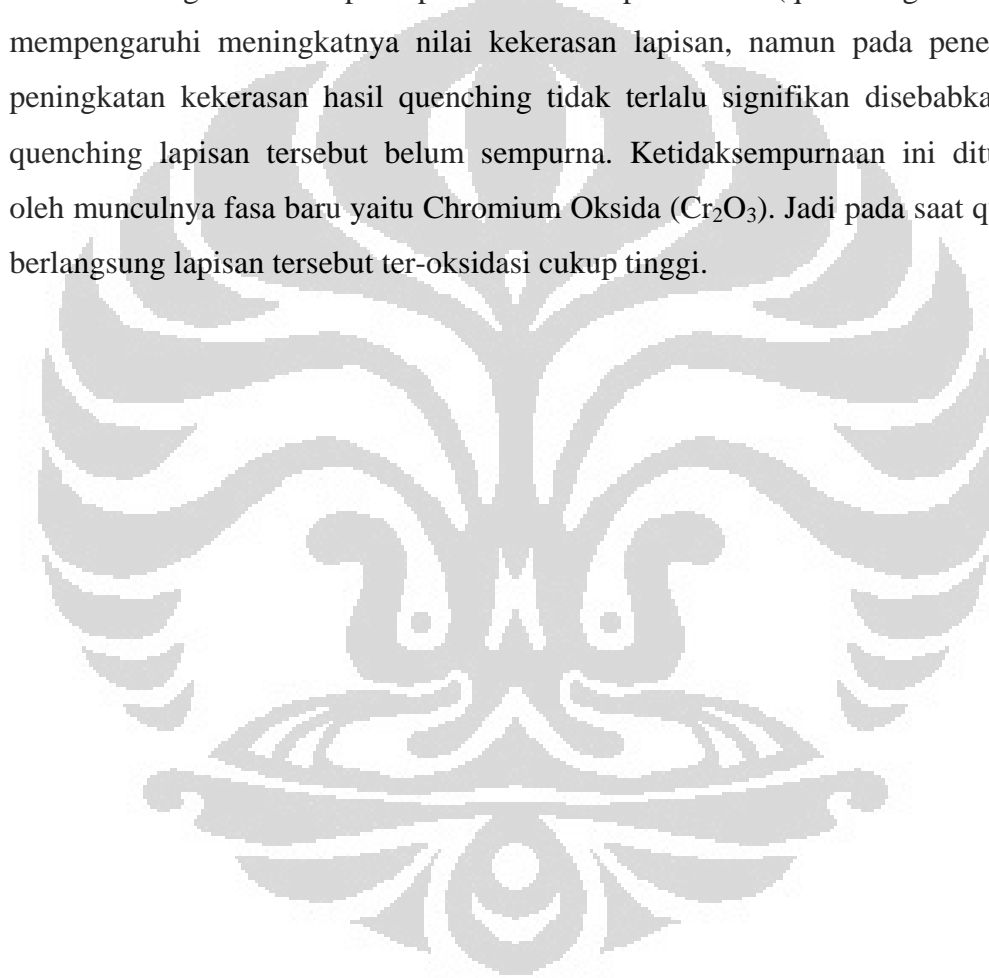
5. KESIMPULAN

Mengingat judul dari tesis ini dan mengacu pada tujuan penelitian, bahwa dalam proses mewujudkan tulisan dan melaksanakan analisis baik menggunakan alat maupun perhitungan dan refinement (RIETAN), maka sintesis dan karakterisasi lapisan dari bahan dasar STELLITE 6 POWDER dengan menggunakan Metode Plasma of Transferred Arc Welding (PTAW) telah berhasil dilakukan. Dari semuanya itu dapat ditarik kesimpulan, bahwa :

- 5.1. Kekerasan maksimum terjadi pada laju bubuk 1,6 Lb/jam, dan menurun terhadap laju bubuk. Kekerasan meningkat setelah perlakuan quenching. Hal ini dapat disarankan untuk kepentingan aplikasi dalam pembuatan paling bagus menggunakan arus 100 ampere dan laju bubuk 1,6 Lb/Jam.
- 5.2. Setelah quenching membuat kerapatan atom untuk seluruh rentang laju bubuk konstan baik untuk CrCo maupun Cr₄Ni. Hal ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam aplikasi bahwa setelah pemakaian akan terjadi perubahan sifat fisis dan dapat mempengaruhi sifat mekanik.
- 5.3. Hasil pengukuran dengan difraksi sinar-x (XRD) menunjukkan bahwa lapisan memiliki dua fasa, yaitu fasa Chromium Cobalt (CrCo) dengan struktur kristal cubic, dan parameter kisi $a = b = c = 3,57 \text{ \AA}$ dan fasa Chromium Nickel (Cr₄Ni) dengan struktur kristal cubic, dan parameter kisi $a = b = c = 2,87 \text{ \AA}$.
- 5.4. Setelah quenching muncul fasa baru Cr₂O₃ dengan fraksi massa yang relatif konstan. Setelah quenching CrCo makin berkurang, Cr₄Ni meningkat dan terjadi oksidasi Cr pada suhu 1000°C. Pengaruh kuat arus menyebabkan terbentuknya Cr₄Ni jauh lebih dominan daripada laju bubuk di atas 1,8 Lb/Jam.

Jadi dalam penelitian ini dapat ditarik kesimpulan akhir bahwa berdasarkan serangkaian karakterisasi tersebut sehingga secara mikroskopik pada laju bubuk 1,6 Lb/jam dan perlakuan kuat arus 100 ampere merupakan komposisi laju bubuk yang paling optimum dan energi yang paling baik untuk mendapatkan harga kekerasan yang paling tinggi pada lapisan dengan menggunakan metode Plasma of Transferred Arc Welding (PTAW) ini.

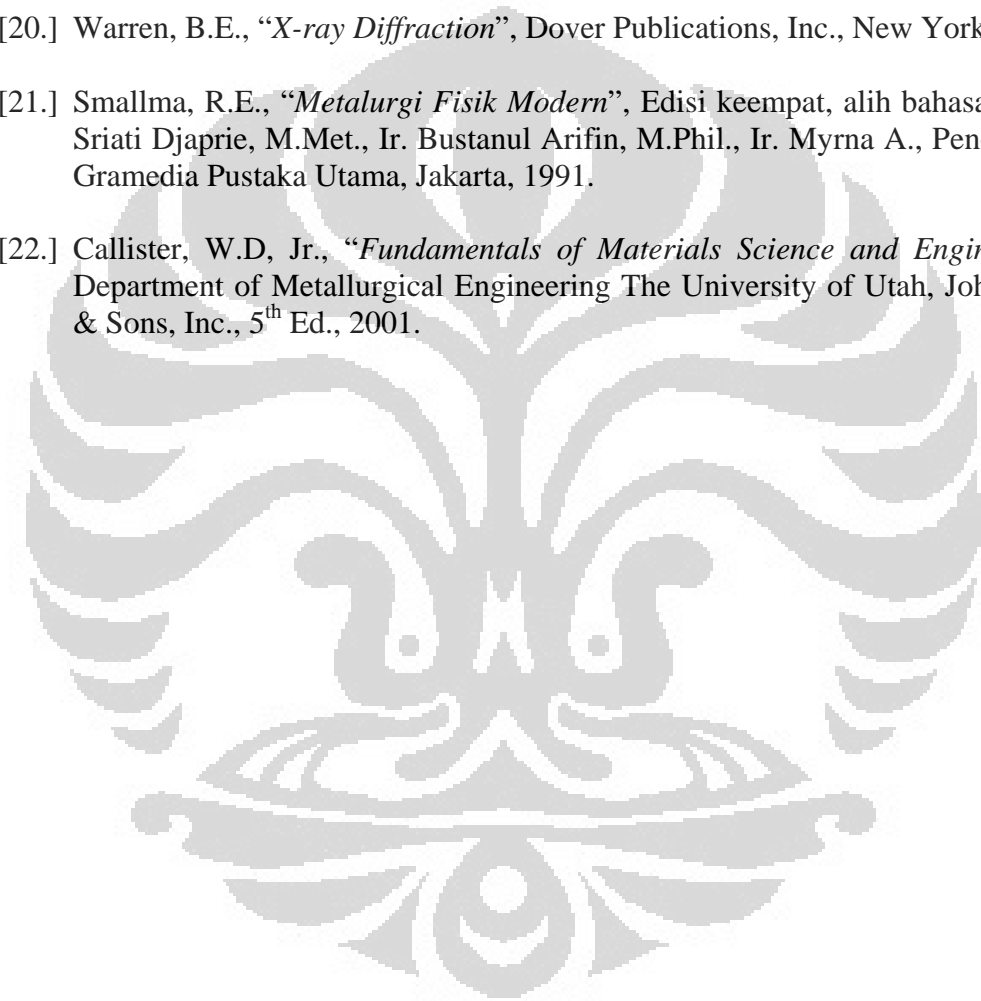
Sedangkan secara prinsip bahwa faktor pemanasan (quenching factor) sangat mempengaruhi meningkatnya nilai kekerasan lapisan, namun pada penelitian ini peningkatan kekerasan hasil quenching tidak terlalu signifikan disebabkan proses quenching lapisan tersebut belum sempurna. Ketidaktersempurnaan ini ditunjukkan oleh munculnya fasa baru yaitu Chromium Oksida (Cr_2O_3). Jadi pada saat quenching berlangsung lapisan tersebut ter-oksidasi cukup tinggi.



DAFTAR PUSTAKA

- [1.] Bragg, W. H. and Bragg, W. L. , “*X-rays and crystal structure*” (4th Edition., revised and enlarged), G. Bell, London, 1924.
- [2.] Cullity, B. D., “*Elements of X-Ray Diffraction*”, 1978, Addison-Wesley, Reading Mass, QC 482.D5 C84, hal. 397, 1978.
- [3.] H.M. Rietveld, *J. Appl. Chryst.* 2, 65, 1969.
- [4.] H.M. Rietveld, *J. Appl. Chryst.* 22, 65 1969.
- [5.] F. Izumi, *rigaku J.* 6, 1 , 1989.
- [6.] David M. Himmelblau, “*Applied Nonlinier Progamming*” , Mc Graw – Hill Book Co., p. 299, New York, 1972.
- [7.] W.I. Zangwill, *Management Sci.* 13, 344, 1967.
- [8.] Fujio IZUMI, “*A Rietveld-Refinement Program RIETAN-94 for Angle-Dispersive X-Ray and Neutron Powder Diffraction*”, *National Institute for Research in Inorganic Materials 1-1 Namiki, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan, Revised on June 22, 1996.*
- [9.] __, “*Operating Manual for X-ray Diffractometer PW1710 Philip*”, Philip Electronic Instruments, Co. Ltd., New Jersey, 1976.
- [10.] Norman, F.M. Henry, Lonsdale, K., “*International Table for X-Ray Crystallography, Vol. 1, Simetri Group, The Kynoch Press, Birmingham, England, p. 545-553, 1969.*
- [11.] Kittel, C, “*Introduction to Solid State Physics*”, 5th Ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 1976.
- [12.] Palmer, D., “*Crystal-Maker 2, Interactive Crystallography for Windows OS*”, Cambridge University Technical Service, Ltd., England, 1994.
- [13.] F. Izumi, et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* 26, L1193, 1987.
- [14.] F. Izumi, et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* 26, L1214, 1987.
- [15.] R. Fletcher, “*A Modified Marquardt Subroutine for Non Linier Least Squares*”, Aere-R6799, Aere Harwell, 1971.
- [16.] German, R.M., “*Powder Metalurgy Science*”, 2nd, Metal Powder Industries Fedaration, New Jersey, p. 272-276, 1994.

- [17.] David Bandon and Wayne D. Kaplan, “*Microstructural Characterization of Materials*”, John Wiley & Sons, hal. 315-345, 1999.
- [18.] V. Mazurovsky, M. Zinigrad, L. Leontiev and V. Lisin. “*Base Principles of The Modern Welding Materials Development*”, Journal of RAS, “Nauka Rossii”, No.1/2004. Moscow. Russia, hal. 63 – 84, 2004.
- [19.] Wave Metrics Inc, “*Igor Pro Manual*”, Printed in the United States of America, Revision February, 1998.
- [20.] Warren, B.E., “*X-ray Diffraction*”, Dover Publications, Inc., New York, 1990.
- [21.] Smallma, R.E., “*Metalurgi Fisik Modern*”, Edisi keempat, alih bahasa oleh Ir. Sriati Djaprie, M.Met., Ir. Bustanul Arifin, M.Phil., Ir. Myrna A., Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1991.
- [22.] Callister, W.D, Jr., “*Fundamentals of Materials Science and Engineering*”, Department of Metallurgical Engineering The University of Utah, John Wiley & Sons, Inc., 5th Ed., 2001.



Lampiran 2: Referensi CrCo, Cr₄Ni, dan Cr₂O₃

Lampiran 2. Tabel 1: Referensi Fasa Chromium Cobalt (CrCo) :

CoCr	<i>Structure Type</i>	<i>Pearson Symbol</i>	<i>Space Group</i>	<i>No.</i>
a = 0.35688	Cu	cF4	Fm $\bar{3}m$	225
<i>M</i>	4a	m $\bar{3}m$	x = 0	y = 0
			z = 0	occ. = 1

Diffraction data: Powder, diffractometer, T = 793 K

Preparation: Starting component is Co (99.92%)

Comments: Structure refined at 793 K

T-, p- or concen dependence: a = 0.35784 nm at 992 K, a = 0.35956 nm at 1355 K, a = 0.36023 nm at 1433 K, a = 0.36214 nm at 1671 K, non linier dependence

Refereance: R. Kohlhaas, P. Dünner and N. Schmitz-Pranghe, "Über die Temperaturabhängigkeit der Gitterparameter von Eisen, Kobalt und Nickel im Bereich hoher Temperaturen." ZEITSCHRIFT FUER ANGEWANDTE PHYSIK, 23 (4), 245-249 (1967)

Lampiran 2. Tabel 2: Referensi Fasa Chromium Nickel (Cr₄Ni) :

Cr₄Ni	<i>Structure Type</i>	<i>Pearson Symbol</i>	<i>Space Group</i>	<i>No.</i>
a = 0.2873	W	cI2	Im $\bar{3}m$	229
<i>M</i>	2a	m $\bar{3}m$	x = 0	y = 0
			z = 0	occ. = 1

Diffraction data: Powder, Debye-Scherrer, Cu,Mn,Cr

Preparation: Induction melted under argon; annealed under vacuum at 1473 K; quenched

Comments: M = Cr, Ni; unit cell dimension taken from figure

T-, p- or concen dependence: Cr_xNi_{1-x} x = 0.8-1 at 1473 K, a = 0.2873-0.2894 nm, non linier dependence, (information taken from figure)

Refereance: A. Taylor and R.W. Floyd, "THE CONSTITUTION OF NICKEL RICH ALLOYS OF THE NICKEL CHOMIUM-TITANIUM SYSTEM" JOURNAL OF THE INSTITUTE OF METALS, LONDON, 80, 577-587 (1952).

Lampiran 2. Tabel 3: Referensi Fasa Chromium Oksida (Cr₂O₃) :

84-1616	Quality: C	Cr ₂ O ₃	
CAS Number:		Chromium Oxide	
Molecular Weight: 151.99		Ref: Calculated from ICSD using POWD-12++. (1997)	
Volume[CD]: 288.75		Ref: Battle, P.D et al., J. Solid State Chem., 75, 21 (1988)	
Dx: 5.244	Dm:		
S.G.: R $\bar{3}c$ (167)			
Cell Parameters:			
a 4.951 b c 13.59			
α	β	γ	
I/Icor: 2.50			
Rad: CuK α 1			
Lambda: 1.54060			
Filter:			
d-sp: calculated			
ICSD #: 202619			

Lampiran 3: Data EDX Batas Butir

SEMQuant results. Listed at 11:10:45 on 22/03/06

Operator : jaya

Client : Department of Metallurgy and Materials University of Indonesia

Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis

Spectrum label: Sample B1 - batas butir

System resolution = 60 eV

Quantitative method : ZAF (2 iterations).

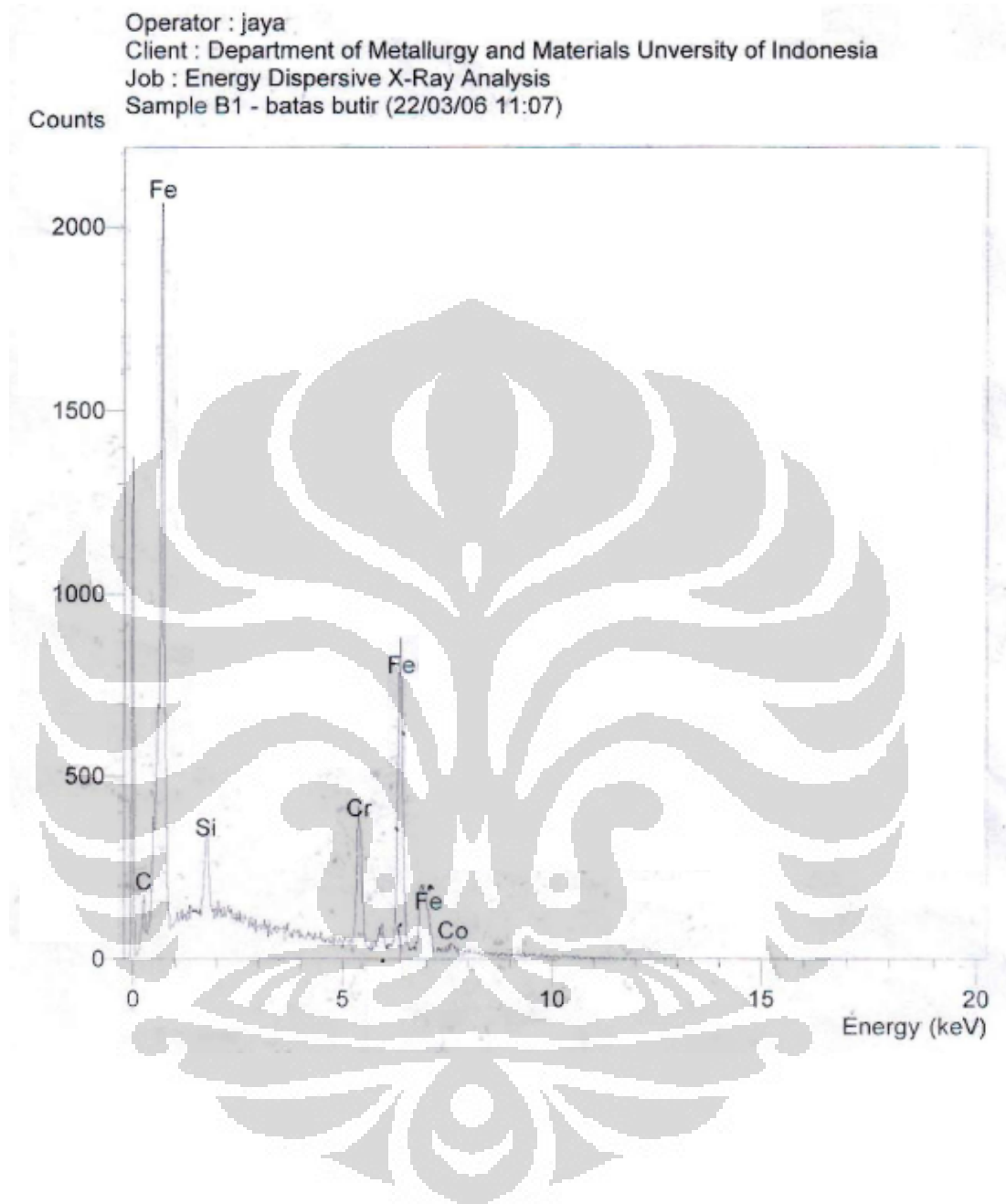
Analysed all elements and normalised results.

Standards :

C	K	S45C 08/03/06
Si	K	S45C 08/03/06
Cr	K	SS 316 21/10/05
Fe	K	S45C 08/03/06
Co	K	Cobalt 30/03/05

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	0.41	1.86
Si K	ED	1.00	1.95
Cr K	ED	9.75	10.24
Fe K	ED	71.90	70.27
Co K	ED	16.93	15.68
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Lampiran 4 : Grafik EDX Batas Butir

Lampiran 5: Data EDX Butir

SEMQuant results. Listed at 11:12:22 on 22/03/06

Operator : jaya

Client : Department of Metallurgy and Materials University of Indonesia

Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis

Spectrum label: Sample B1 - butir

System resolution = 60 eV

Quantitative method : ZAF (2 iterations).

Analysed all elements and normalised results.

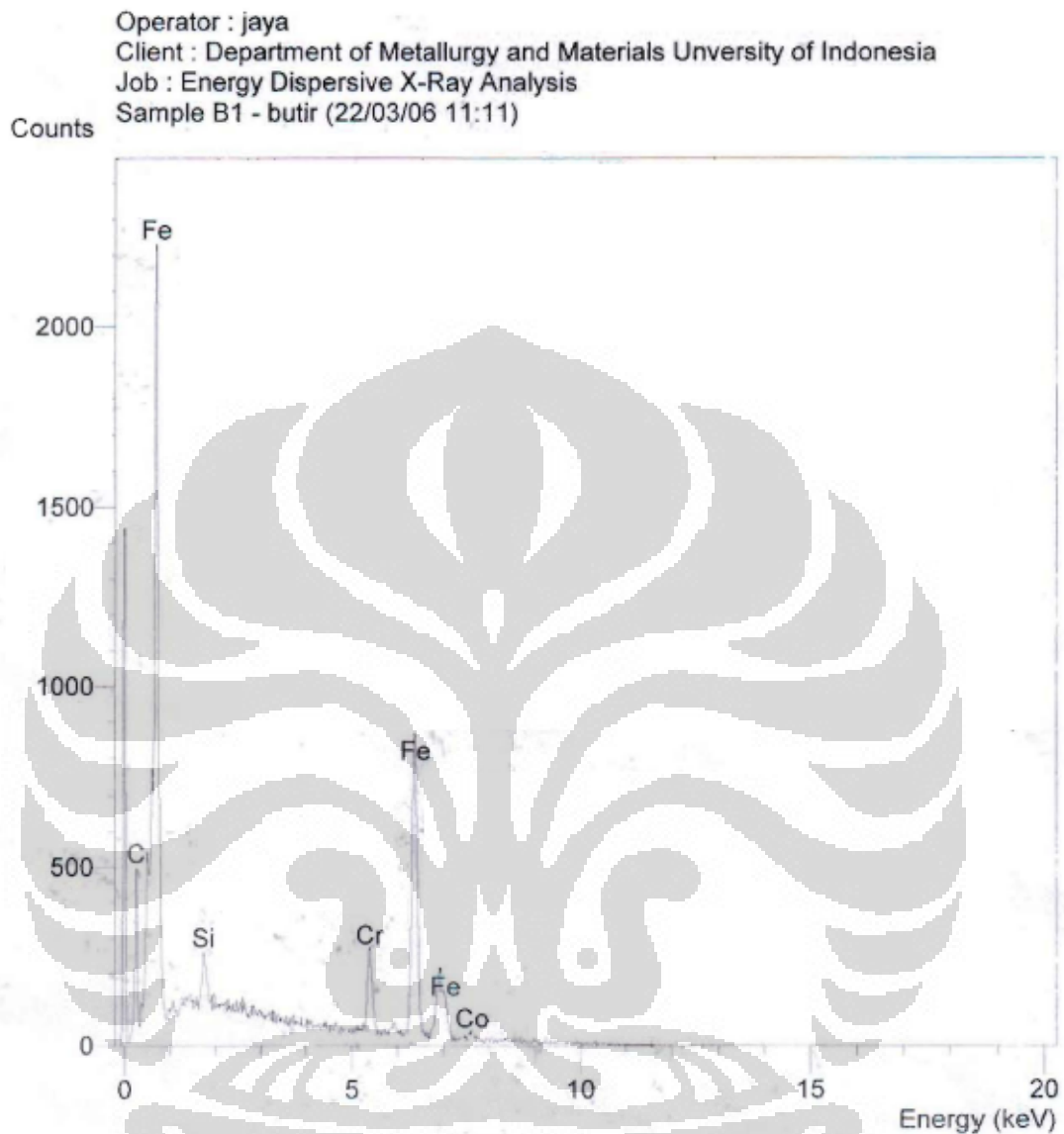
Standards :

C	K	S45C 08/03/06
Si	K	S45C 08/03/06
Cr	K	SS 316 21/10/05
Fe	K	S45C 08/03/06
Co	K	Cobalt 30/03/05

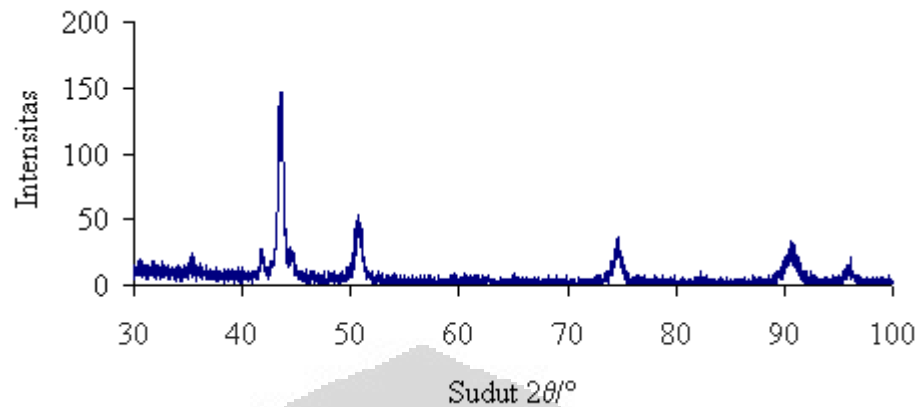
Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	1.07	4.78
Si K	ED	0.61	1.17
Cr K	ED	6.15	6.34
Fe K	ED	76.15	73.13
Co K	ED	16.02	14.58
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

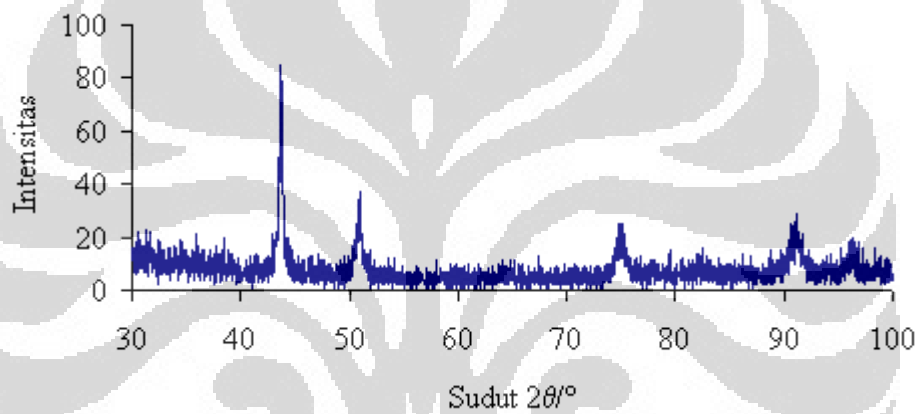
Lampiran 6: Grafik EDX Butir



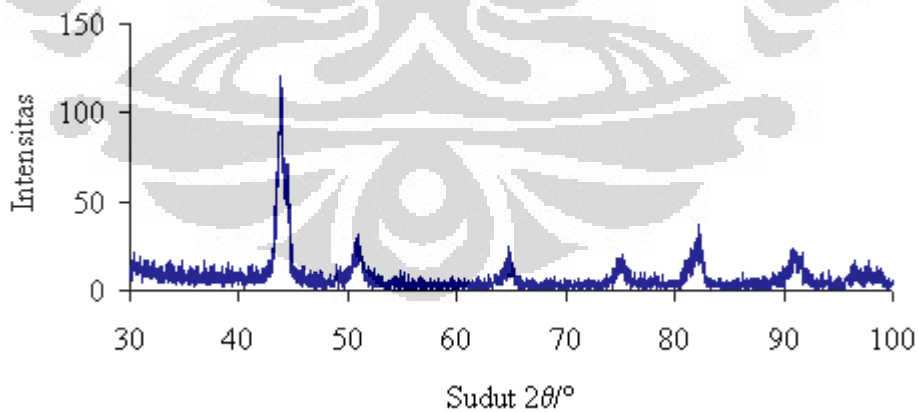
Lampiran 7: Grafik pengukuran dengan XRD



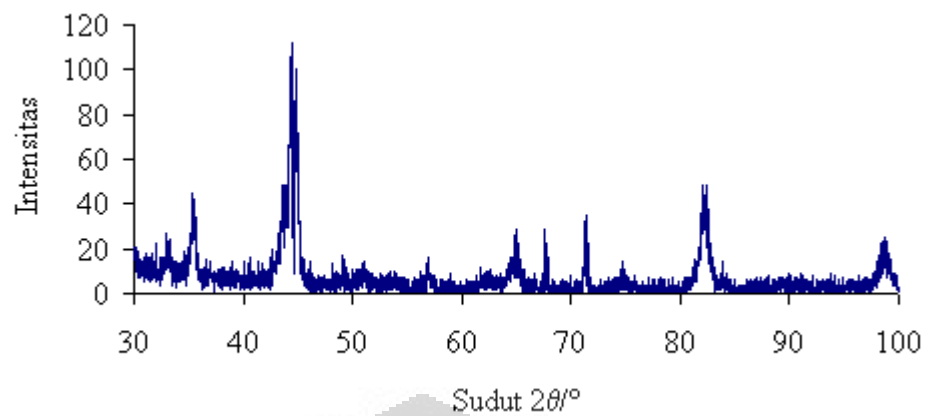
Lampiran 7. Gambar 1: Sampel A1 1,6 lb/jam, 100 ampere.



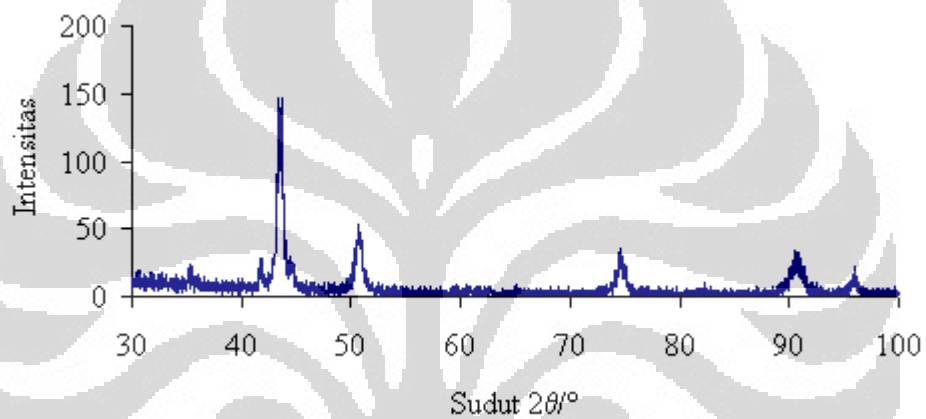
Lampiran 7. Gambar 2: Sampel A2 1,8 lb/jam, 100 ampere.



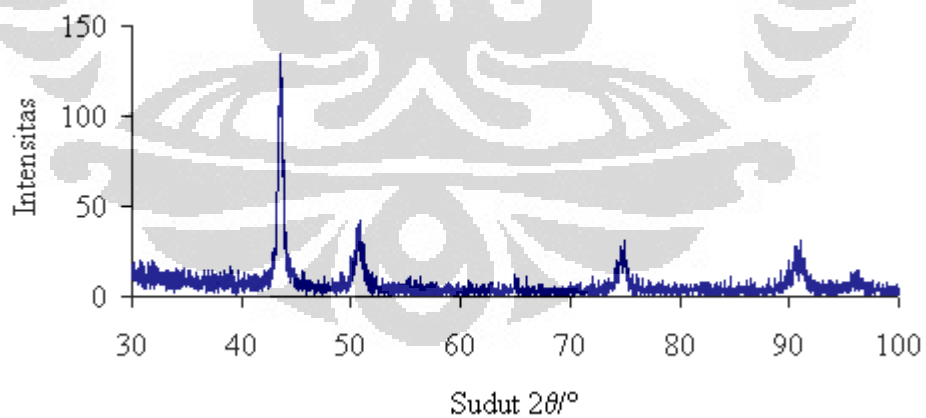
Lampiran 7. Gambar 3: Sampel A3 2,2 lb/jam, 100 ampere.



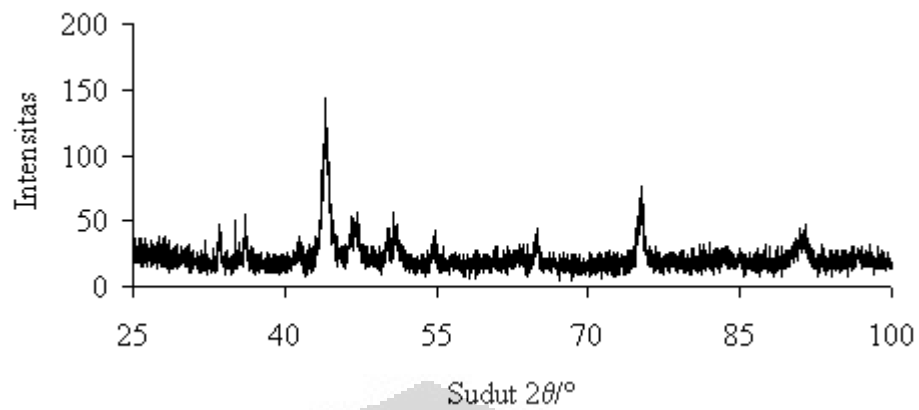
Lampiran 7. Gambar 4: Sampel B1 1,6 lb/jam, 125 ampere.



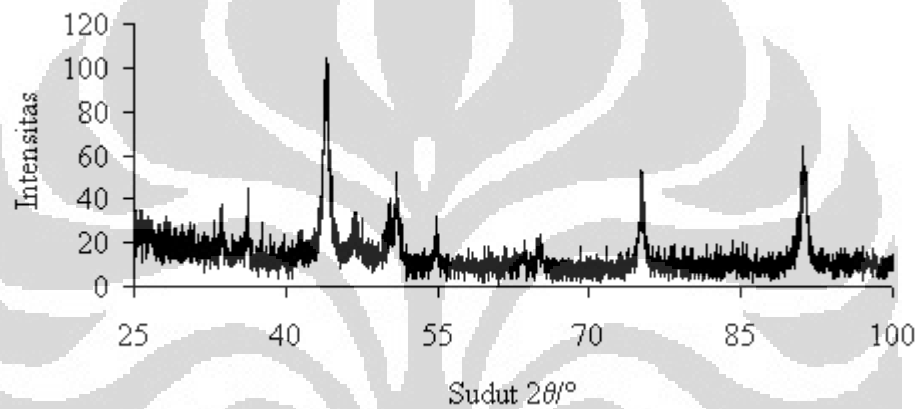
Lampiran 7. Gambar 5: Sampel B2 1,8 lb/jam, 125 ampere.



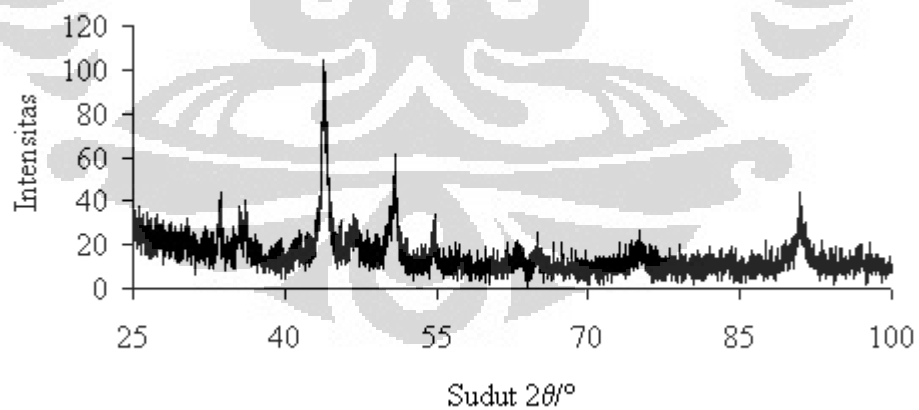
Lampiran 7. Gambar 6: Sampel B3 2,2 lb/jam, 125 ampere.



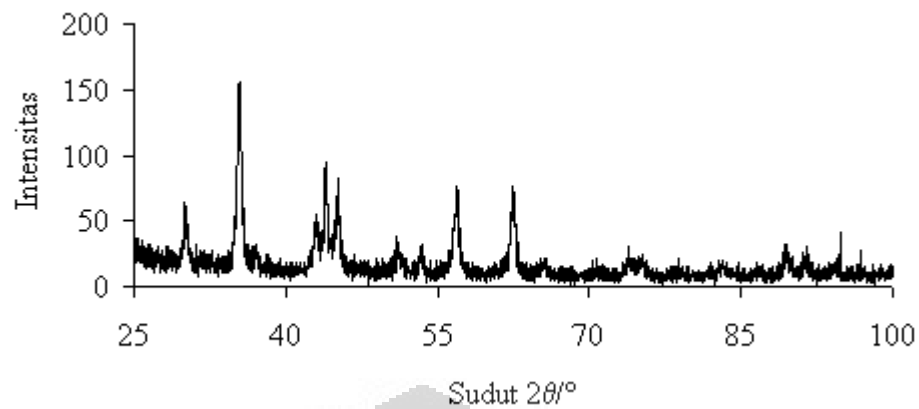
Lampiran 7. Gambar 7: Sampel A1 1,6 lb/jam, 100 ampere, Quenching 1000°C.



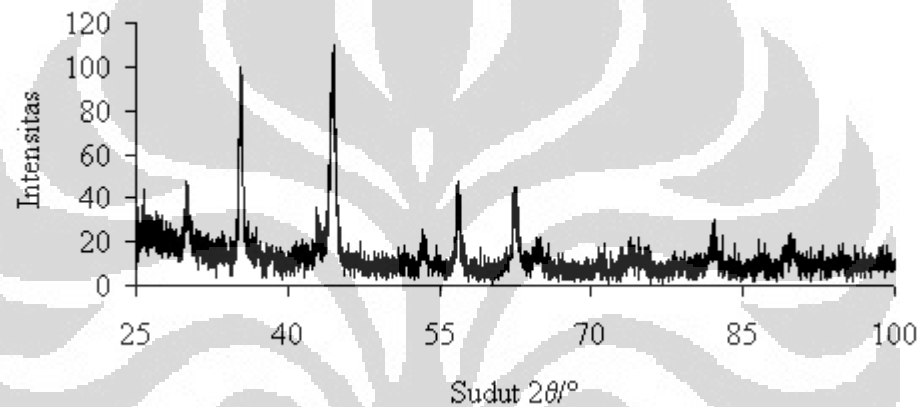
Lampiran 7. Gambar 8: Sampel A2 1,8 lb/jam, 100 ampere, Quenching 1000°C.



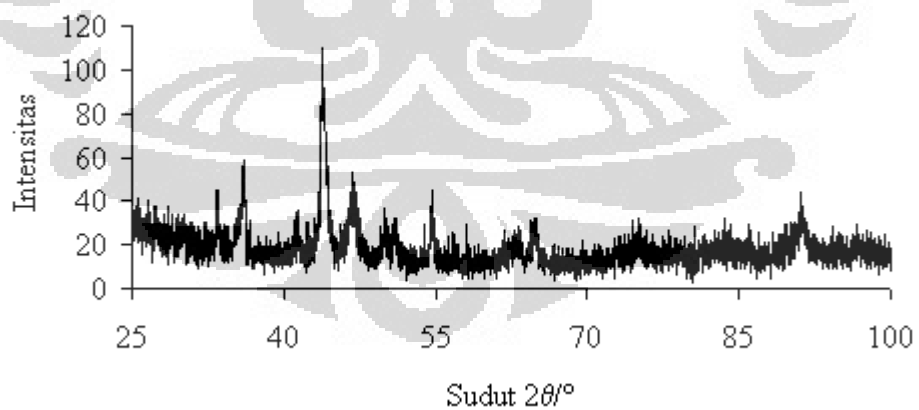
Lampiran 7. Gambar 9: Sampel A3 2,2 lb/jam, 100 ampere, Quenching 1000°C.



Lampiran 7. Gambar 10: Sampel B1 1,6 lb/jam, 125 ampere, Quenching 1000°C.

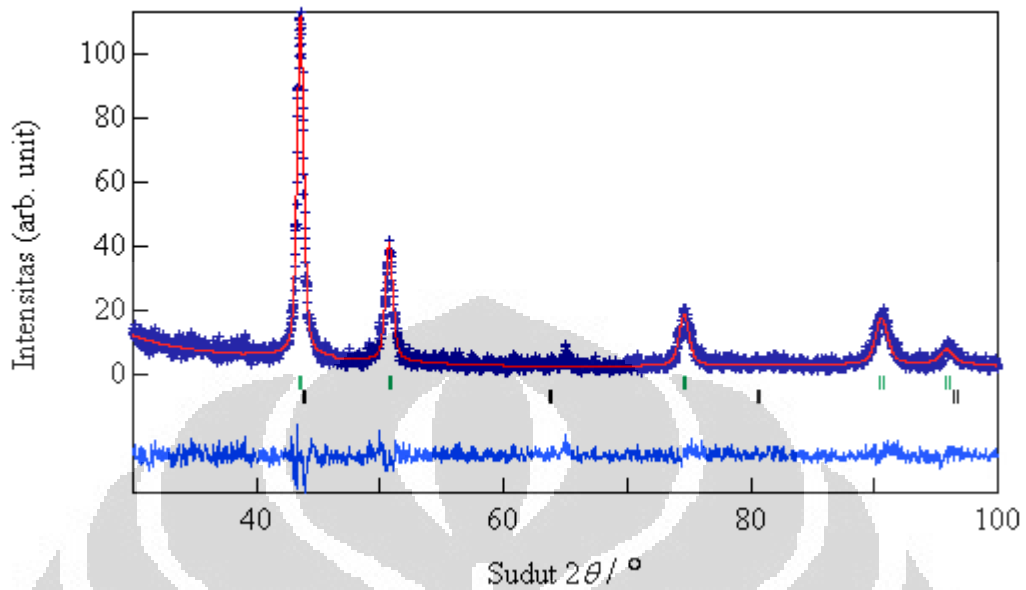


Lampiran 7. Gambar 11: Sampel B2 1,8 lb/jam, 125 ampere, Quenching 1000°C.

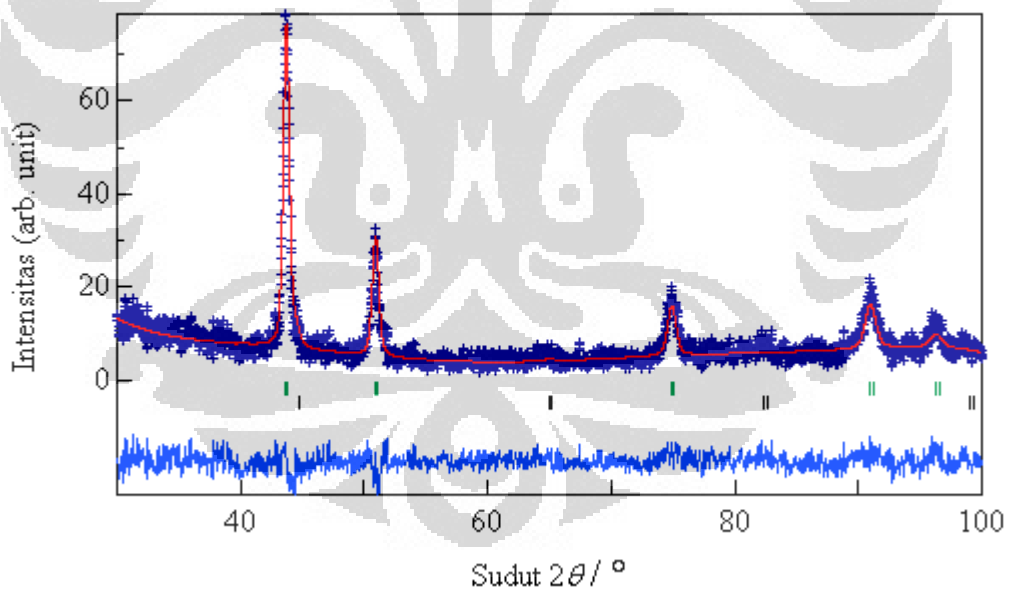


Lampiran 7. Gambar 12: Sampel B3 2,2 lb/jam, 125 ampere, Quenching 1000°C.

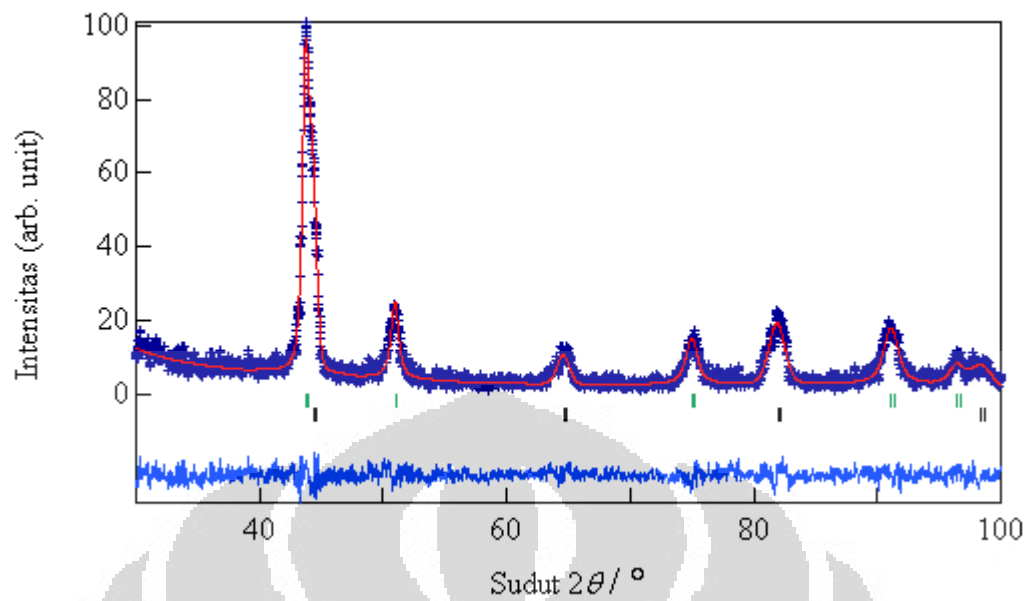
Lampiran 8: Grafik Hasil Refinement Sampel



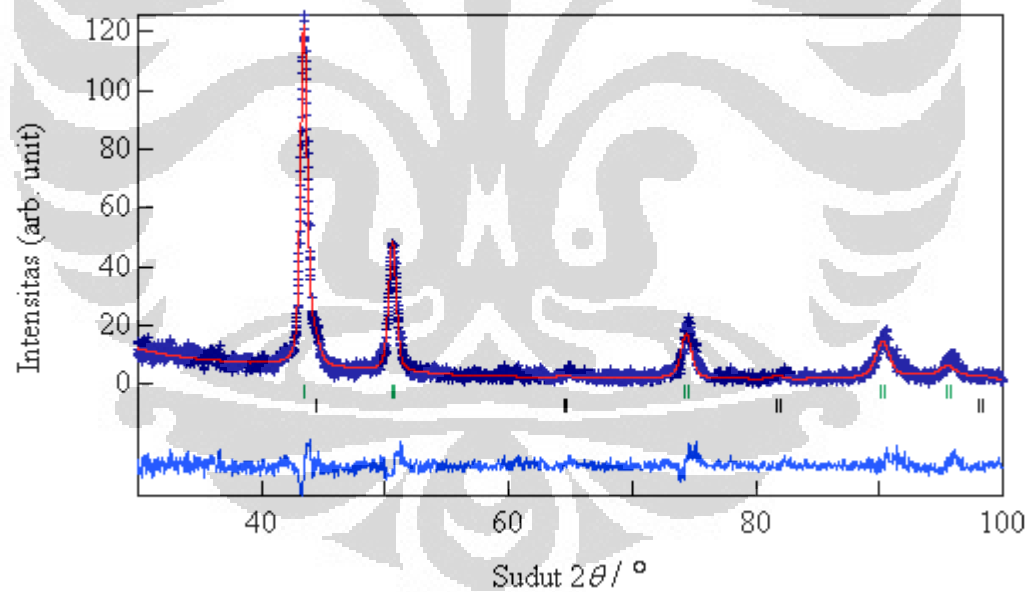
Lampiran 8. Gambar 1: Hasil refinement pola difraksi sinar-x sampel dengan laju bubuk 1,6 lb/jam dan kuat arus 100 ampere.



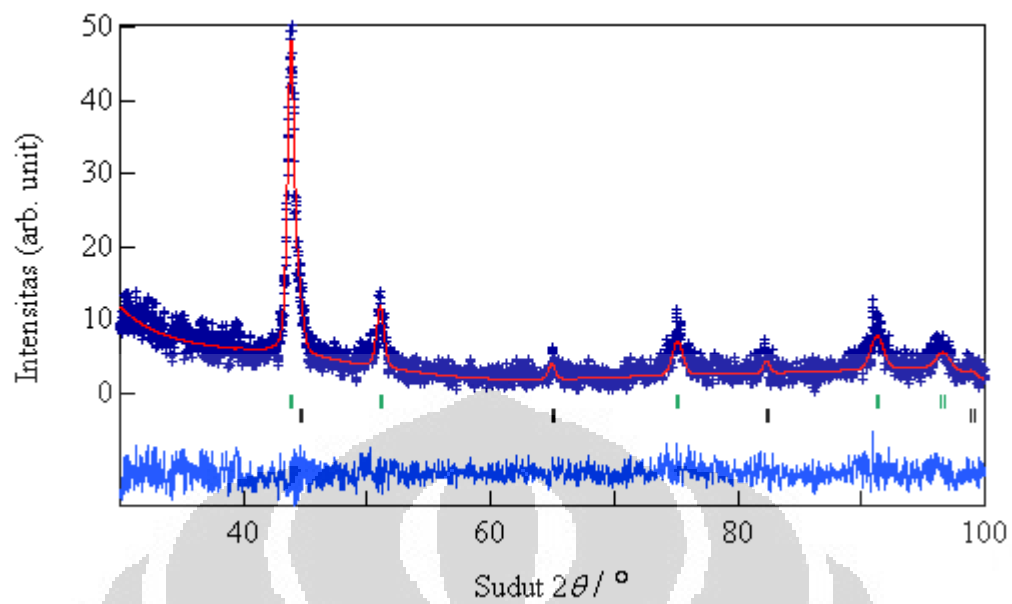
Lampiran 8. Gambar 2: Hasil refinement pola difraksi sinar-x sampel dengan laju bubuk 1,8 lb/jam dan kuat arus 100 ampere.



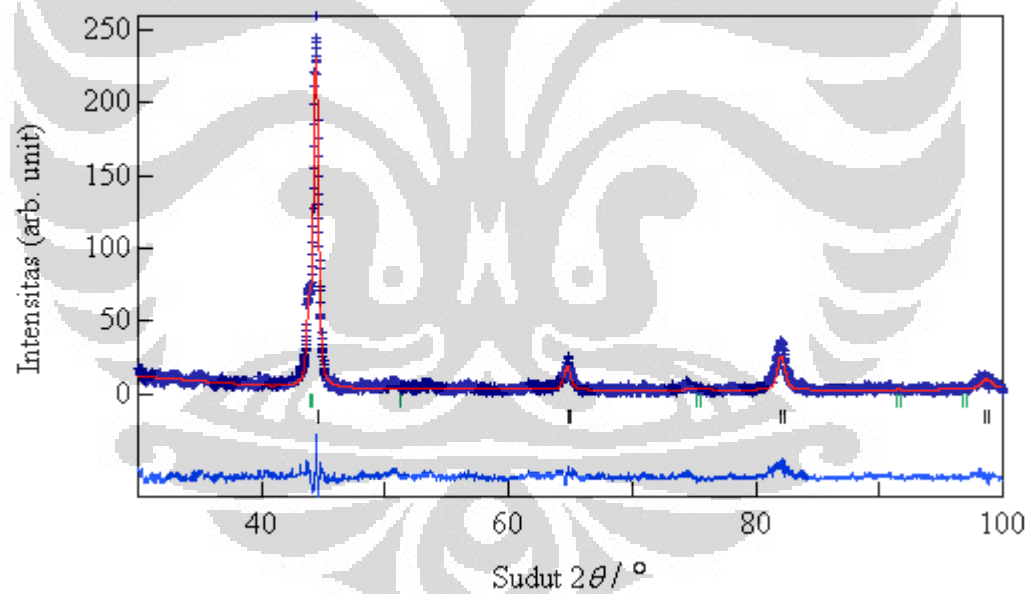
Lampiran 8. Gambar 3: Hasil Hasil refinement pola difraksi sinar-x sampel dengan laju bubuk 2,2 lb/jam dan kuat arus 100 ampere.



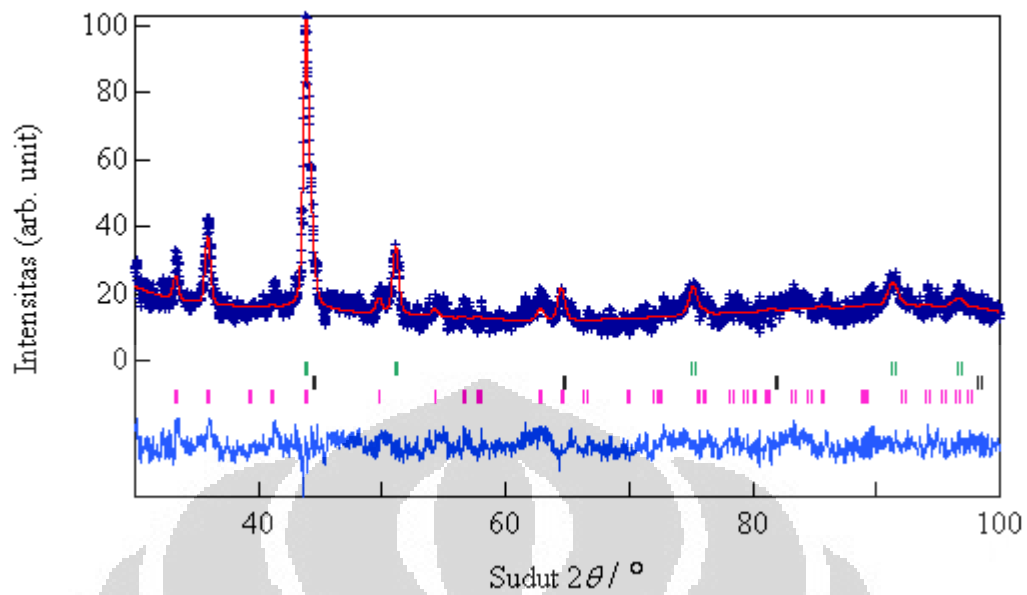
Lampiran 8. Gambar 4: Hasil refinement pola difraksi sinar-x sampel dengan laju bubuk 1,6 lb/jam dan kuat arus 125 ampere.



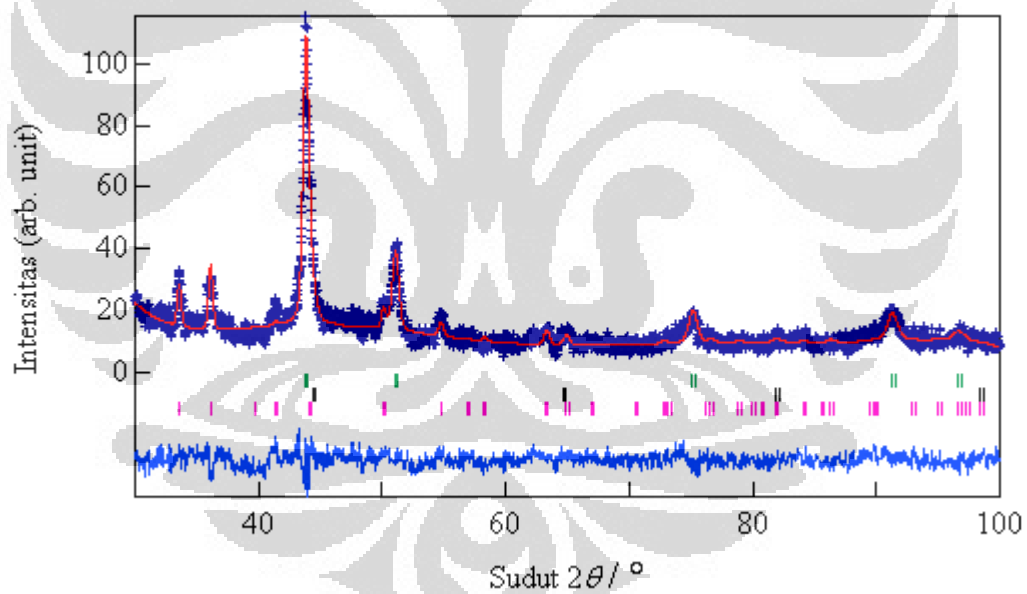
Lampiran 8. Gambar 5: Hasil refinement pola difraksi sinar-x sampel dengan laju bubuk 1,8 lb/jam dan kuat arus 125 ampere.



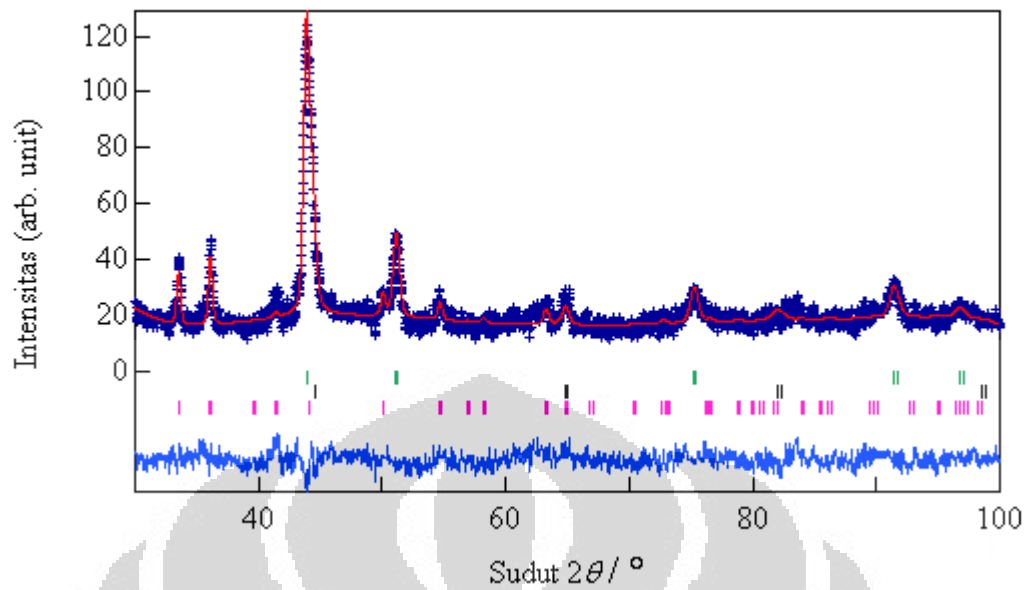
Lampiran 8. Gambar 6: Hasil refinement pola difraksi sinar-x sampel dengan laju bubuk 2,2 lb/jam dan kuat arus 125 ampere.



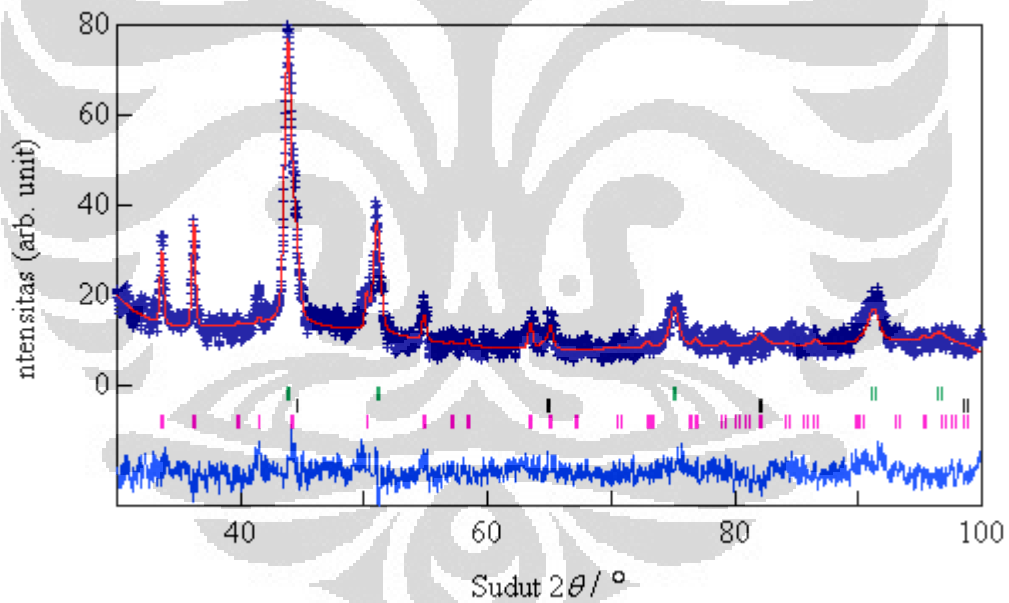
Lampiran 8. Gambar 7: Hasil refinement pola difraksi sinar-x sampel dengan laju bubuk 1,6 lb/jam dan kuat arus 100 ampere, quench pada 1000 °C.



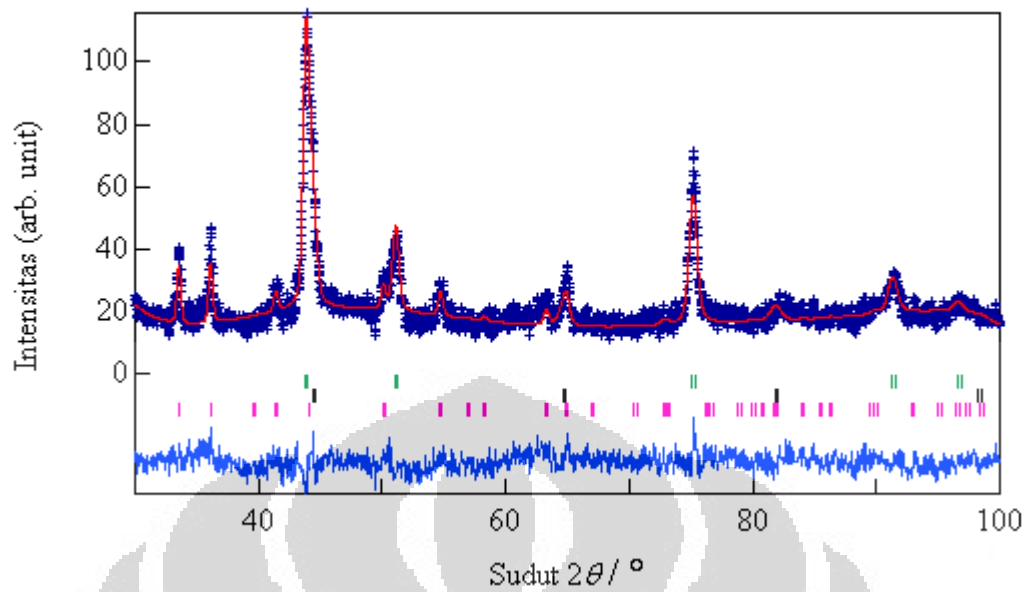
Lampiran 8. Gambar 8: Hasil refinement pola difraksi sinar-x sampel dengan laju bubuk 1,8 lb/jam dan kuat arus 100 ampere, quench pada 1000 °C.



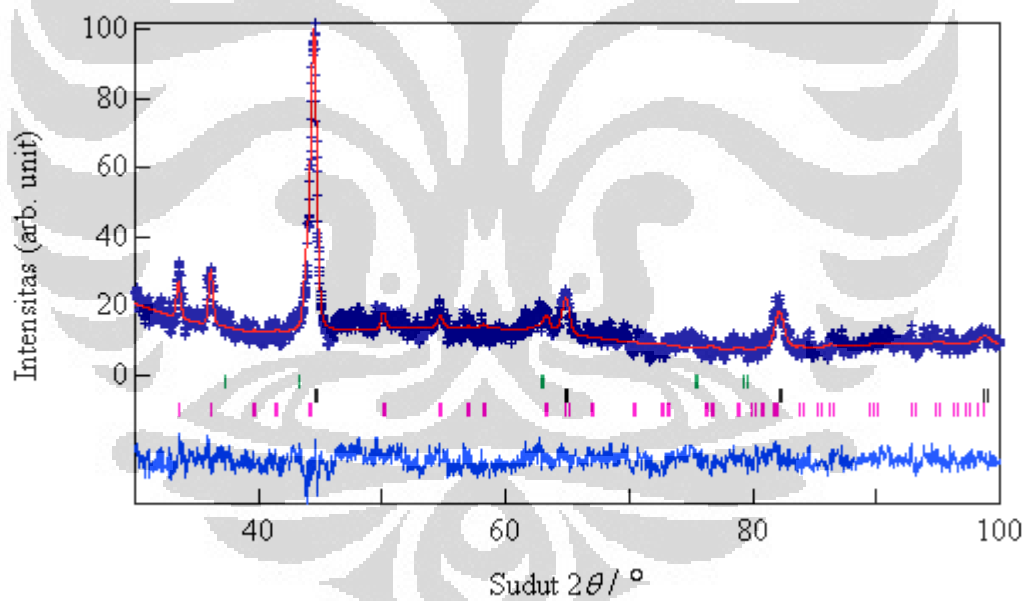
Lampiran 8. Gambar 9: Hasil refinement pola difraksi sinar-x sampel dengan laju bubuk 2,2 lb/jam dan kuat arus 100 ampere, quench pada 1000 °C.



Lampiran 8. Gambar 10: Hasil Hasil refinement pola difraksi sinar-x sampel dengan laju bubuk 1,6 lb/jam dan kuat arus 125 ampere, quench pada 1000 °C.



Lampiran 8. Gambar 11: Hasil Hasil refinement pola difraksi sinar-x sampel dengan laju bubuk 1,8 lb/jam dan kuat arus 125 ampere, quench pada 1000 °C.



Lampiran 8. Gambar 12: Hasil Hasil refinement pola difraksi sinar-x sampel dengan laju bubuk 2,2 lb/jam dan kuat arus 125 ampere, quench pada 1000 °C.

Lampiran 9: Tabel Data Posisi Atom

Lampiran 9. Tabel 1: Posisi atom, nilai faktor R, dan Chi square S sampel A1.

Unsur	Faktor Hunian	Posisi atom			Faktor R (%) dan chi square (S)
		x	y	z	
Rwp = 22,72 Rp = 16,64 S = 0,60					
Chromium Cobalt (CrCo) space group Fm3m (225)					
Co	0,65	0,00	0,00	0,00	RI = 7,15 RF = 4,35
Cr	0,35	0,00	0,00	0,00	
Chromium Nickel (Cr ₄ Ni) space group Im3m (229)					
Cr	0,8	0,00	0,00	0,00	RI = 79,91 RF = 48,50
Ni	0,2	0,00	0,00	0,00	

Lampiran 9. Tabel 2: Posisi atom, nilai faktor R, dan Chi square S sampel A2.

Unsur	Faktor Hunian	Posisi atom			Faktor R (%) dan chi square (S)
		x	y	z	
Rwp = 20,81 Rp = 15,79 S = 0,5816					
Chromium Cobalt (CrCo) space group Fm3m (225)					
Co	0,65	0,00	0,00	0,00	RI = 11,72 RF = 6,41
Cr	0,35	0,00	0,00	0,00	
Chromium Nickel (Cr ₄ Ni) space group Im3m (229)					
Cr	0,8	0,00	0,00	0,00	RI = 44,70 RF = 28,39
Ni	0,2	0,00	0,00	0,00	

Lampiran 9. Tabel 3: Posisi atom, nilai faktor R, dan Chi square S sampel A3.

Unsur	Faktor Hunian	Posisi atom			Faktor R (%) dan chi square (S)
		x	y	z	
Rwp = 20,80 Rp = 15,07 S = 0,5763					
Chromium Cobalt (CrCo) space group Fm3m (225)					
Co	0,65	0,00	0,00	0,00	RI = 6,70 RF = 3,90
Cr	0,35	0,00	0,00	0,00	
Chromium Nickel (Cr ₄ Ni) space group Im3m (229)					
Cr	0,8	0,00	0,00	0,00	RI = 9,72 RF = 6,32
Ni	0,2	0,00	0,00	0,00	

Lampiran 9. Tabel 4: Posisi atom, nilai faktor R, dan Chi square S sampel B1.

Unsur	Faktor Hunian	Posisi atom			Faktor R (%) dan chi square (S)
		x	y	z	
Rwp = 24,90 Rp = 17,50 S = 0,6499					
Chromium Cobalt (CrCo) space group Fm3m (225)					
Co	0,65	0,00	0,00	0,00	RI = 8,21
Cr	0,35	0,00	0,00	0,00	RF = 5,43
Chromium Nickel (Cr ₄ Ni) space group Im3m (229)					
Cr	0,8	0,00	0,00	0,00	RI = 22,60
Ni	0,2	0,00	0,00	0,00	RF = 19,37

Lampiran 9. Tabel 5: Posisi atom, nilai faktor R, dan Chi square S sampel B2.

Unsur	Faktor Hunian	Posisi atom			Faktor R (%) dan chi square (S)
		x	y	z	
Rwp = 25,43 Rp = 18,74 S = 0,5667					
Chromium Cobalt (CrCo) space group Fm3m (225)					
Co	0,65	0,00	0,00	0,00	RI = 22,19
Cr	0,35	0,00	0,00	0,00	RF = 15,91
Chromium Nickel (Cr ₄ Ni) space group Im3m (229)					
Cr	0,8	0,00	0,00	0,00	RI = 32,95
Ni	0,2	0,00	0,00	0,00	RF = 20,77

Lampiran 9. Tabel 6: Posisi atom, nilai faktor R, dan Chi square S sampel B3.

Unsur	Faktor Hunian	Posisi atom			Faktor R (%) dan chi square (S)
		x	y	z	
Rwp = 27,60 Rp = 20,00 S = 0,7556					
Chromium Cobalt (CrCo) space group Fm3m (225)					
Co	0,65	0,00	0,00	0,00	RI = 28,99
Cr	0,35	0,00	0,00	0,00	RF = 15,03
Chromium Nickel (Cr ₄ Ni) space group Im3m (229)					
Cr	0,8	0,00	0,00	0,00	RI = 12,76
Ni	0,2	0,00	0,00	0,00	RF = 11,19

Lampiran 10: Tabel Data Posisi Atom

Lampiran 10. Tabel 1 : Posisi atom, nilai faktor R, dan Chi square S A1 quench.

Unsur	Faktor Hunian	Posisi atom			Faktor R (%) dan chi square (S)
		x	y	z	
Rwp = 13,75 Rp = 10,85 S = 0,5672					
Chromium Cobalt (CrCo) space group Fm3m (225)					
Co	0,65	0,00	0,00	0,00	RI = 6,58
Cr	0,35	0,00	0,00	0,00	RF = 4,42
Chromium Nickel (Cr ₄ Ni) space group Im3m (229)					
Cr	0,8	0,00	0,00	0,00	RI = 6,99
Ni	0,2	0,00	0,00	0,00	RF = 7,16
Chromium Oksida (Cr ₂ O ₃) space group R-3c (167)					
Cr	1.0	0,00	0,00	0,3553	RI = 16,38
O	1.0	0,7304	0,00	0,25	RF = 12,80

Lampiran 10. Tabel 2 : Posisi atom, nilai faktor R, dan Chi square S A2 quench.

Unsur	Faktor Hunian	Posisi atom			Faktor R (%) dan chi square (S)
		x	y	z	
Rwp = 14,49 Rp = 11,26 S = 0,5401					
Chromium Cobalt (CrCo) space group Fm3m (225)					
Co	0,65	0,00	0,00	0,00	RI = 4,94
Cr	0,35	0,00	0,00	0,00	RF = 2,71
Chromium Nickel (Cr ₄ Ni) space group Im3m (229)					
Cr	0,8	0,00	0,00	0,00	RI = 14,91
Ni	0,2	0,00	0,00	0,00	RF = 15,78
Chromium Oksida (Cr ₂ O ₃) space group R-3c (167)					
Cr	1.0	0,00	0,00	0,3553	RI = 26,59
O	1.0	0,7304	0,00	0,25	RF = 16,12

Lampiran 10. Tabel 3 : Posisi atom, nilai faktor R, dan Chi square S A3 quench.

Unsur	Faktor Hunian	Posisi atom			Faktor R (%) dan chi square (S)
		x	y	z	
Rwp = 11,93 Rp = 9,14 S = 0,5485					
Chromium Nickel (CrCo) space group Fm3m (225)					
Co	0,65	0,00	0,00	0,00	RI = 8,01
Cr	0,35	0,00	0,00	0,00	RF = 6,09
Chromium Nickel (Cr ₄ Ni) space group Im3m (229)					
Cr	0,8	0,00	0,00	0,00	RI = 5,67
Ni	0,2	0,00	0,00	0,00	RF = 4,71
Chromium Oksida (Cr ₂ O ₃) space group R-3c (167)					
Cr	1.0	0,00	0,00	0,3553	RI = 24,70
O	1.0	0,7304	0,00	0,25	RF = 13,79

Lampiran 10. Tabel 4 : Posisi atom, nilai faktor R, dan Chi square S B1 quench.

Unsur	Faktor Hunian	Posisi atom			Faktor R (%) dan chi square (S)
		x	y	z	
Rwp = 14,61 Rp = 11,22 S = 0,5216					
Chromium Cobalt (CrCo) space group Fm3m (225)					
Co	0,65	0,00	0,00	0,00	RI = 14,46
Cr	0,35	0,00	0,00	0,00	RF = 8,80
Chromium Nickel (Cr ₄ Ni) space group Im3m (229)					
Cr	0,8	0,00	0,00	0,00	RI = 13,33
Ni	0,2	0,00	0,00	0,00	RF = 8,31
Chromium Oksida (Cr ₂ O ₃) space group R-3c (167)					
Cr	1.0	0,00	0,00	0,3553	RI = 26,74
O	1.0	0,7304	0,00	0,25	RF = 14,43

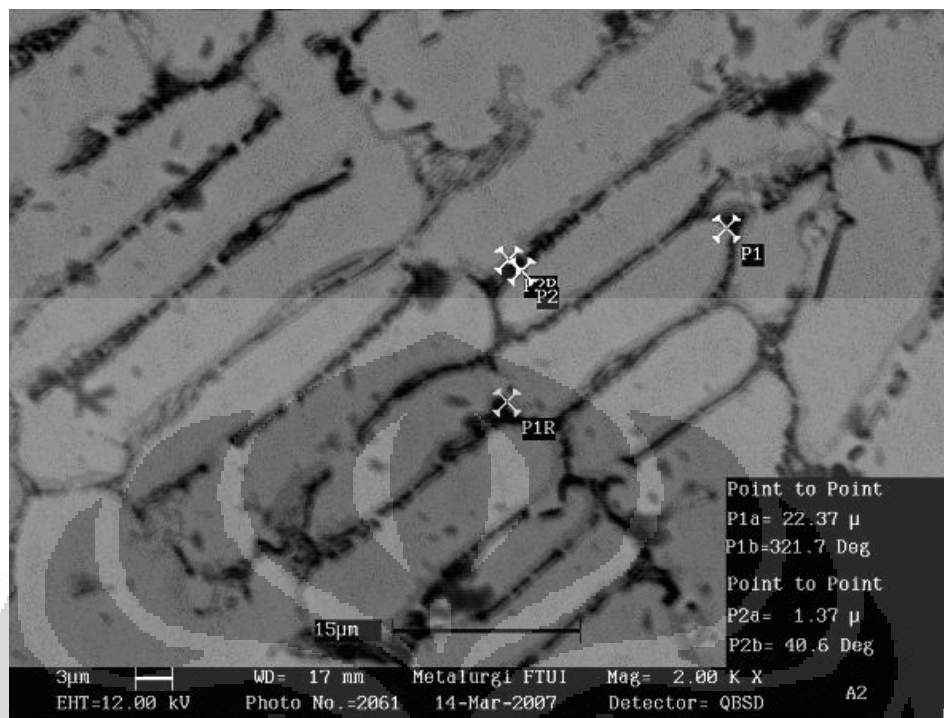
Lampiran 10. Tabel 5 : Posisi atom, nilai faktor R, dan Chi square S B₂ quench.

Unsur	Faktor Hunian	Posisi atom			Faktor R (%) dan chi square (S)
		x	y	z	
Rwp = 12,91 Rp = 9,91 S = 0,5979					
Chromium Cobalt (CrCo) space group Fm3m (225)					
Co	0,65	0,00	0,00	0,00	RI = 29,23
Cr	0,35	0,00	0,00	0,00	RF = 20,03
Chromium Nickel (Cr ₄ Ni) space group Im3m (229)					
Cr	0,8	0,00	0,00	0,00	RI = 18,66
Ni	0,2	0,00	0,00	0,00	RF = 15,35
Chromium Oksida (Cr ₂ O ₃) space group R-3c (167)					
Cr	1.0	0,00	0,00	0,3553	RI = 27,70
O	1.0	0,7304	0,00	0,25	RF = 17,11

Lampiran 10. Tabel 6 : Posisi atom, nilai faktor R, dan Chi square S B₃ quench.

Unsur	Faktor Hunian	Posisi atom			Faktor R (%) dan chi square (S)
		x	y	z	
Rwp = 16,63 Rp = 12,78 S = 0,6033					
Chromium Cobalt (CrCo) space group Fm3m (225)					
Co	0,65	0,00	0,00	0,00	RI = 7,44
Cr	0,35	0,00	0,00	0,00	RF = 4,27
Chromium Nickel (Cr ₄ Ni) space group Im3m (229)					
Cr	0,8	0,00	0,00	0,00	RI = 8,81
Ni	0,2	0,00	0,00	0,00	RF = 4,14
Chromium Oksida (Cr ₂ O ₃) space group R-3c (167)					
Cr	1.0	0,00	0,00	0,3553	RI = 41,44
O	1.0	0,7304	0,00	0,25	RF = 23,48

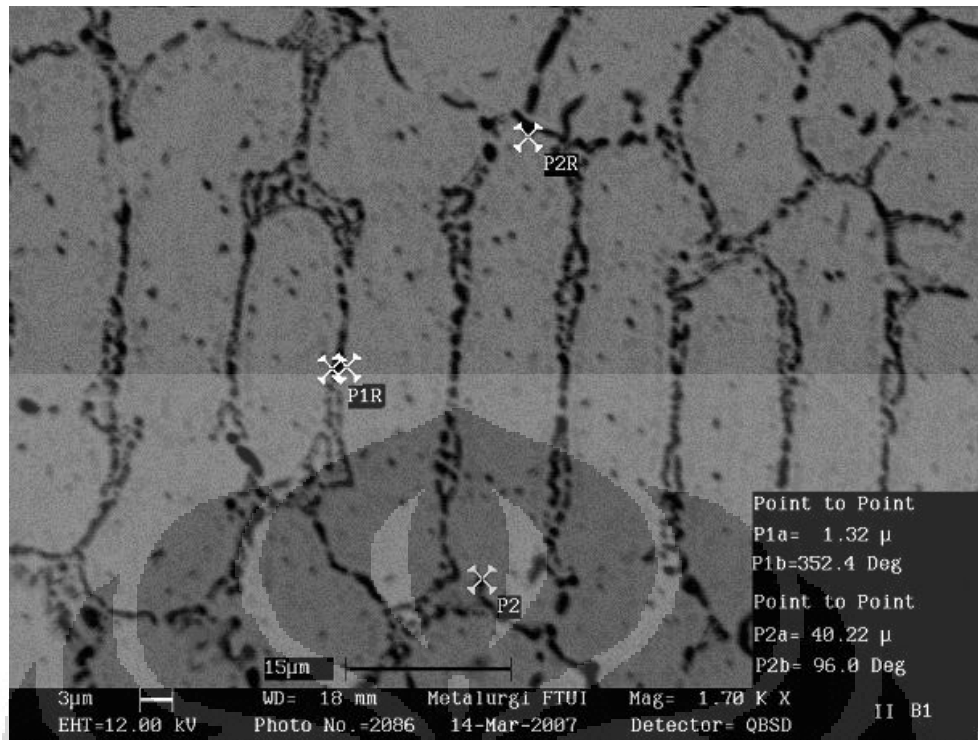
Lampiran 11: Gambar Hasil SEM



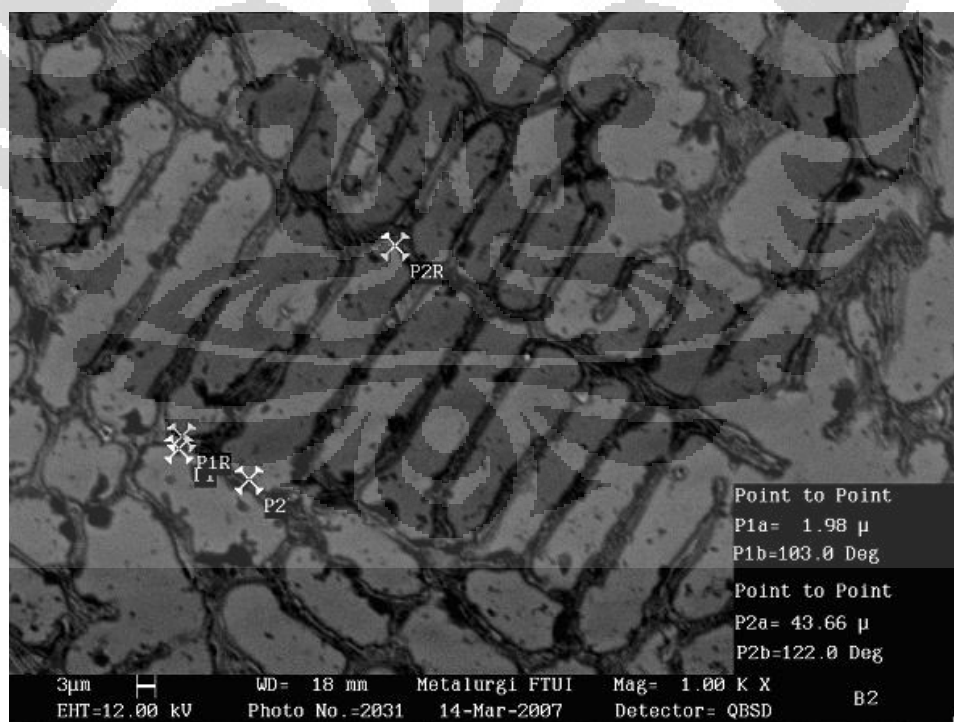
Lampiran 11. Gambar 1 : Foto SEM sampel dengan laju bubuk 1,8 lb/jam dan kuat arus 100 ampere.



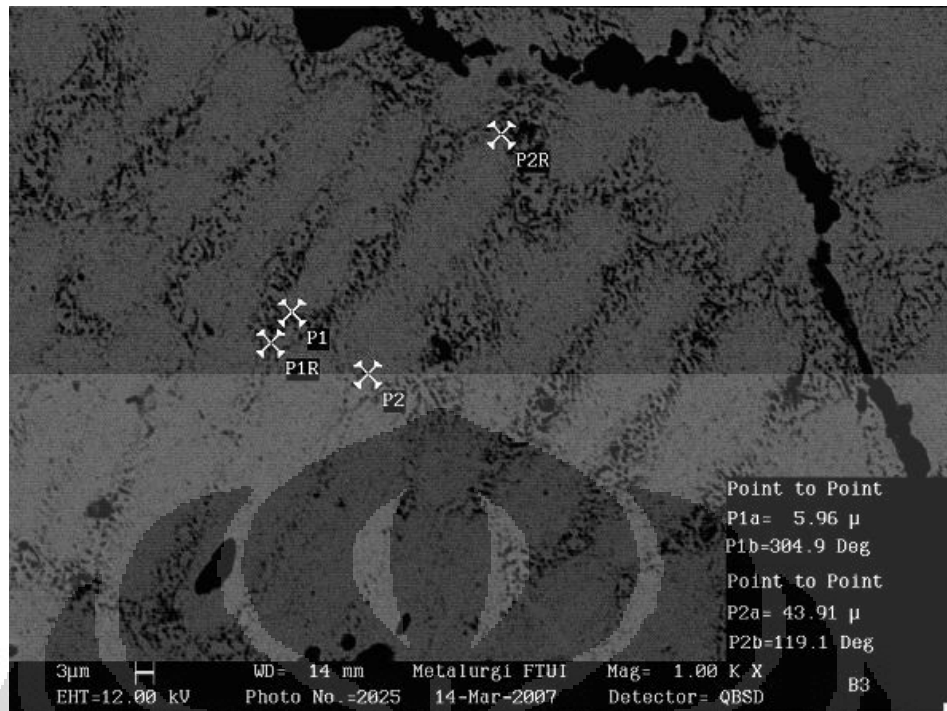
Lampiran 11. Gambar 2 : Foto SEM sampel dengan laju bubuk 2,2 lb/jam dan kuat arus 100 ampere.



Lampiran 11. Gambar 3 : Foto SEM sampel dengan laju bubuk 1,6 lb/jam dan kuat arus 125 ampere.



Lampiran 11. Gambar 4 : Foto SEM sampel dengan laju bubuk 1,8 lb/jam dan kuat arus 125 ampere.



Lampiran 11. Gambar 5 : Foto SEM sampel dengan laju bubuk 2,2 lb/jam dan kuat arus 100 ampere.

Lampiran 12: Data Uji Hardness

Lampiran 12. Tabel 1: Kekerasan sampel A dan B sebelum quenching.

Uji Hardness PTAW

P=1000 gr; 500 gr; 200 gr

Jarak jejak = 200 micron

d (micron) --> 5 titik

Sampel A1					
(Gram)					
1000	67.8	67.8	67.9	67.8	67.8
500	49.2	49.2	49.3	49.3	49.2
200	31.2	31.2	31.3	31.3	31.2
Sampel A2					
(Gram)					
1000	78.8	78.7	78.8	78.8	78.7
500	54.5	54.2	54.2	54.6	54.6
200	36.3	36.3	36.4	36.4	36.4
Sampel A3					
(Gram)					
1000	84.8	84.7	84.8	84.2	84.5
500	64	64.2	64	64.4	64.2
200	44.5	44.7	44.2	44.3	44.6
Sampel B1					
(Gram)					
1000	64	64	64.2	64.2	64.3
500	47.3	47.3	47.5	47.5	47.4
200	33.4	33.4	33.2	33.6	33.5
Sampel B2					
(Gram)					
1000	76.5	76.6	76.7	77	76.7
500	54.2	54.4	54	54	54.3
200	35.5	35.8	35.2	35.8	35.8
Sampel B3					
(Gram)					
1000	82.5	82.7	82.7	82.5	82.6
500	57.4	57.4	57.4	57.6	57.6
200	38.4	38.2	38.5	38.5	38.4

$$HV = \frac{1.854 \times P \times 1000}{d^2}$$

Lampiran 12. Tabel 2: Kekerasan sampel A dan B sesudah quenching 1000°C

Uji Hardness PTAW

P=1000 gr; 500 gr; 200 gr

Jarak jejak = 200 micron

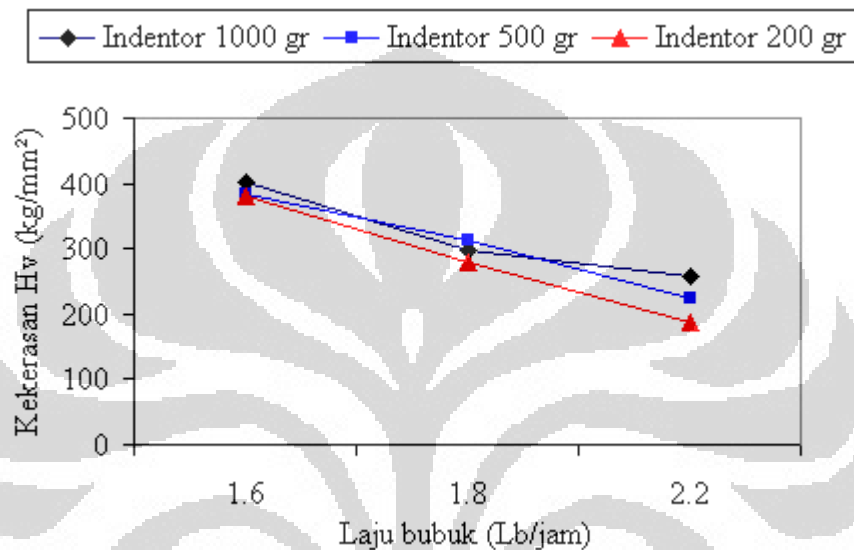
d (micron) --> 5 titik

Sampel A1					
(Gram)					
1000	59	59.2	59	59	59.1
500	42.6	42.4	42.7	42.6	42.8
200	32.5	32.1	32.6	32.8	32.4
Sampel A2					
(Gram)					
1000	77.5	77.6	77.5	77.6	77.6
500	54.2	54	54.4	54.2	54.2
200	37.6	37.4	37.5	37.6	37.7
Sampel A3					
(Gram)					
1000	80	80	80	80	80.1
500	60.1	60	60	60.1	60.2
200	37.8	37.8	38.1	37.9	38
Sampel B1					
(Gram)					
1000	74	74.1	74.3	74.2	74.1
500	52.3	52.3	52.1	52.2	52.1
200	36.2	36.3	36.1	36.2	36.2
Sampel B2					
(Gram)					
1000	87.8	87.8	87.8	87.7	87.8
500	64.2	64.1	64.1	64	64.2
200	42	42	42.1	42.2	41.9
Sampel B3					
(Gram)					
1000	88.2	88.4	88.2	88.3	88.2
500	65.1	65.1	65.2	65	65.3
200	42.4	42.6	42.6	42.5	42.6

Lampiran 13: Grafik Kekerasan

Lampiran 13. Tabel 1: Tabel Kekerasan Sampel A

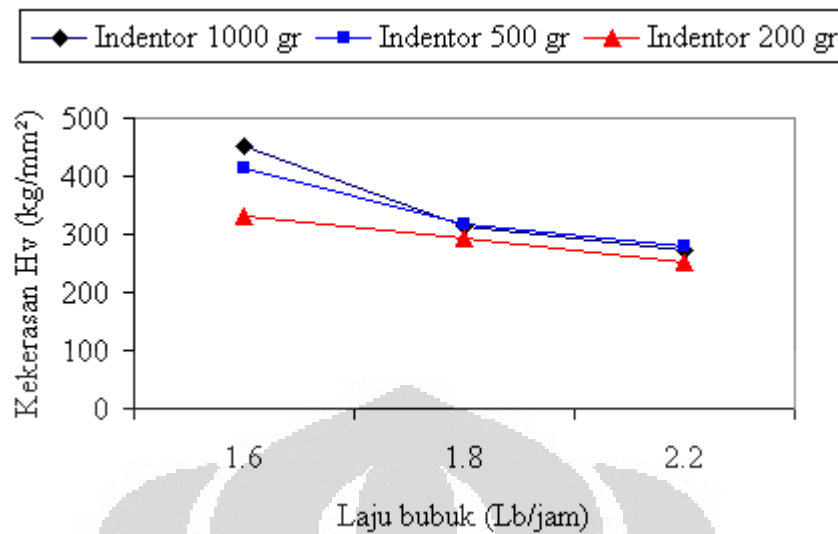
Laju bubuk (Lb/jam)	Hardness Vickers		
	Indentor 1000 gr	Indentor 500 gr	Indentor 200 gr
1,6	403.08	382.33	379.94
1.8	298.88	313.01	280.47
2.2	259.04	225.19	187.58



Lampiran 13. Gambar 1: Grafik Kekerasan Sampel A

Lampiran 13. Tabel 2: Tabel Kekerasan Sampel B

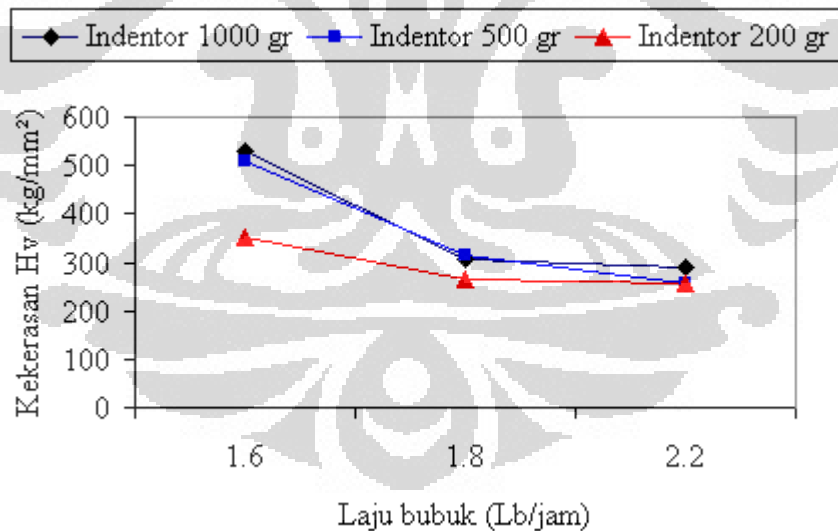
Laju bubuk (Lb/jam)	Hardness Vickers		
	Indentor 1000 gr	Indentor 500 gr	Indentor 200 gr
1,6	450.66	412.59	331.99
1.8	315.15	315.79	292.24
2.2	271.73	280.57	251.46



Lampiran 13. Gambar 2: Grafik Kekerasan Sampel B

Lampiran 13. Tabel 3: Tabel Kekerasan Sampel A Quenching 1000°C

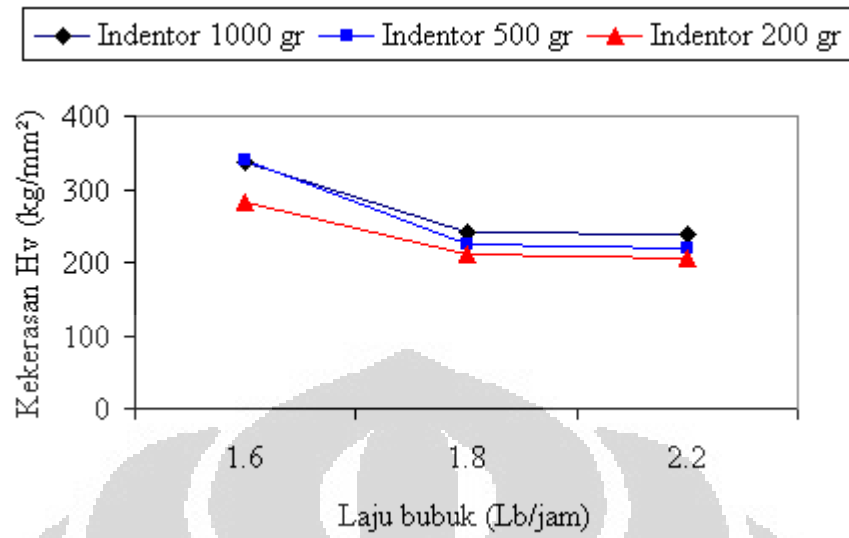
Laju bubuk (Lb/jam)	Hardness Vickers		
	Indentor 1000 gr	Indentor 500 gr	Indentor 200 gr
1,6	531.52	510.33	351.49
1.8	308.20	315.56	262.84
2.2	289.54	256.81	257.87



Lampiran 13. Gambar 3: Grafik Kekerasan Sampel A Quenching 1000°C

Lampiran 13. Tabel 4: Tabel Kekerasan Sampel B Quenching 1000°C

Laju bubuk (Lb/jam)	Hardness Vickers		
	Indentor 1000 gr	Indentor 500 gr	Indentor 200 gr
1,6	337.29	340.20	282.96
1.8	240.61	225.47	209.80
2.2	238.00	218.47	204.90



Lampiran 13. Gambar 4: Grafik Kekerasan Sampel B Quenching 1000°C