



LAPORAN TESIS - TL142501

**Analisis Pengaruh Tekanan dan Fraksi Massa Cr
Terhadap Sifat Mekanik dan Konduktifitas
Listrik Komposit Tembaga-Kromium (Cu-Cr)
Pada Proses *Hot Compaction***

Dicki Nizar Zulfika
NRP. 2714201012

Dosen Pembimbing
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.
Dr. Lukman Noerochiem, S.T., MSc.Eng

PROGRAM MAGISTER
JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

~Halaman ini sengaja dikosongkan~



THESIS- TL142501

**Analysis Effect of Pressure and Mass Fraction
of Cr to Mechanical Properties and Electrical
Conductivity Copper-Chromium (Cu-Cr)
Composite in Hot Compaction Process**

Dicki Nizar Zulfika
NRP. 2714201012

Advisor
Dr. Widyastuti, S.Si. M.Si.
Dr. Lukman Noerochiem, S.T., MSc.Eng

MASTER PROGRAM
MATERIAL & METALLURGICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

~Halaman ini sengaja dikosongkan~

LEMBAR PENGESAHAN

TESIS

**Telah disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)**

**Di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh:
Dicki Nizar Zulfika
NRP. 2714201012**

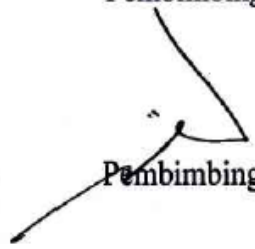
**Tanggal Ujian: 25 Juli 2016
Periode Wisuda: Semester Genap 2015/2016**

Disetujui oleh:

**1. Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.
NIP. 197906202006042001**


Pembimbing I


**2. Dr. Lukman Noerochiem, S.T. MSc. Eng
NIP. 197703132003121001**


Pembimbing II


**3. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.
NIP. 198012072005011004**

Penguji

**4. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP. 19780113 2002121003**


Penguji

**5. Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197701162003122007**


Penguji



Direktur Program Pascasarjana,

Erpl. Ir. Djahar Manfaat, M.Sc., Ph.D.

NIP. 196012021987011001



ANALISI PENGARUH TEKANAN DAN FRAKSI MASSA Cr TERHADAP
SIFAT MEKANIK DAN KONDUKTIFITAS LISTRIK KOMPOSIT
TEMBAGA-KROMIUM (Cu-Cr) PADA PROSES *HOT COMPACTION*

Nama Mahasiswa : Dicki Nizar Zulfika
NRP : 2714 201 012
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Dr. Widyastuti. S.Si., M.Si
Dr. Lukman Noerochiem, S.T., MSc.Eng

Abstrak

Komposit CuCr adalah material yang umum digunakan oleh industri elektronik sebagai material yang terhubung langsung dengan listrik. Komposit CuCr biasa digunakan pada *circuit breaker*, *cable kontak*, *circuit board*, dan yang lainnya.. Penelitian ini menggunakan metode *hot compaction* sebagai proses manufaktur komposit yang bisa membuat komposit CuCr memiliki kekerasan dan konduktifitas listrik yang baik. Proses manufaktur komposit CuCr menggunakan metode metallurgi serbuk. Proses pencampuran menggunakan proses *mechanical milling* untuk homogenitasnya baik. Hot compaction dengan temperatur 300°C diberikan agar material serbuk lebih plastis sehingga lebih mudah terkompaksi. Penelitian ini menggunakan variasi komposisi yaitu Cu90Cr10, Cu80Cr20, Cu70Cr30, Cu60Cr40 dan tekanan *hot compaction* sebesar 500, 750, dan 1000 MPa.. Proses *sintering* dilakukan pada temperatur 850 °C dan waktu tahan 1 jam. Berdasarkan hasil pengujian, *sinter density* optimum pada Cu80Cr20, P = 1000 MPa sebesar 96,81% relatif density. Nilai kekerasan optimum pada Cu60Cr40, P = 1000 MPa sebesar 129 VHN. Konduktifitas listrik optimum pada Cu90Cr10, P = 1000 MPa sebesar 82,6 %IACS.

Kata kunci: CuCr, *Hot compaction*, Komposit, Metalurgi serbuk,



~Halaman ini sengaja dikosongkan~

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
COVER.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
2.1 Komposit CuCr.....	5
2.2 Material Komposit	7
2.3 Metalurgi serbuk.....	10
2.4 Mechanical Alloying.....	10
2.5 Kompaksi.....	14
2.5.1 Sintering	17
2.6 Konduktifitas Listrik	17
2.6.1 Resistansi Listrik	18
2.7 Penelitian sebelumnya.....	19
BAB 3 METODE PENELITIAN	
3.1 Bahan	25
3.2 Alat.....	25
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	28
3.4 Proses Percobaan.....	29

3.4.1 Preparasi bahan	29
3.4.2 Kompaksi.....	31
3.4.3 Sintering.....	33
3.4.4 Pengujian Karakterisasi	34
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisa Karakterisasi Komposit CuCr.....	39
4.1.1 Analisa XRD	39
4.1.2 Analisa SEM	45
4.2 Analisa Sifat Fisik Komposit Cu-Cr.....	45
4.2.1 Hubungan tekanan, <i>green density</i> , dan porositas	51
4.2.1 Hubungan tekanan, <i>green density</i> , sinter density	52
4.3 Analisa Sifat Mekanik Komposit Cu-Cr.....	54
4.3.1 Pengaruh tekanan kompaksi terhadap kekerasan.....	54
4.3.2 Pengaruh komposisi terhadap kekerasan.....	55
4.3.1 Analisa LCR meter	56
BAB 5 KESIMPULAN	
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram fase Cu-Cr	6
Gambar 2. 2a <i>Fritsch Pulverisette P-5 four station ball mill</i>	11
Gambar 2.2b <i>Schematic depicting the ball motion inside the ball mill.</i>	11
Gambar 2.2c <i>Ball-powder-ball collision of powder mixture during mechanical alloying Fritsch Pulverisette P-5 four station ball mill.</i>	11
Gambar 2.3 <i>Double ended compaction</i>	15
Gambar 2.4a Hasil mikroskopik Al pada <i>hot press</i>	16
Gambar 2.4b Hasil OM dari : (a) CuCr25 alloy; (b) CuCr30 alloy; (c) CuCr40	11
Gambar 2.5 SEM dari Cu _{0.90} Cr _{0.10} setelah proses <i>milling</i>	15
Gambar 2.6 XRD dari serbuk Cu-Cr setelah <i>milling</i>	21
Gambar 2.7 Hasil OM:	22
Gambar 2.8 Skema <i>hot compaction</i>	23
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	29
Gambar 3.2 Alat Uji <i>Hardness Vickers</i>	35
Gambar 3.3 <i>Inductance Capacitance Resistance (LCR-meter)</i>	36
Gambar 3.4 X-Ray Diffraction.....	37
Gambar 3.5 Alat Uji <i>Hardness Vickers</i>	38
Gambar 3.7 <i>Inductance Capacitance Meter</i>	33
Gambar 3.8 XRD.....	34
Gambar 3.9 SEM	35
Gambar 4.1 Hasil XRD serbuk Cu murni	40
Gambar 4.2 Hasil XRD serbuk Cr murni.....	40
Gambar 4.3 Grafik Cu ₉₀ Cr ₁₀ pada tekanan 500, 750, dan 1000 MPa.....	42
Gambar 4.4 Grafik Cu ₈₀ Cr ₂₀ pada tekanan 500, 750, dan 1000 MPa.....	42
Gambar 4.5 Pengaruh komposisi fraksi massa Cr terhadap nilai kekekerasan.....	43
Gambar 4.6 Data XRD Cu ₆₀ Cr ₄₀ pada tekanan 500, 750, dan 1000 MPa	45
Gambar 4.7 Gambar SEM serbuk tembaga	46
Gambar 4.8 Gambar SEM serbuk tembaga	46
Gambar 4.9a Distribusi Cr terhadap matrik Cu ₉₀ Cr ₁₀ 500 MPa	47

Gambar 4.9b Distribusi Cr terhadap matrik Cu80Cr20 750 MPa	47
Gambar 4.9c Distribusi Cr terhadap matrik Cu70Cr30 500 MPa	47
Gambar 4.9d Distribusi Cr terhadap matrik Cu60Cr40 500 MPa	47
Gambar 4.10 Porositas pada Cu80Cr20 tekanan 1000 MPa.....	48
Gambar 4.11 Perbedaan ikatan pada daerah batasan	49
Gambar 4.12a Serbuk Cu90Cr10 setelah milling 1 jam.....	49
Gambar 4.12b Serbuk Cu60Cr40 setelah milling 1 jam	48
Gambar 4.13a Serbuk Cu90Cr10 setelah milling 1 jam 5000x	50
Gambar 4.13b Serbuk Cu60Cr40 setelah milling 1 jam 5000x.....	50
Gambar 4.14a Hubungan antara tekanan kompaksi, green density dan porositas pada komposit Cu90Cr10	51
Gambar 4.14b Hubungan antara tekanan kompaksi, green density dan porositas pada komposit Cu80Cr20	51
Gambar 4.14c Hubungan antara tekanan kompaksi, green density dan porositas pada komposit Cu70Cr30	52
Gambar 4.14d Hubungan antara tekanan kompaksi, green density dan porositas pada komposit Cu60Cr40	52
Gambar 4.15a Hubungan antara tekanan kompaksi, green density dan sinter density pada komposit Cu90Cr10.....	52
Gambar 4.15b Hubungan antara tekanan kompaksi, green density dan sinter density pada komposit Cu80Cr20.....	52
Gambar 4.15c Hubungan antara tekanan kompaksi, green density dan sinter density pada komposit Cu70Cr30.....	52
Gambar 4.15d Hubungan antara tekanan kompaksi, green density dan sinter density pada komposit Cu90Cr10.....	52
Gambar 4.16 Pengaruh tekanan terhadap nilai kekerasan.....	53
Gambar 4.17 Pengaruh komposisi fraksi massa Cr terhadap kekekerasan.....	54
Gambar 4.16 Pengaruh tekanan terhadap konduktifitas	57
Gambar 4.19 Pengaruh fraksi massa Cr terhadap konduktifitas	57



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Cu.....	5
Tabel 2.2 Sifat Cr.....	5
Tabel 2.3 Kelebihan dan kekurangan proses metalurgi serbuk	8
Tabel 2.4 kapasitas setiap tipe <i>ball mills</i>	9
Tabel 2.5 Perbandingan sifat material Cu-Cr standard industri dengan Cu-Cr produk <i>explosive compaction</i> dan <i>uni-axial compaction</i> dengan pelapisan Cu.....	11
Tabel 2.6 Standard industri untuk <i>circuit breaker</i>	20
Tabel 2.7 <i>Density</i> dan <i>Hardness</i> Cu-Cr setelah <i>milling</i>	22
Tabel 2.8 Sifat fisik dan mekanik paduan Cu-Cr.....	23
Tabel 3.1 Spesifikasi serbuk Cu dan Cr.....	38
Tabel 3.2 Komposisi komposit CuCr sesuai ROM.....	39
Tabel 3.3 Serbuk Cu-Cr setelah <i>magnetic stirrer</i> dan proses <i>ball milling</i>	42
Tabel 3.4 Hasil sampel setelah <i>hot compaction</i> dan sampel setelah sintering	44
Tabel 4.1 Ukuran kristal Cu berdasarkan fraksi massa Cr dan tekanan kompaksi.....	45
Tabel 4.2 Nilai <i>green density</i> dan porositas setelah proses <i>hot compaction</i>	52
Tabel 4.3 Nilai <i>green density</i> dan <i>sinter density</i>	55
Tabel 4.4 Nilai Kekerasan karena pengaruh Tekanan.....	56
Tabel 4.5 Perbandingan standard industri dengan hasil eksperimen.....	59

~Halaman ini sengaja dikosongkan~



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Komposit CuCr dibuat dari matrik Cu yang diperkuat dengan Cr. Proses pembuatan komposit ini adalah dengan menggunakan metode *powder metallurgy* dan *hot compaction*. Berdasarkan hasil analisa data dan pembahasan, maka pada penelitian tentang komposit Cu-Cr dapat disimpulkan:

- a. Tekanan sangat berpengaruh terhadap nilai densitas, kekerasan dan konduktifitas listrik. akan naik..
- b. Fraksi massa Cr memiliki pengaruh terhadap nilai kekerasan dan juga konduktifitas listrik. Semakin banyak fraksi massa Cr, maka kekerasan akan naik tetapi konduktifitas listrik akan turun.
- c. Dari seluruh sampel komposit CuCr, yang memenuhi standard industri adalah Cu70Cr30 dan Cu60Cr40 pada tekanan 1000 MPa

5.2 Saran

Dari penelitian ini dapat dirumuskan beberapa saran yaitu sebagai berikut:

- a. Perlu dilakukan peningkatan temperatur sintering di atas 850°C dan waktu tahan di atas 1 jam agar proses difusi mencapai konsentrasi keseimbangan.
- b. Perlu dilakukan eksperimen pembuatan Cu-Cr proses hot compaction dengan tekanan diatas 1000 MPa atau menggunakan metode kompaksi dan sinter ulang untuk mencapai full densitas.
- c. Perlu dilakukan percobaan dengan proses mechanical milling dengan berbagai macam variabel dan temperatur kompaksi diatas 300°C.



~Halaman ini sengaja dikosongkan~

DAFTAR PUSTAKA

- Crowe, T. C. (2006). *Multiphase Flow Handbook*. Taylor and Francis Group.
- Effendi, Achmad. (2008). *Pembuatan Aluminium Busa Melalui Proses Sinter dan Pelarutan*. Jakarta: Department Metalurgi dan Material FTUI.
- Elkedim. (1998). *Preparation Of NanoCrystalline Copper by Hot and Cold Compaction : Characterization of Mechanical and Electrochemical Properties*, France
- Emsley, John. (2001). "Chromium". *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements*. Oxford, England, UK: Oxford University Press. pp. 495–498.
- Fransisca. (2008). *Pengaruh Temperatur Sinter dan Fraksi Volume Penguat Al₃O₃ Terhadap Karakteristik Komposit Laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃ Produk Metalurgi Serbuk*, UI, Depok
- German.R.M,(1994). *Powder Metallurgy Science*. USA: Pennsylvania State University
- Indranil., (2009). *Compaction and sintering response of mechanically alloyed Cu–Cr powder*. India: Indian Institute of Technology KanpurBanovic,
- Morris,D.G. (1988). *Rapid Solidifications and Mechanical Alloying Techniques Applied to Cu-Cr*. Switzerland: University of Neuchâtel
- Rusianto, Toto. (2009). "Hot Pressing Metalurgi Serbuk Aluminium Dengan Variasi Suhu Pemanasan". *Jurnal Teknologi* 89-95.
- Suherman, W. (1998). *Pengetahuan Bahan*, FTI – ITS, Surabaya
- Sulistijono. (2012). *Mekanika Material Komposit*. Surabaya: ITS press
- Suryanarayana, C. (2001). *Mechanical alloying and milling*. Department of Metallurgical and Materials Engineering, Colorado School of Mines, Golden, CO 80401-1887, USA

Wetzel, Klinki. (2015). The influence of microstructural features on the electrical conductivity of solid phase sintered CuCr composites. Switzerland: Plansee Powertech AG

Xhin, Xiao Shi. 2011. Microstructure and properties of CuCr contact materials with different Cr content. China : Xi'an Jiaotong University

Zheng, Zhao. 2009. CuCr bulk alloy produced by mechanical alloying and explosive compaction. China : Dalian University of Technology



Dicki Nizar Zulfika dilahirkan di Ponorogo pada 4 Maret 1991. Penulis merupakan putra bungsu dari pasangan Pitono dan Tri Yuana. Pendidikan pertama dimulai di SDN Bedikulon 2. Jenjang SMP ditempuh di SMP Muhammadiyah 1 Ponorogo dan melanjutkan pendidikan di SMA Bakti Ponorogo. Setelah lulus SMA penulis mengikuti program PMDK yang diadakan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) sebagai mahasiswa D4 Teknik Perpipaan angkatan 2009. Pada tahun 2014 penulis mendapatkan beasiswa Fresh Graduate DIKTI dan menjadi mahasiswa Pasca Sarjana S2 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS.

Selama menjadi mahasiswa S2, penulis sempat aktif bekerja di PT. Pelangi Indo Karya pada semester 1. Berkat bekal pengalaman, perjuangan, dan doa akhirnya penulis berhasil menyelesaikan tesis yang berjudul **Analisis Pengaruh Tekanan dan Fraksi Massa Cr Terhadap Sifat Mekanik dan Konduktifitas Listrik pada Komposit CuCr saat *Hot Compaction*** dan mengantarkan penulis lulus dari ITS.

Email: zulfikadicki1991@gmail.com



Laporan Tesis
Program Studi Magister
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
FTI-ITS

~Halaman ini sengaja dikosongkan~



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik adalah salah satu kebutuhan utama di dunia ini. Maka dari itu diperlukan material yang mampu menjadi penghantar listrik yang baik dan juga sifat mekanik yang baik. Salah satu spesifikasi yang dipakai di industri listrik terhadap *circuit breaker* yaitu dengan komposisi $\text{Cu}_{90}\text{Cr}_{10}$ memiliki kekerasan 100 VHN, densitas 96% teori, dan konduktivitas listrik sebesar 55% IACS (Slade, 1994). Komposit Cu-Cr sendiri adalah material yang sering dipakai di industri elektronik sebagai *cable contact*, material *lead frame* pada *circuit*, *vacuum circuit breaker*, dan lainnya. Kelebihan dari komposit Cu-Cr adalah memiliki sifat mekanik yang baik. Konduktivitas listrik yang baik berasal dari matriks Cu sedangkan kekerasannya berasal dari Cr, hal ini yang membuat Cu-Cr cocok digunakan sebagai material elektronik. Ada beberapa metode yang bisa digunakan untuk memproduksi Cu-Cr sebagai material yaitu cold compaction, explosive compaction, dan pengecoran.

Salah satu penelitian yang telah dipublikasikan adalah dari Indranil Lahiri (2009). Indranil menggunakan 4 variasi komposisi Cu-Cr yang berbeda-beda. Paduan serbuk mekanik diberi 3 proses kompaksi yang berbeda untuk mendapatkan produk. Kemudian hasil dibandingkan dengan paduan Cu-Cr yang ada di industri. Pada penelitian yang dilakukan Indranil, densitas yang paling optimal diperlihatkan pada komposisi $\text{Cu}_{0.90}\text{Cr}_{10}$ dengan proses *Uni-Axial Cold Compaction* dengan pelapisan Cu. Beban tertinggi pada kompaksi yaitu 1 GPa, meningkatkan nilai *green density* dengan nilai tertinggi. Saat kompaksi, nilai densitas yang didapat adalah 69,3% tapi setelah ditekan ulang dan sintering ulang densitas meningkat dengan drastis mencapai 99,2%. Hanya saja proses ini membutuhkan *re-pressing* dan *re-sintering* untuk mendapatkan densitas sebesar itu.

Dibutuhkan lagi penelitian tentang pengaruh proses kompaksi terhadap komposit Cu-Cr dengan metode lain untuk mengetahui sifat terbaik yang bisa



didapat, misalnya seperti kompaksi dengan pemanasan atau *hot compaction*. Pada kompaksi dengan pemanasan, terjadi proses pemanasan terhadap serbuk metalurgi didalam cetakan sehingga membuat partikel serbuk menjadi plastis. Dengan adanya metode *hot compaction*, diharapkan dengan komposisi Cr yang sedikit dan tekanan yang rendah mampu memiliki sifat mekanik yang diinginkan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh komposisi Cr terhadap sifat mekanik dan konduktifitas listrik komposit Cu-Cr pada saat *hot compaction*?
2. Bagaimana pengaruh tekanan kompaksi terhadap sifat mekanik dan konduktifitas listrik komposit Cu-Cr pada saat *hot compaction*?

1.3 Batasan Masalah

Agar didapatkan hasil akhir yang yang baik dan sesuai dengan tujuan penelitian serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Persebaran panas dianggap homogen
2. Distribusi campuran serbuk dianggap homogen.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menganalisa pengaruh komposisi Cr pada CuCr terhadap sifat mekanik dan konduktifitas listrik komposit Cu-Cr pada saat *hot compaction*
2. Menganalisa pengaruh tekanan kompaksi terhadap sifat mekanik dan konduktifitas listrik komposit Cu-Cr pada saat *hot compaction*

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan material paduan Cu-Cr yang memiliki sifat-sifat yang dapat digunakan sebagai komponen listrik. Selain itu



penelitian ini juga mampu digunakan sebagai referensi untuk penelitian-penelitian selanjutnya untuk mengembangkan material paduan Cu-Cr, sehingga dapat dijadikan inovasi dalam melakukan penelitian dengan metode-metode yang lebih variatif.



~Halaman ini sengaja dikosongkan~



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit Cu-Cr

Material tembaga dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cu dan nomor atom 29. Cu di alam tidak begitu melimpah dan ditemukan dalam bentuk bebas maupun dalam bentuk senyawa. Tembaga merupakan salah satu kelompok utama logam yang komersial. Tembaga memiliki warna kemerahan dengan struktur kristal *Face Centered Cubic* (FCC). Material Cu banyak digunakan untuk material listrik karena memiliki konduktifitas listrik yang baik. Sifat mekanik dan fisik dari Cu terdapat pada tabel 2.1.

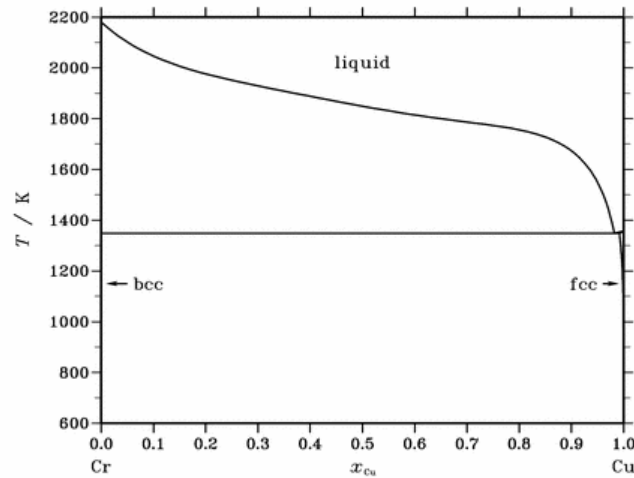
Tabel 2.1 Sifat Cu (Plansee, 2008)

No atom	Titik leleh (°K)	Titik didih (°K)	Densitas (g/cm ³)	Struktur kristal	Kekerasan (VHN)	Konduktifitas Listrik(S/m)
29	1356	2868	8,96	FCC	60-80	58,5x10 ⁶

Kromium dalam Tabel periodik memiliki lambang Cr dan nomor atom 24. Merupakan logam baja abu-abu yang keras yang mengkilat dan digunakan dalam paduan untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan terhadap korosi. Kromium berbentuk lembek jika dalam keadaan murni dan memiliki struktur kristal *Body Centered Cubic* (BCC). Cr adalah elemen yang relatif melimpah di kerak bumi. Banyak yang tertarik terhadap kromium karena sifatnya yang bagus terhadap korosi dan memiliki kekerasan yang bagus. Selain itu kromium juga memiliki sifat konduktifitas listrik yang bagus sehingga banyak digunakan sebagai komposit tembaga untuk digunakan sebagai bahan untuk alat-alat elektronik. Sifat mekanik dari Cr terdapat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Sifat Cr (Plansee, 2008)

No atom	Titik leleh (°K)	Titik didih (°K)	Densitas (g/cm ³)	Struktur kristal	Kekerasan (VHN)	Konduktifitas Listrik (S/m)
24	2173	2672	7,15	BCC	180-250	7,9x10 ⁶



Gambar 2.1 Diagram fase Cu-Cr (Landolt-Börnstein, 2004)

Diagram fase Cu-Cr (gambar memiliki karakter yang sederhana yang diperlihatkan pada pencampuran yang merata pada saat fase cair, kemampuan terlarut kromium pada tembaga murni dan kemampuan terlarut tembaga pada kromium bcc yang rendah diabaikan. Fakta yang menunjukkan tidak adanya ikatan *intermetallic* pada sistem Cu-Cr dan permukaan cairan Cu-Cr yang rata membuktikan bahwa elemen Cu dan Cr yang murni memiliki daya tarik menarik yang rendah terhadap satu sama lain (Landolt-Börnstein, 2004)

Komposit partikel kromium sebagai *reinforced* dari tembaga sebagai matrik juga biasa disebut paduan Cu-Cr, tapi ini semacam *pseudo alloy* bahwa partikel Cr dengan nilai kekerasan dan titik lebur yang tinggi melekat pada matrik Cu yang memiliki konduktivitas listrik yang tinggi. Kualitas Cu-Cr yang tinggi ditentukan oleh fase Cr yang distribusi secara seragam pada matrik Cu. Maka dengan begitu mampu membentuk material yang memiliki densitas dan kekuatan mekanik yang tinggi. Komposit dari tembaga dan kromium sering digunakan oleh industri listrik untuk membuat material yang bersentuhan langsung dengan listrik karena memiliki konduktivitas listrik yang baik, tembaga sebesar 58 MS/m untuk kromium sebesar 8 MS/m (Wetzel, 2015). Penambahan kromium pada tembaga agar dapat menghasilkan paduan khusus yang memiliki ketahanan tinggi terhadap korosi dan oksidasi. Dan tujuan lain penambahan kromium adalah meningkatkan kekerasan tembaga namun masih memiliki konduktivitas listrik yang bagus.



Pseudo alloys yang terdiri dari logam yang tidak dapat menjadi paduan karena perbedaan *melting point* yang tinggi (Tisza, 2001), seharusnya menjadi sangat menarik untuk diteliti dikarenakan kombinasi yang unik dilihat dari sifat mekanik, listrik, dan fisik mereka. Beberapa material memiliki bermacam-macam aplikasi termasuk elemen pemanas pada peralatan *microelektronik*, kontak pada *circuit breaker* (CB), dan *nozzle* untuk mesin roket. Fabrikasi pada *pseudo alloys* sejak dulu telah diketahui untuk sistem binary yang berbeda seperti W-Cu, W-Ag, dan Ta-Cu. Bagaimanapun juga, yang paling mengundang perhatian adalah komposisi Cu-Cr. Walaupun titik lebur dari Cr (2180 °K) lebih rendah daripada W (3695 °K), atau Ta (3293 °K), tapi Cr lebih murah dan menunjukkan kekerasan yang relatif tinggi, memiliki resistansi panas dan korosi yang bagus, dan unsur kimia yang stabil, hal tersebut membuat komposit Cu-Cr lebih menjanjikan untuk aplikasi *electrotechnical* pada saat temperatur normal maupun saat tinggi. Sampai saat ini, terdapat 6 macam metode utama untuk membuat komposit Cu-Cr, yaitu dengan cara pencampuran serbuk dengan *sintering*, pengecoran secara vakum, *hot isostatic pressing*, peleburan infiltrasi, peleburan dengan busur, dan *explosive compaction*.

2.2 Material Komposit

Komposit merupakan sebagai suatu material yang terdiri dari dua komponen atau lebih yang memiliki sifat atau struktur yang berbeda yang dicampur secara fisik menjadi satu dan membentuk ikatan mekanik yang berstruktur homogen secara makroskopik dan heterogen secara mikroskopik (Sulistijono, 2012). Penyusun komposit bertindak sebagai penguat (*reinforcement*) yang mempunyai sifat sulit dibentuk tetapi lebih kaku serta lebih kuat dan matriks yang umumnya mudah dibentuk tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang rendah (Schwartz, 1984).

Komponen penyusun dari komposit, yaitu berupa penguat (*reinforcement*) dan pengikat (*matrix*). Kekuatan dan sifat dari komposit merupakan fungsi dari fasa penyusunnya, komposisinya serta geometri dari fasa penguat. Geometri fasa penguat disini adalah bentuk dan ukuran partikel, distribusi, dan orientasinya.



Penguat merupakan material yang umumnya jauh lebih kuat dari matriks dan berfungsi memberikan kekuatan tarik. Matriks berfungsi sebagai media transfer beban ke penguat, menahan penyebaran retak dan melindungi penguat dari efek lingkungan serta kerusakan akibat benturan.

Sedangkan berdasarkan matriksnya, komposit dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu:

- a) *Metal Matrix Composite* (MMC), dengan matriksnya adalah material logam.
- b) *Polymer Matrix Composite* (PMC), dengan matriksnya adalah material polimer.
- c) *Ceramic Matrix Composite* (CMC), dengan matriksnya adalah material keramik.

Untuk mengetahui sifat komposit selain dengan pengambilan data pada eksperimen, juga bisa didapatkan secara teori. Dengan menggunakan *Rule of Mixture (ROM)* yang dinyatakan dengan Persamaan :

$$\rho_c = \rho_m \cdot V_m + \rho_f \cdot V_f \quad (2.1)$$

Dimana:

ρ_c = densitas komposit

ρ_m = densitas matriks

ρ_f = densitas penguat

V_m = fraksi volume matriks

V_f = fraksi volume penguat

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.2)$$

Dimana :

ρ = densitas

m = massa

v = volume



Dengan menggunakan rumus densitas (2.2) maka akan diperoleh fraksi massa, dengan Persamaan 2.3

$$m_m = a.m_c \text{ dan } m_f = b.m_c \quad (2.3)$$

Dimana :

- m_m = massa matrik
- m_f = massa penguat
- m_c = massa komposit
- a = fraksi massa matrik
- b = fraksi massa penguat

Massa serbuk yang terdiri dari massa matriks dan massa *reinforced* dibutuhkan untuk pembuatan komposit dapat dicari dengan menggunakan Persamaan 2.4 dan 2.5.

- Massa matriks

$$m_m = a \frac{\rho_m \cdot \rho_f}{a \cdot \rho_f + b \cdot \rho_m} \cdot v_c \quad (2.4)$$

- Massa *reinforced*

$$m_f = b \frac{\rho_m \cdot \rho_f}{a \cdot \rho_f + b \cdot \rho_m} \cdot v_c \quad (2.5)$$

dimana :

- v_c = volume komposit

Effendi (2008) menyebutkan, untuk perhitungan porositas pada komposit dapat diketahui dari densitas teoritis dan densitas *sinter* pada komposit tersebut. Perhitungan dapat menggunakan Persamaan 2.6:

$$\phi = 1 - (\rho_s/\rho_t) \quad (2.6)$$

Dimana:

- ϕ = Porositas
- ρ_s = densitas *sinter* (gr/cm³)
- ρ_t = densitas teoritis (gr/cm³)



2.3 Metalurgi serbuk

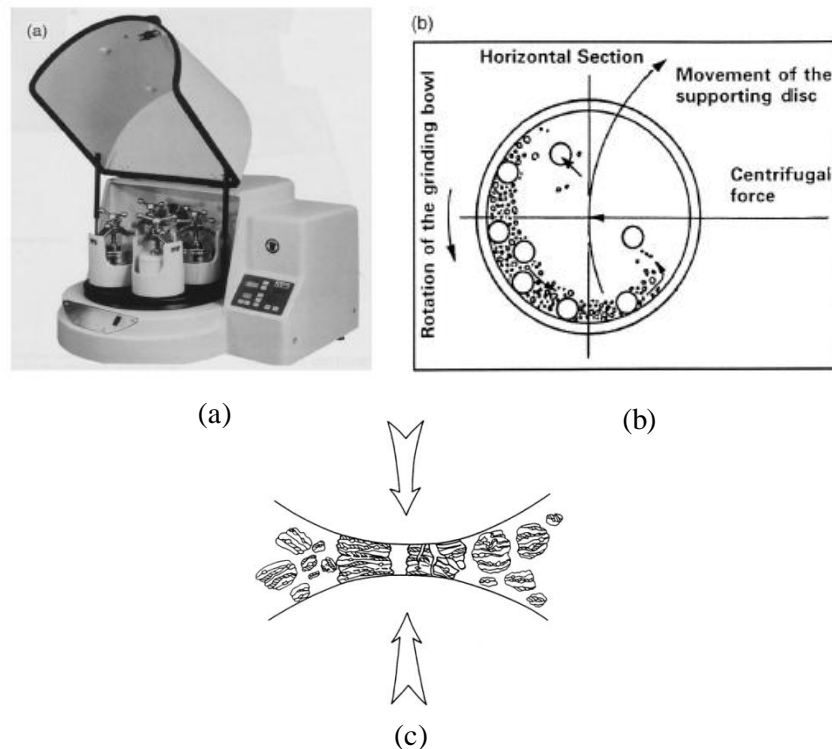
Metalurgi serbuk (PM) adalah teknik pembentukan material dalam keadaan padat, di mana bahan material dibuat dari serbuk dengan partikel yang halus. Proses pembentukan adalah bahan serbuk dimasukkan ke dalam cetakan kemudian dilakukan kompaksi. Setelah dilakukan kompaksi, serbuk membentuk *green body* yang sesuai dengan bentuk cetakan yang diinginkan. *Green body* tersebut kemudian diberi perlakuan *sintering*.. Proses metalurgi serbuk biasanya akan menimbulkan porositas, hal tersebut berpengaruh pada berat jenisnya (Rusianto, 2005). Kelebihan dan kekurangan proses metalurgi serbuk dan juga karakter serbuk terdapat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Kelebihan dan kekurangan proses metalurgi serbuk

Kelebihan Proses Metalurgi serbuk	Kekurangan Proses Metalurgi Serbuk
Efisiensi bahan	Ukuran benda yang akan dibuat terbatas.
Stabilitas dimensi tinggi	Keterbatasan pada bentuk
Besar butir mudah dikendalikan	Kemurniannya kurang
Porositas mudah dikontrol	Korosi
Cocok untuk material komposit dengan matrik logam	Sifat benda hasil proses metalurgi serbuk lebih rendah

2.4 Mechanical Alloying (MA)

Mechanical alloying adalah teknik pengolahan serbuk yang mampu melakukan produksi material yang homogen dari dua unsur serbuk atau lebih yang dicampurkan dengan cara penggilingan menggunakan bola-bola baja atau bisa juga dideskripsikan sebagai proses pencampuran serbuk (logam yang berbeda / paduan) yang di *milling* bersama. Transfer material yang terjadi pada proses ini untuk mendapatkan campuran yang homogen. Penggunaan MA biasanya dilakukan untuk mendapatkan proses yang homogen dan mendapatkan material dengan ukuran yang lebih halus terutama pada material yang getas. Proses dari *ball mill* dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 (a) *Fritsch Pulverisette P-5 four station ball mill.* (b) *Schematic depicting the ball motion inside the ball mill.* (c) *Ball-powder-ball collision of powder mixture during mechanical alloying* (Suryanarayana, 2001)

Proses dari MA dimulai dengan mencampur serbuk dengan berat yang diinginkan dan memasukkannya ke *mill* yang diisi bola baja. Campuran serbuk di giling dengan waktu yang diinginkan sampai kondisi stabil dicapai ketika komposisi setiap partikel serbuk sama dengan bagian-bagian unsur saat pencampuran baru dimulai. Serbuk yang telah *dimilling* lalu dikonsolidasikan kedalam sebuah wadah dan diberikan perlakuan panas untuk mendapatkan sifat dan mikrostruktur yang diinginkan. Pada proses MA, terdapat banyak komponen penting yang berpengaruh. Komponen penting itu adalah :

a) Material Dasar

Material dasar yang digunakan pada proses MA adalah serbuk murni yang partikelnya berukuran antara 1-200 μm . Ukuran serbuk partikel tidak terlalu genting, ukuran partikel harus lebih kecil daripada bola baja. Hal ini



disebabkan karena ukuran serbuk partikel akan menurun secara eksponensial seiring berjalannya waktu selama proses MA dan besaran partikel akan mengecil menjadi beberapa mikron saja hanya setelah beberapa menit dari proses MA. Material dasar akan masuk kedalam kategori logam murni, paduan utama, bubuk *prealloyed*, dan unsur material tahan panas. Namun, dalam beberapa tahun terakhir, campuran bahan yang memiliki keduanya memiliki sifat *brittle* telah melalui proses MA dan berhasil menghasilkan paduan. Maka persyaratan untuk proses MA harus serbuk logam yang *ductile* tidak lagi diperlukan. Dengan demikian, Campuran serbuk ductile-ductile, ductile-brittle, and brittle-brittle dapat melalui proses MA untuk membuat paduan baru.

b) Tipe *mills*

Banyak tipe *milling* yang digunakan untuk memproduksi paduan serbuk. Mereka memiliki kemampuan yang berbeda dalam hal kapasitas (tabel 2.4), efisiensi proses *milling*, penambahan pengaturan untuk pendinginan, pemanasan, dan sebagainya. Beberapa contoh tipe-tipe *milling* adalah sebagai berikut :

- *Spex shaker mill*, alat yang mampu digunakan untuk proses MA dengan massa 10 sampai 20 g, biasanya cocok digunakan untuk penelitian di laboratorium.
- *Planetary ball mill*, salah satu mesin MA yang populer yang mampu melakukan proses MA dengan massa beberapa ratus gram dalam sekali proses. Dinamakan *Planetary ball mill* karena pergerakannya seperti planet. *Planetary ball mill* tersusun dari *rotating support disk*, dan mekanisme *drive* khusus sehingga mampu berputar pada sumbu atau porosnya dan menghasilkan gaya sentrifugal.
- *Attritor mills*, yaitu sebuah *ball mill* konvensional yang terdiri dari drum yang berputar horizontal yang setengahnya diisi dengan bola baja kecil. Karena bola baja berputar dan menghantam material dibagian bawah, tingkat penggilingan meningkat dengan kecepatan rotasi dan gaya sentrifugal yang bekerja pada bola baja melebihi kekuatan gravitasi



Tabel 2.4 kapasitas setiap tipe *ball mills*

Mill type	Sample weight
Mixer mills	Up to 2 x 20 g
Planetary mills	Up to 4 x 250 g
Attritors	0.5-100 kg
Uni-ball mill	Up to 4 x 2000 g

c) Variabel Proses

MA adalah proses yang rumit dan oleh karena itu optimasinya melibatkan sejumlah variabel untuk mencapai fase produk dan atau mikrostruktur. Beberapa parameter yang penting yang memberi pengaruh pada hasil akhir dari serbuk, yaitu

- *type of mills*, yaitu jenis atau tipe mesin *milling* seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.
- *milling container*, yaitu wadah tempat proses *milling* merupakan komponen penting. Hal ini dikarenakan ketika bola-bola baja menggerus permukaan wadahnya sangat mungkin material wadah akan jatuh dan mampu menjadi pengotor pada serbuk tersebut. Yang lebih bahaya adalah terjadinya reaksi kimia antara material wadah dengan serbuk. Maka dari itu pemilihan wadah sangat penting
- *milling speed*, yaitu kecepatan yang dihasilkan untuk proses *milling*. Semakin cepat putaran yang dihasilkan maka energi input yang dihasilkan juga besar. Tapi berdasarkan desain dari proses *milling*, maka terdapat batasan kecepatan. Karena di atas kecepatan kritis, bola baja akan berada di atas dan tidak akan turun sehingga tidak terjadi tumbukan
- *milling time*, yaitu waktu yang dibutuhkan selama proses *milling*. Parameter waktu ini adalah salah satu variabel yang paling penting. Apabila waktu yang digunakan terlalu lama, dikhawatirkan akan meningkatkan level kontaminasi.
- *Ball-to-powder ratio (BPR)*, yaitu perbandingan massa antara bola baja dan massa serbuk. BPR memiliki efek yang signifikan untuk mendapatkan



fase tertentu pada proses *ball mill*. BPR sendiri juga bergantung pada besaran wadah pada mesin *milling*.

- *milling atmosphere*, salah satu pengaruh dari *milling atmosphere* adalah kontaminasi pada serbuk. Pada sebagian proses diberi gas *inert* untuk menghilangkan gas pengotor. Perbedaan atmosfer atau kandungan gas yang berada pada proses *milling* mengubah fase akhir dari serbuk
- *temperature of milling*, merupakan salah satu variabel yang paling penting pada proses *ball mill*. Krena proses difusi terlibat didalam fase paduan tidak peduli hasil akhir produk adalah *solid solution*, intermetalik, nanostruktur, atau fase amorphous, sangat mungkin bahwa temperatur saat proses *milling* akan memberi efek yang signifikan.

2.5 Kompaksi

Kompaksi adalah suatu proses pembentukan atau pemampatan terhadap serbuk murni, paduan atau campuran dari berbagai jenis serbuk sehingga mempunyai bentuk tertentu dan mempunyai kekutan yang cukup untuk mengalami proses selanjutnya. Peningkatan penekanan akan menghasilkan penurunan porositas. Ketika tekanan kompaksi dinaikkan, jumlah partikel yang mengalami deformasi plastis akan meningkat. Dengan penekanan yang cukup, seluruh partikel akan mengalami *work (strain) hardening* ketika jumlah porositas berkurang. Terdapat beberapa metode penekanan, diantaranya adalah:

a) Penekanan dingin (*cold compaction*)

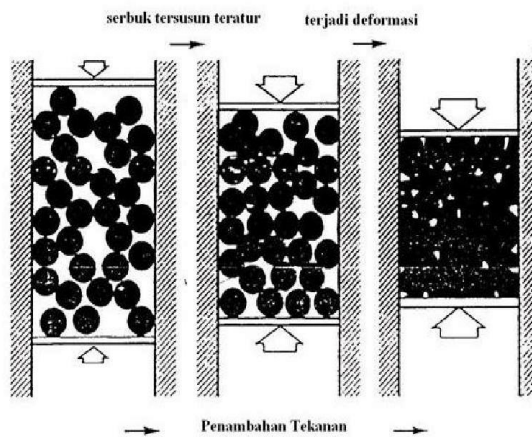
Merupakan penekanan pada temperature kamar untuk menghasilkan *green body*. Metode ini digunakan apabila bahan yang digunakan mudah teroksidasi, seperti aluminium

b) Penekanan panas (*hot compaction*)

Merupakan penekanan dengan temperature di atas temperature kamar. Metode ini digunakan apabila bahan yang digunakan tidak mudah teroksidasi.

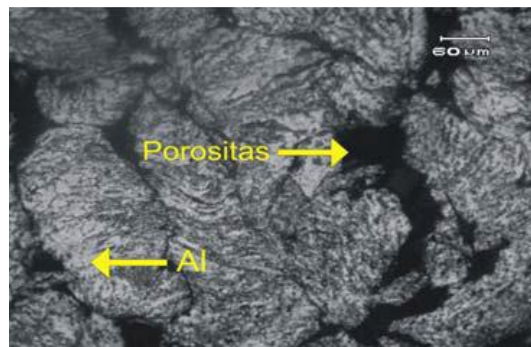
. Kompaksi dapat dilakukan melalui penekanan dingin dan penekanan panas baik dengan penekanan satu arah (*single end compaction*) ataupun penekanan dua arah (*double end compaction*). Pada penekanan satu arah, penekan bagian atas

bergerak ke bawah, sedangkan pada penekanan dua arah terdapat dua penekan, yaitu penekan atas dan penekan bawah yang bergerak secara bersamaan dengan arah berlawanan. Penekanan satu arah maupun dua arah dapat dilihat pada Gambar 2.3. Tekanan kompaksi mempengaruhi pepadatan penguat terhadap matrik pada komposit.

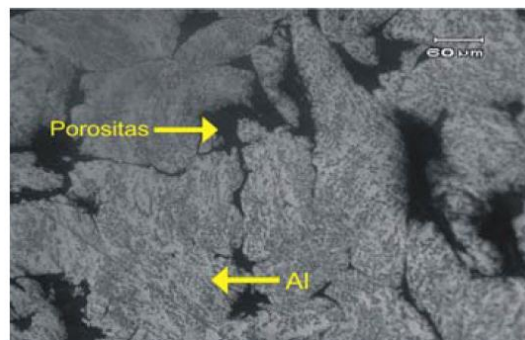


Gambar 2.3 *Double ended compaction* (German, 1984)

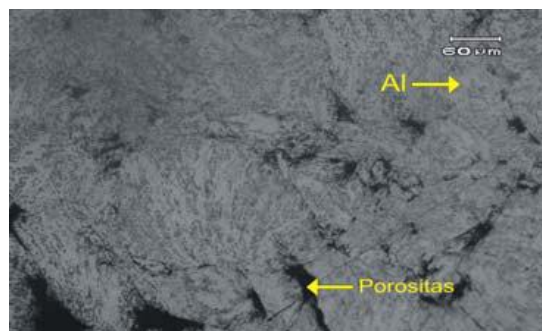
Penekanan terhadap serbuk dilakukan agar serbuk dapat menempel satu dengan lainnya sebelum ditingkatkan ikatannya dengan proses sintering. Dalam proses pembuatan suatu paduan dengan metode metalurgi serbuk, terikatnya serbuk sebagai akibat adanya interlocking antar permukaan, interaksi adhesi-kohesi, dan difusi antar permukaan. Untuk yang terakhir ini (difusi) dapat terjadi pada saat dilakukan proses sintering. Bentuk benda yang dikeluarkan dari pressing disebut bahan kompak mentah, telah menyerupai produk akhir, akan tetapi kekuatannya masih rendah. Kekuatan akhir bahan diperoleh setelah proses sintering.



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.4 Hasil mikroskopik Al pada *hot press*: a)100°C, b)200°C, c)300°C
(Rusianto, 2009)

Untuk mendapatkan proses pepadatan yang sempurna pada proses kompaksi, kompaksi dapat dilakukan pada temperatur tinggi atau dikenal dengan istilah *Hot Pressing*. Penekanan dalam keadaan panas akan menjadikan serbuk menjadi lebih lunak/plastis, sehingga memudahkan untuk dipadatkan. Untuk itu pengaruh suhu pemanasan harus dapat terkontrol agar didapat produk yang homogen. Kepadatan sangat berpengaruh sekali terhadap kekuatan dari produk



yang dihasilkan (Rusianto, 2009). Pada tekanan yang sama tapi dengan variasi temperatur saat pelaksanaan *hot press* akan terlihat perbedaan pada struktur material. Pada Gambar 2.4 menunjukkan kelebihan *hot press*. Semakin tinggi temperatur yang digunakan, membuat porositas yang terjadi pada Al menurun.

2.5.1 Sintering

Sintering adalah proses pemanasan yang dilakukan sehingga diperoleh partikel-partikel yang bergabung. Temperatur *sinter* umumnya berada pada 0,7-0,9 dari temperatur cair serbuk utama (matrik). Pada saat proses *sintering* terjadi perubahan geometris butiran di mana bentuk pori secara keseluruhan adalah konstan sedangkan ukuran dari pori berkurang. Selama *sintering* terdapat dua (*indragrowth*). Penyusutan dominan apabila pepadatan belum mencapai kejenuhan, sedangkan pada pertumbuhan butir dominan setelah pepadatan mencapai kejenuhan. Selama proses ini terbentuklah batas-batas butir, yang merupakan tahap rekristalisasi. Parameter *sintering* diantaranya adalah temperatur, waktu penahanan (*holding time*), kecepatan pendinginan, kecepatan pemanasan, dan atmosfer. Secara umum, terdapat 4 tahapan pada proses *sinter* yaitu:

- a. *Point contact* (ikatan awal partikel)
- b. *Initial stage*
- c. *Intermediate stage*

2.6 Konduktifitas Listrik

Konduktifitas listrik adalah ukuran dari seberapa baik sebuah material mengakomodasi pergerakan dari muatan listrik. Konduktifitas listrik bisa disebut juga rasio kerapatan arus dengan kekuatan medan listrik. Konduktifitas listrik menggunakan satuan SI, yaitu Siemens per meter, tetapi nilai dari konduktifitas sering menggunakan persen IACS sebagai satuannya. IACS adalah singkatan dari *Internasional Annealed Copper Standard*, yang didirikan oleh 1.913 Komisi Elektrokimia Internasional. Konduktifitas dari tembaga yang didinginkan ($5,8001 \times 10^7$ S/m) didefinisikan sebagai 100% IACS pada 20°C. Semua nilai konduktifitas pada material yang lainnya terhubung kembali terhadap



konduktifitas tembaga yang didinginkan. Oleh karena itu, besi dengan nilai konduktifitas $1,04 \times 10^7$ S/m, memiliki konduktifitas sekitar 18% dari yang dari tembaga yang didinginkan dan ini nilainya biasa disebutkan sebagai 18% IACS. Yang menjadi catatan menarik adalah bahwa produk tembaga murni yang dikomersialkan sekarang sering memiliki nilai konduktifitas %IACS yang lebih besar dari 100% IACS. Hal ini dikarenakan teknik pengolahan telah meningkat sejak standar adopsi pada tahun 1913 dan lebih banyak pengotor yang dapat dihapus dari logam.

Nilai konduktifitas pada Siemens / meter dapat dikonversikan ke %IACS dengan mengalikan nilai konduktifitas terhadap $1,7241 \times 10^{-6}$. Ketika nilai-nilai konduktifitas diketahui dalam microSiemens / sentimeter, nilai konduktifitas dikalikan dengan 172,41 untuk mengkonversikan ke nilai %IACS. Konduktifitas listrik merupakan sifat material yang sangat berguna dikarenakan nilai tersebut dipengaruhi oleh hal-hal seperti komposisi zat kimia dan kondisi tegangan pada struktur kristal. Maka dari itu, informasi tentang konduktifitas listrik dapat digunakan untuk mengukur kemurnian air, pemilihan bahan, pemeriksaan perlakuan panas yang tepat terhadap logam, dan inspeksi kerusakan akibat panas pada material.

2.6.1 Resistansi Listrik

Resistansi listrik adalah kebalikan dari konduktifitas listrik. Ini adalah oposisi dari tubuh atau zat terhadap aliran dari arus listrik yang melaluinya, yang mengakibatkan perubahan energi listrik menjadi panas, cahaya, atau bentuk lain dari energi. Jumlah hambatan tergantung pada jenis material. Material dengan resistansi yang rendah adalah konduktor listrik yang baik dan bahan dengan resistansi yang tinggi adalah isolator yang baik. Satuan SI untuk tahanan listrik adalah ohm meter. Nilai resistansi lebih sering dikatakan dalam sentimeter ohm unit mikro. Perhitungan umum resistivity dijelaskan pada perhitungan 2.9

$$\rho = R \frac{A}{L} \quad (2.9)$$



Dimana:

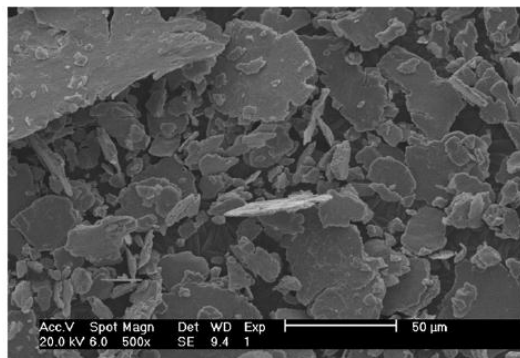
- ρ = resistivity (ohm.m)
R = Resistansi (ohm)
A = Luas (m^2)
P = Panjang (m)

Seperti yang telah disebutkan, nilai resistansi hanya kebalikan dari konduktifitas sehingga konversi antara keduanya bisa dilakukan. Nilai tahanan dalam sentimeter microhm unit dapat dikonversi ke% IACS nilai konduktifitas dengan rumus berikut:

$$172.41 / \text{resistivity} = \% \text{ IACS} \quad (2.10)$$

2.7 Penelitian Sebelumnya

Indranil (2009) melakukan penelitian dengan menggunakan paduan Cu-Cr yang berbeda dengan proses kompaksi yang berbeda. Pada penelitian ini digunakan 4 variasi komposisi CuCr, yaitu $Cu_{0.90}Cr_{0.10}$, $Cu_{0.75}Cr_{0.25}$, $Cu_{0.60}Cr_{0.40}$, $Cu_{0.50}Cr_{0.50}$. Kemudian terdapat 3 proses kompaksi yang berbeda yaitu *uni-axial cold compaction*, *explosive compaction*, dan *uni axial cold compaction* dengan Cu sebagai *coating*. Variabel lain yang digunakan adalah nilai BPR, jumlah dan jumlah bola pada saat *milling*, tekanan saat kompaksi, temperature dan waktu sintering.



Gambar 2.5 SEM dari $Cu_{0.90}Cr_{0.10}$ setelah proses milling 150 jam (Indranil, 2009)



Pada proses tersebut mampu membuat nanokristalit yang paling bagus. Tekanan yang paling optimal pada proses kompaksi adalah 1 GPa yang mampu menghasilkan *green density* mencapai 70% dari nilai teori densitas. Pada pengujian SEM (Gambar 2.3) menunjukkan adanya kekasaran (>100nm) dan juga kristalit yang baik (<40nm), namun secara keseluruhan semua sampel menunjukkan tingkat homogenitas yang bagus dan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya unsur kromium di dalam paduan.

Tabel 2.5 Perbandingan sifat material Cu-Cr standard industri dengan Cu-Cr produk *explosive compaction* dan *uni-axial compaction* dengan pelapisan Cu (Indranil, 2009)

Sifat	Standard Industri		Explosive Compaction		uni-axial compaction dengan pelapisan Cu	
	Cu- 10%Cr	Cu- 50%Cr	Cu- 10%Cr	Cu- 50%Cr	Cu-10%Cr	Cu- 50%Cr
Densitas (%)	95	96	98.5	98.9	99.1	99.2
<i>Hardness</i> (VHN)	100	120	119	130	104	122
Konduktifitas % IACS	55	30	69.7	33.6	84.5	36.9

Dari ketiga proses kompaksi yang dilakukan, dua tipe kompaksi yaitu *explosive compaction* dan *uni-axial cold compaction* dengan pelapisan Cu memiliki hasil yang lebih baik daripada *uni-axial cold compaction*. Kedua metode tersebut juga bisa digunakan untuk produksi massal karena penggunaan energi yang efisien saat sintering yaitu hanya 1173°K sedangkan standard untuk industri adalah 1473°K. Perbandingan hasil kedua proses kompaksi dengan standard perusahaan dapat dilihat pada Tabel 2.5. Dan untuk Standard industri diperlihatkan pada tabel 2.6

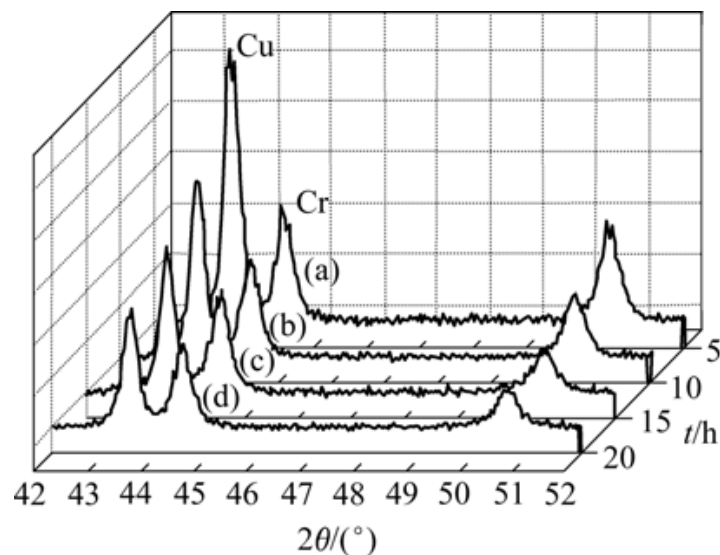
Tabel 2.6 Standard industri untuk *circuit breaker*

Sifat	Cu90Cr10	Cu80Cr20	Cu70Cr30	Cu60Cr40	Cu50Cr50
Densitas (%)	95	95,25	95,5	95,75	96
Kekerasan (VHN)	100	105	110	115	120
Konduktifitas (% IACS)	55	48,75	42,5	36,25	30



Zheng (2009) melakukan penelitian tentang komposit Cu dan Cr dan perbandingan komposisi Cu dan Cr yang digunakan adalah 1:1 dan dicampur menggunakan metode *planetary ball mill*. Variabel yang digunakan pada *planetary ball mill* adalah waktu *milling*. Terdapat 4 waktu yang digunakan untuk proses *milling*, yaitu 5, 10, 15, dan 20 jam. Zheng menggunakan metode *explosive compaction* dengan tekanan detonasi mencapai 2 Gpa pada waktu *microsecond* yang menyebabkan butiran kristal tidak sempat untuk membesar. Kecepatan *thermal quench* pada saat *explosive compaction* mencapai 109 °C/s. Temperatur *sintering* yang digunakan mencapai 800°C selama 1 jam, kemudian *sintering* yang kedua dengan temperature 800°C selama 0,5 jam.

Pada Gambar 2.6 ditunjukkan hasil XRD dari material CuCr. Gambar XRD menunjukkan bahwa lebar dari puncak difraksi meningkat seiring dengan meningkatnya waktu *milling*. Berdasarkan formula Scherrer, *grain size* dapat dihitung dari kurva XRD. Luas dan melemahnya puncak difraksi mengindikasikan bahwa keefektifan CuCr menurun setelah proses *milling* selama 20 jam.



Gambar 2.6 XRD dari serbuk Cu-Cr setelah *milling* (Zheng, 2009)

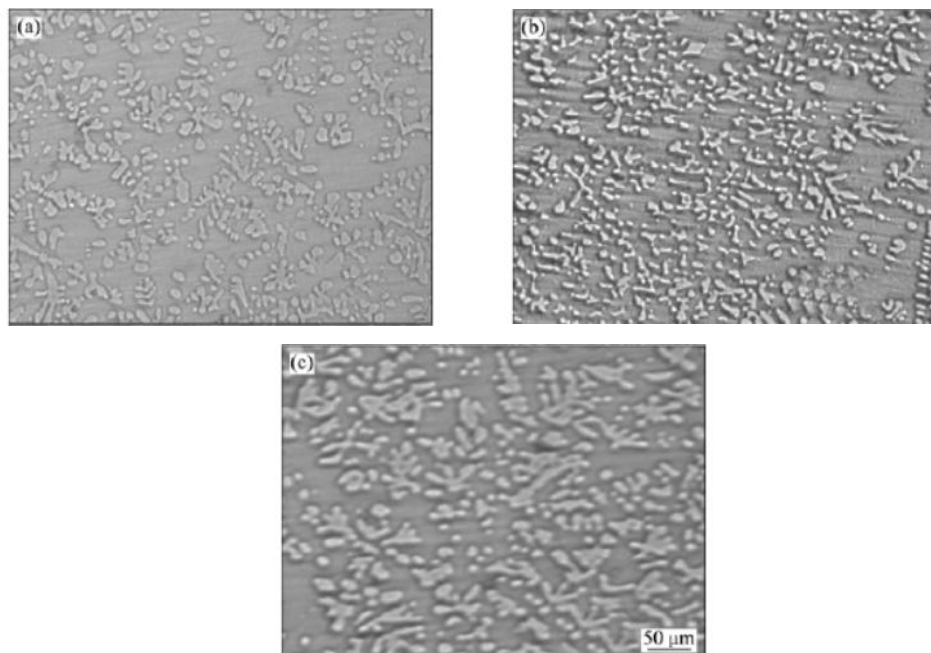
Dengan bertambahnya waktu *milling*, *grain size* menurun setelah proses selama 20 jam namun kekerasan dan densitas semakin meningkat. Hal tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.7.



Tabel 2.7 *Density* dan *Hardness* Cu-Cr setelah *milling* (Zheng,2009)

Milling time/h	Density (g.cm ⁻³)	Relative density (%)	Hardness (VHN)
5	7.424	93.19	128
10	7.469	93.67	178
15	7.655	96.10	197
20	7.695	96.60	217

Penelitian yang dilakukan oleh Xhin pada 2011 menggunakan paduan CuCr dengan konten yang berbeda-beda dan menggunakan proses casting. *Raw material* yang dipersiapkan memiliki rasio Cu dan Cr 75:25, 70:30 dan 60:40. Setelah semua material meleleh dan ditahan selama waktu tertentu untuk menjaga panas, cairan lelehan material dituangkan ke cetakan tembaga dan menjadi solid secara cepat. Kemudian ditambahkan ingot.



Gambar 2.7 Hasil OM dari : (a) CuCr25 alloy; (b) CuCr30 alloy; (c) CuCr40
(Xhin, 2011)

Xhin menggunakan pengujian *Optical Microscope* untuk meneliti mikrostruktur dari CuCr. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.7. Pada Gambar OM tersebut pada semua Gambar masih banyak terdapat dendrit.

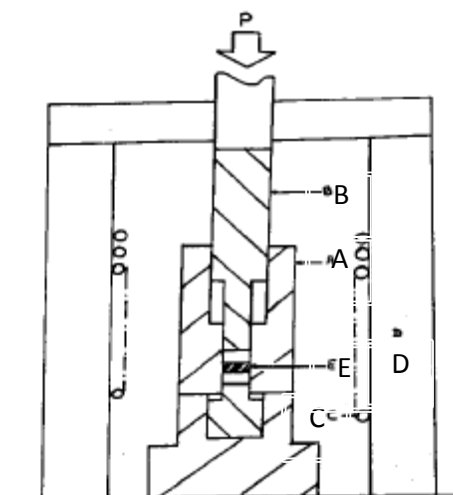


Physical dan *mechanical properties* dari material CuCr pada Tabel 2.8. Dengan meningkatnya konten Cr, konduktivitas listrik dan densitas menurun sedikit dan kekerasan meningkat.

Tabel 2.8 Sifat fisik dan mekanik paduan Cu-Cr (Xhin, 2011)

Material	Electrical conductivity (S.m ⁻¹)	Density (g.cm ⁻³)	Hardness (N.mm ⁻²)
CuCr25	30.6x10 ⁶	8.41	83.9
CuCr30	28.0x10 ⁶	8.27	89.7
CuCr31	23.8x10 ⁶	8.16	97.2

Elkedim (1998) melakukan penelitian tentang nanokristalin Cu murni dengan proses *cold compaction* pada temperatur 20°C dan *hot compaction* pada temperatur 200°C (gambar 2.8) dan tekanan sebesar 2 GPa. 10 gram material Cu di *milling* dengan kapasitas *chamber* 45ml, setiap *chamber* diisi dengan 4 bola baja diameter 1,5 cm dengan berat 14 gr per bolanya. Densitas mengalami kenaikan seiring meningkatnya temperatur kompaksi, temperatur 20°C yaitu 96,1% relatif density dan temperatur 200°C sebesar 97,7% relatif density. Namun kekerasan menurun seiring tingginya temperatur kompaksi, pada temperatur 20°C sebesar 250 dan pada temperatur 200°C sebesar 220



Gambar 2.8 Skema *hot compaction*: A) dies, B) punch, C) Pemanas, D) Insulasi, E) Serbuk



~Halaman ini sengaja dikosongkan~



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah serbuk Cu sebagai *matrix* dan serbuk Cr sebagai *reinforced*.

1. Serbuk Cu dan Cr

Serbuk Cu produk Merck dan serbuk Cr produk Sigma Aldrich dengan kemurnian 99% dengan spesifikasi pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Spesifikasi serbuk Cu dan Cr

Material	Ar (g/mol)	Densitas (g/m ³)	Melting Temp. (°C)	Ukuran (mesh)
Cu	63.55	8.96	1083	425
Cr	118.71	7.3	1907	325

2. Pelumas

Pelumas digunakan untuk mengurangi gesekan yang terjadi antar serbuk maupun antara serbuk dengan dinding *dies* cetakan saat dilakukan kompaksi. Pelumas yang digunakan adalah *Zinc Stearat* produk Sigma-Aldrich dengan spesifikasi sebagai berikut:

Densitas : 1,09 g/cm³

Temperatur *melting* : 130°C

3. Pelarut Polar

Etanol yang digunakan sebagai media pencampur polar pada pencampuran basah.

3.2 Alat

Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Spatula

Spatula digunakan untuk mengambil serbuk Cu dan Cr

2. *Beaker glass*



- Beaker glass* digunakan sebagai tempat pencampuran serbuk.
3. Masker dan sarung tangan
Masker dan sarung tangan digunakan sebagai alat pelindung diri dan untuk mengantisipasi terjadinya kontaminasi serbuk.
 4. *Dies* dan *heat band*
Dies sebagai cetakan untuk menghasilkan bentuk material saat proses kompaksi dililit dengan elemen pemanas.
 5. *Hot plate stirrer* dan *magnetic stirrer*
Hot plate stirrer dan *magnetic stirrer* digunakan pada saat proses pencampuran serbuk Cu dan Cr.
 6. Jangka sorong
Jangka sorong digunakan untuk mengukur dimensi dari material komposit Cu-Cr setelah dikompaksi.
 7. *Combustion Boat*
Digunakan untuk wadah spesimen ketika proses sintering.
 8. Neraca digital
Neraca digital merk Metler Toledo digunakan untuk menimbang massa serbuk Cu dan Cr serta sampel setelah proses sintering dan juga untuk menghitung densitas berdasarkan teori *Archimedes*.
 9. Alat kompaksi
Digunakan untuk mengkompaksi serbuk Cu-Cr yang telah dicampur sebelum dilakukan sintering.
 11. *Horizontal furnace*
Horizontal furnace dengan merk Carbolite Tube Furnace STF 16/450 digunakan untuk pemanasan pada proses sintering
 12. Alat uji tekan (*Universal Testing Machine*)
Alat uji tekan digunakan untuk mengetahui sifat mekanik dari sampel komposit Cu -Cr setelah diproduksi dengan proses metalurgi serbuk..
 13. *Inductance Capacitance Resistance (LCR-meter)*
Alat uji LCR-meter ini digunakan untuk mengukur nilai konduktivitas listrik dari sampel Cu-Cr.



14. *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Untuk mengkarakterisasi morfologi serta ukuran partikel dari material paduan Cu-Cr

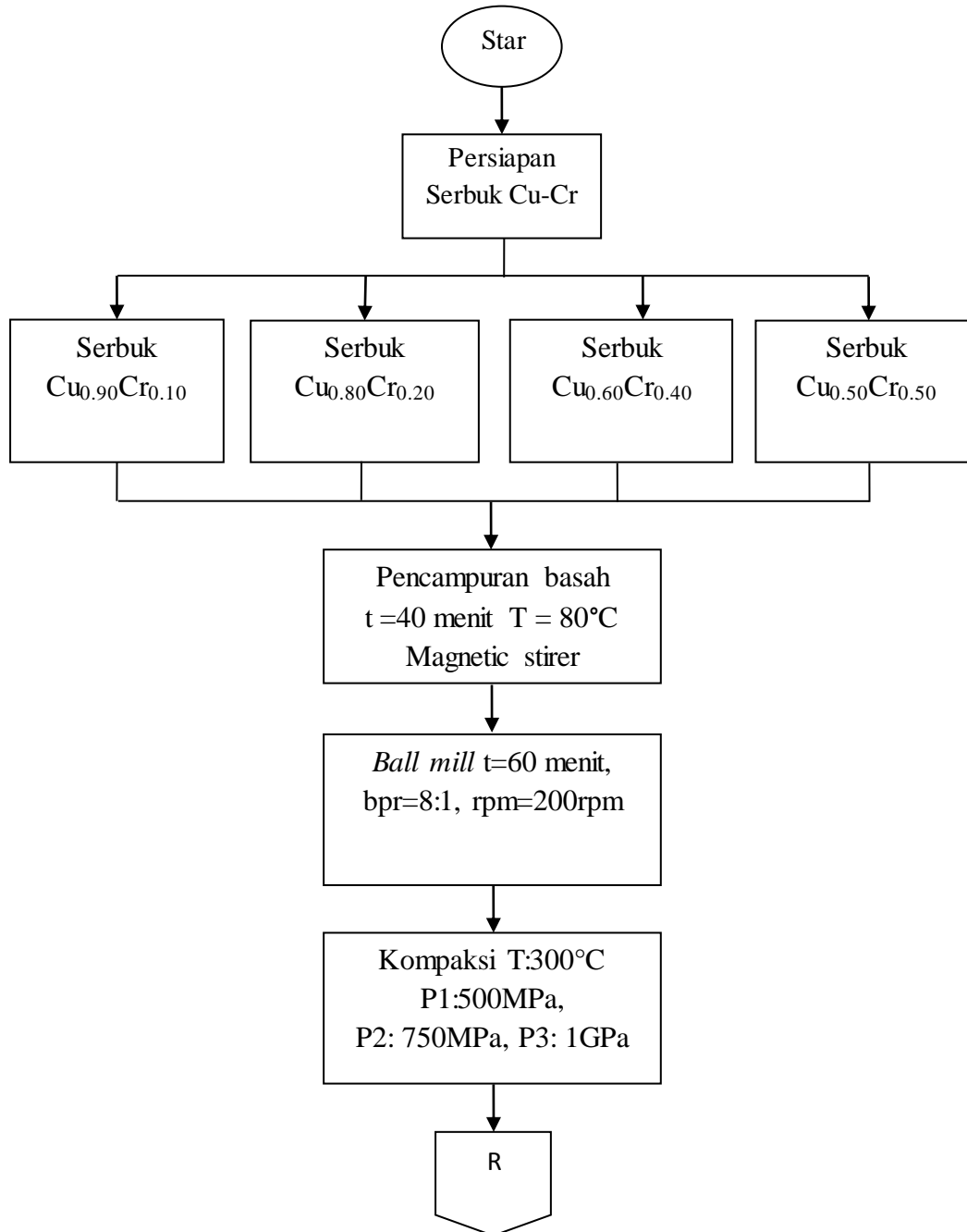
15. *X-Ray Diffraction (XRD)*

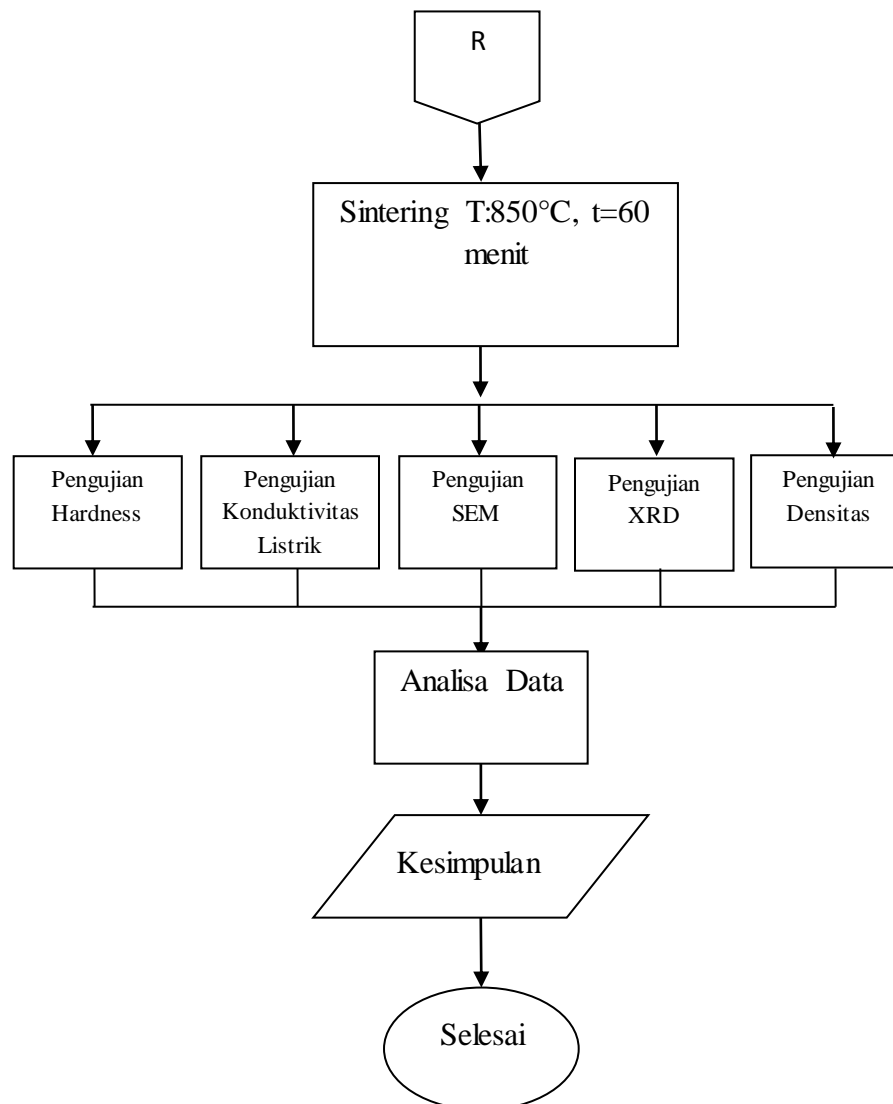
Pengujian XRD ini dilakukan untuk mengetahui senyawa/unsur (analisis kualitatif) yang terbentuk pada sampel dan untuk menentukan grain size dari Cu-Cr.



3.3 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini digunakan diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.4 Proses Percobaan

Penelitian ini memiliki beberapa tahapan percobaan yang dilakukan mulai dari persiapan spesimen sampai proses pengujian spesimen Cu-Cr.

3.4.1 Preparasi Bahan

1. Menentukan Komposisi Bahan

Pada proses ini dilakukan perhitungan fraksi berat (wt%) antara matrik dan penguat. Sampel komposit dibuat bentuk silinder pada cetakan diameter 10 mm dan tinggi 10 mm. Terdapat 4 variabel komposisi bahan pada penelitian ini yaitu



$\text{Cu}_{90}\text{Cr}_{10}$, $\text{Cu}_{80}\text{Cr}_{20}$, $\text{Cu}_{70}\text{Cr}_{30}$, dan $\text{Cu}_{60}\text{Cr}_{40}$. Perhitungan fraksi matrik dan penguat sesuai rumus (2.2 sampai 2.5) dan menggunakan neraca digital untuk menimbanginya. Komposisi yang dibutuhkan sesuai dengan *rule of mixture* (ROM) terdapat pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Komposisi komposit CuCr sesuai ROM

Tekanan (Mpa)	Komposit	Cu (gr)	Cr (gr)	Zinc Stearate (gr)
500	Cu90Cr10	6,16	0,684	0,034
	Cu80Cr20	5,349	1,337	0,033
	Cu70Cr30	4,574	1,96	0,032
	Cu60Cr40	3,835	2,557	0,031
750	Cu90Cr10	6,16	0,684	0,034
	Cu80Cr20	5,349	1,337	0,033
	Cu70Cr30	3,835	2,557	0,032
	Cu60Cr40	3,127	3,127	0,031
1000	Cu90Cr10	6,16	0,684	0,034
	Cu80Cr20	5,349	1,337	0,033
	Cu70Cr30	3,835	2,557	0,032
	Cu60Cr40	3,127	3,127	0,031

2. Wet Mixing









Melakukan proses pencampuran dengan menggunakan *hot stirrer* dengan temperature 80°C selama 60 menit dengan putaran 120 rpm. Proses ini dilakukan untuk mendapatkan campuran yang homogen. Alat yang digunakan adalah *hot stirrer*, *baker glass 250cc*, dan *spin bar 4 cm*

3. Ball Milling

Proses *ball milling* adalah proses penumbukan dengan menggunakan bola-bola baja sebagai penumbuk. Proses *ball milling* menggunakan variabel 200 rpm dan bpr 8:1 selama 1 jam. Bpr adalah perbandingan antara massa serbuk dan massa total bola baja keseluruhan. Pada proses ini jumlah bola baja yang digunakan adalah 16 buah. Tabel 3.3 menunjukkan hasil serbuk CuCr setelah proses *magnetic stirrer* dan *ball milling*.



Tabel 3.3 Serbuk Cu-Cr setelah *magnetic stirrer* dan proses *ball milling*

Serbuk	<i>Magnetic Stirrer</i>	<i>Ball Milling</i>
Cu90Cr10		
Cu80Cr20		
Cu70Cr30		
Cu60Cr40		

3.4.2 Kompaksi

1. Proses *Hot Compaction*

Proses *Hot Compaction* adalah proses kompaksi yang diberikan pemanasan dari luar. Serbuk dimasukkan kedalam *dies* dan dipanaskan sampai temperature 300°C menggunakan *heat band* lalu ditekan dengan tekanan 500, 750, dan 1000 Mpa. Alat-alat pada kompaksi ini adalah:

- *Dies* dengan diameter 90 mm dan diberi lubang ditengan dengan diameter 10 mm



- *Punch*
- *Holder*
- *Heat band* yang mampu memanaskan sampai temperatur 700°C
- Alat kompaksi

2. Pengujian *Green Density*

Green density adalah nilai densitas dari spesimen setelah dikompaksi. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh tekanan terhadap nilai densitas. Tahapan pengujian densitas berdasarkan prinsip *Archimedes* (Lestari,2008) adalah sebagai berikut:

- Menyiapkan sampel untuk di uji nilai densitasnya. Ketika mendapatkan nilai densitas, maka akan mendapatkan nilai porositas
- Menyiapkan neraca digital, *baker glass* dan benang
- Menimbang massa kering sampel
- Menimbang massa basah, yaitu dengan cara mencelupkan sampel kedalam baker glas yang telah diisi air pada posisi ditengah
- Menghitung volume sampel dengan perhitungan sebagai berikut:

$$V = \frac{W}{D} \quad (3.1)$$

Dimana:

V = volume sampel (cm³)

W = berat sampel dalam air (gram)

D = densitas air (gram/ cm³)

- Menghitung *green density* sampel dengan rumus sebagai berikut:

$$D_B = \frac{W_D}{V} \quad (3.2)$$

Dimana:

D_B = densitas sampel (gram/cm³)

W_D = berat kering sampel (gram) Type equation here.

V = volume sampel (cm³)

- Menghitung porositas sampel hasil percobaan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :



$$\%Porositas = \frac{D_{teoritis} - D_{percobaan}}{D_{teoritis}} \quad (3.3)$$

3.4.3 Sintering

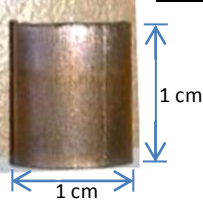







1. Proses Sintering

Proses sintering dilakukan didalam *horizontal furnace*. Sampel diletakkan di *combustion boat*, lalu dimasukkan kedalam *horizontal furnace*. Temperatur yang digunakan adalah 850°C, dan waktu tahannya adalah 60 menit dalam kondisi vakum dan dialiri gas argon. Pengambilan sampel menunggu *furnace* pada temperatur kamar








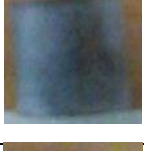




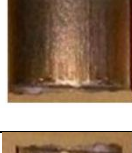
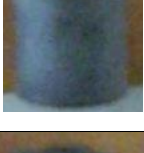


2. Pengujian *Sinter Density*

Sinter density adalah nilai densitas dari spesimen setelah proses sintering. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh tekanan terhadap nilai densitas setelah proses sintering. Tahapan pengujian densitas berdasarkan prinsip *Archimedes* sama seperti pengukuran *green density*. Perbandingan secara visual hasil *hot compaction* dan setelah sintering terdapat pada Tabel 3.4.
 setelah kompaksi dan pellet setelah sintering

Tabel 3.4 Hasil sampel setelah *hot compaction* dan sampel setelah sintering

Sampel Komposit	Kompaksi	Setelah Sintering
Cu90Cr10 (500 MPa)		
Cu90Cr10 (750 MPa)		
Cu90Cr10 (1000 MPa)		
Cu80Cr20 (500 MPa)		



Cu80Cr20 (750 MPa)		
Cu80Cr20 (1000 MPa)		
Cu70Cr30 (500 MPa)		
Cu70Cr30 (750 MPa)		
Cu70Cr30 (1000 MPa)		
Cu60Cr40 (500 MPa)		
Cu60Cr40 (750 MPa)		
Cu60Cr40 (1000 MPa)		

3.4.4 Pengujian Karakterisasi

1. Hardness Vickers

Prinsip dasar pengujian ini sama dengan pengujian brinell, hanya saja di sini digunakan indentor intan yang berbentuk piramid beratas bujur sangkar dan sudut puncak antara dua sisi berhadapan 136°. Hasil tekannya tentu akan berbentuk



bujur sangkar, dan yang diukur adalah panjang kedua diagonalnya lalu diambil rata-ratanya. Angka kekerasan Vickers dihitung dengan:

$$HV = 1,8554 \frac{F}{d^2} \quad (3.4)$$

Dimana:

HV = Angka kekerasan Vickers (kgf/mm²)

F = Beban yang diberikan (kgf)

d = Panjang diagonal indentasi (mm²)

Hasil pengujian kekerasan vickers ini tidak tergantung pada besarnya gaya tekan (tidak seperti Brinell), dengan gaya tekan yang berbeda akan menunjukkan hasil yang sama untuk bahan yang sama. Besarnya gaya tekan yang digunakan dapat dipilih antara 1 sampai dengan 120 kg, tergantung pada kekerasan/ketebalan bahan yang diuji agar diperoleh tapak tekan yang mudah diukur dan tidak ada *anvil effect* (pada benda yang tipis). (Suherman, 1987). Langkah pengujian kekerasan yang dilakukan sebagai berikut :

- 1) Permukaan sampel yang akan diuji kekerasaanya harus rata, oleh karena itu dilakukan *hand grinding* menggunakan kertas amplas dengan grid 400, 600, dan 1000.
- 2) Melakukan pengaturan beban yang akan diberikan saat terjadi indentasi
- 3) Menekan tombol start untuk memulai pengujian
- 4) Jejak indentasi diukur dengan cara menggerakkan garis pengukur yang dilihat menggunakan komputer yang telah terhubung pada alat uji *hardness*
- 5) Nilai kekerasan dan diagonal indentasi yang berbentuk belah ketupat sudah dapat ditampilkan.



Gambar 3.2 Alat Uji *Hardness Vickers*



2. Pengujian *Inductance Capacitance Resistance* (LCR-meter)

Peralatan *Inductance Capacitance Resistance* (LCM-meter) merek HIOKI ditunjukkan pada Gambar 3.12.



Gambar 3.3 *Inductance Capacitance Resistance* (LCR-meter)

Dengan demikian karakterisasi sifat konduktivitas listrik bertujuan untuk mengetahui karakteristik *conductivity* (σ), *capacitance* (C), *inductance* (L), *resistance* (R) dan *impedance* (Z) bahan. Sampel untuk pengukuran konduktivitas bertujuan untuk mendapatkan nilai %IACS.

3 Pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*)

Pengamatan dengan menggunakan XRD bertujuan untuk mengidentifikasi unsur atau senyawa yang terbentuk, penentuan komposisi, penentuan struktur kristal, dan lain-lain. Data hasil pengujian ini berupa grafik puncak intensitas terhadap sudut 2 theta (2θ). Alat XRD X'Pert PRO PANalytical yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.4. Tahapan untuk melakukan pengujian ini sebagai berikut :

Tahapan untuk melakukan pengujian ini sebagai berikut :

1. Serbuk sampel diletakkan pada holder, dan ditekan agar kompak. Supaya penembakan dengan XRD sesuai dengan yang diharapkan, oleh karena itu preparasi spesimen harus memiliki permukaan rata pada holder.
2. Holder diletakkan ke dalam mesin XRD. Setting pengukuran sudut dilakukan dengan rentang 10-90°.
3. Data tampil pada layar komputer berupa grafik horizontal dengan puncak-puncak grafik pada sudut tertentu.



Ukuran kristal dapat dihitung dengan menggunakan hasil XRD dapat menggunakan persamaan Scherrer, sebagai berikut :

$$d = \frac{K\lambda}{\beta (\cos \theta)} \quad (3.5)$$

Dimana λ merupakan panjang gelombang ($1,54 \text{ \AA}$) yang digunakan saat pengujian XRD, β merupakan stengah lebar dari puncak tertinggi (FWHM) pada hasil grafik XRD, θ adalah sudut Bragg, dan K merupakan konstantas K yaitu 0,9.

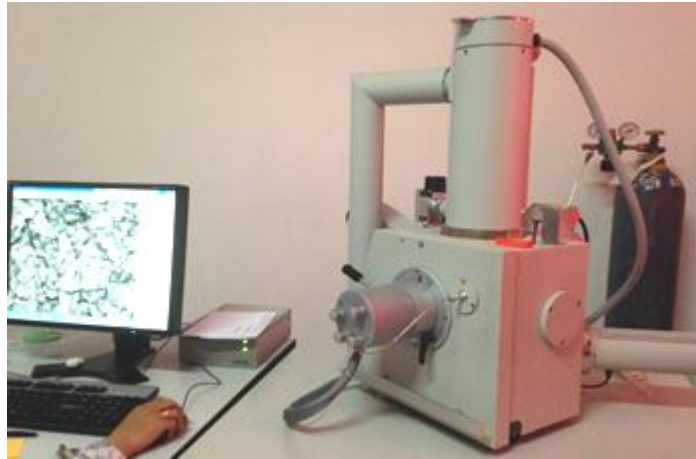


. **Gambar 3.4** X-Ray Diffraction (XRD)

4. Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Pengujian morfologi struktur permukaan dari sampel pada penelitian ini menggunakan alat SEM FEI S50 seperti pada Gambar 3.5 dengan pembesaran maksimum sebesar 20000 kali. Langkah – langkah dari pengujian SEM ini adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan sampel uji yang akan di SEM, termasuk memotong sampel uji.
2. Membersihkan permukaan sampel uji
3. Meletakkan sampel uji pada *holder* dengan menempelkan karbon tipe terlebih dahulu sebagai perekat.
4. Memasukkan sampel uji kedalam mesin SEM
5. Hasil yang diperoleh akan ditampilkan di layar komputer.



Gambar 3.5 *Scanning Electron Microscope (SEM)*



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

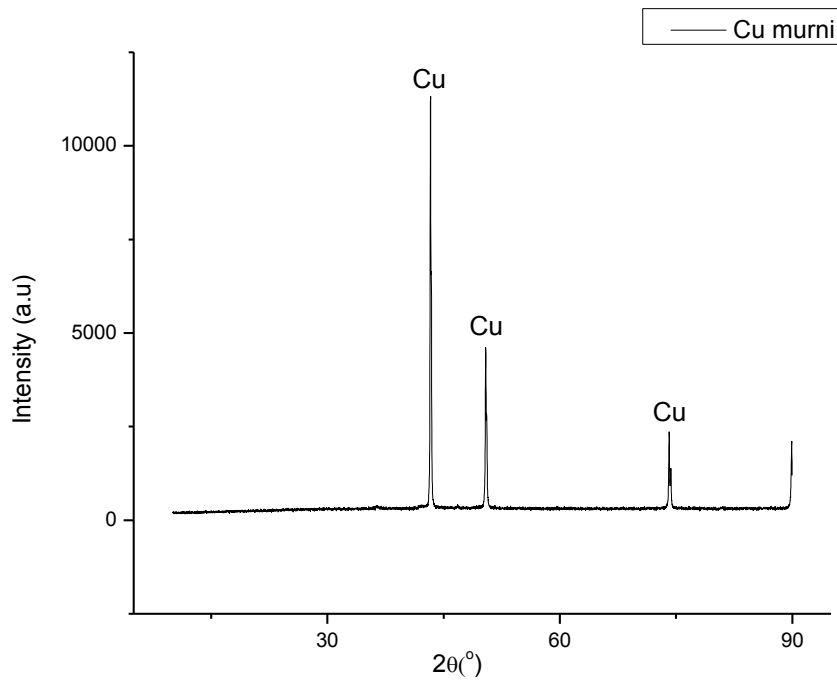
4.1 Analisa Karakterisasi Komposit CuCr

4.1.1 Analisa XRD

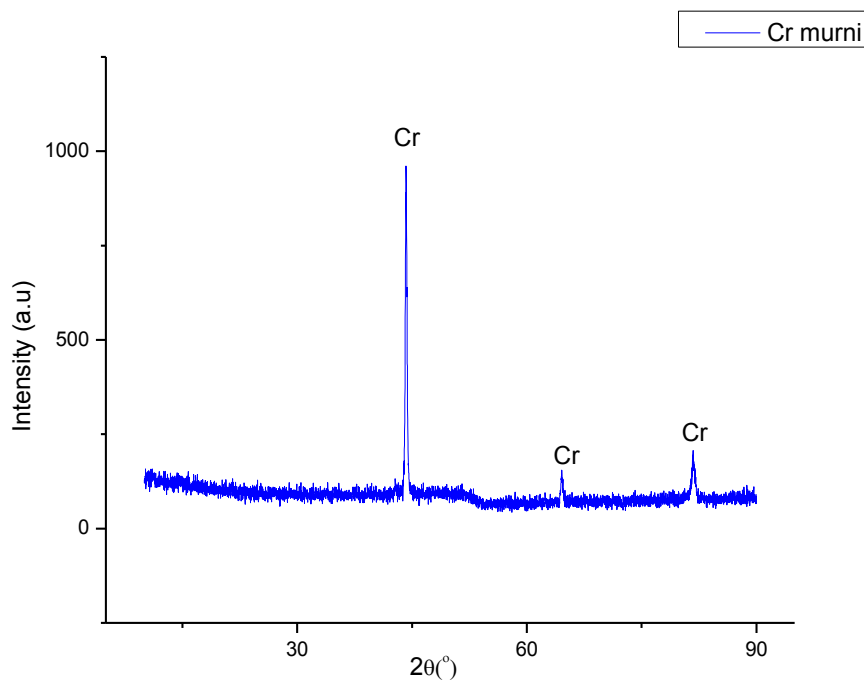
Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui fasa yang terbentuk dan mengetahui ukuran kristal dengan menggunakan *Scherer Formula*. Dengan mengetahui fasa dan ukuran kristal yang terbentuk, dapat dihubungkan dengan pengaruh fraksi massa Cr dan tekanan kompaksi terhadap karakterisasi material. Pada penelitian ini dilakukan pengujian XRD pada 12 sampel yang berbeda yaitu Cu90Cr10, Cu80Cr20, Cu70Cr30, Cu60Cr40 dan tekanan kompaksi 500 MPa, 750 MPa, dan 1000 MPa. Identifikasi fasa hasil pengujian XRD pada penelitian ini menggunakan software *Highscore*.

Langkah awal sebelum melakukan percobaan adalah melakukan karakterisasi bahan yaitu serbuk Cu dan Cr. Pada penelitian ini serbuk Cu sebagai matrik dan serbuk Cr adalah sebagai penguat. Karakterisasi serbuk Cu dan Cr menggunakan pengujian XRD. Analisa XRD untuk mengetahui kemurnian serbuk ukuran kristal, dan indeks miller Cu dan Cr.

Hasil pengujian XRD serbuk tembaga ditunjukkan pada Gambar 4.1. Dari gambar terlihat adalah fasa Cu. Hasil ini didapatkan dengan cara mencocokkan *peak* atau puncak yang dihasilkan oleh alat XRD dengan data PDF Card. PDF Card yang digunakan pada identifikasi ini adalah PDF Card bernomor 03-065-9026 . Dari Gambar 4.1 terlihat tidak ditemukan unsur lain yang menjadi pengotor , dapat disimpulkan bahwa serbuk tersebut adalah serbuk tembaga yang memiliki kemurnian yang tinggi. Ukuran kristal Cu adalah 73,13 nm dengan indeks miller Cu adalah (111) (200) (220) (311)



Gambar 4.1 Hasil XRD serbuk Cu murni



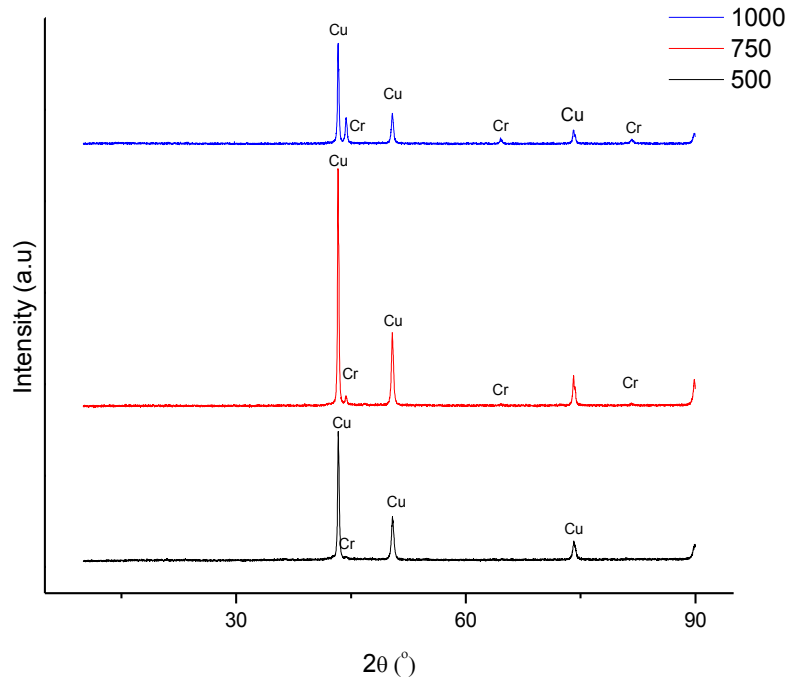
Gambar 4.2 Hasil XRD serbuk Cr murni



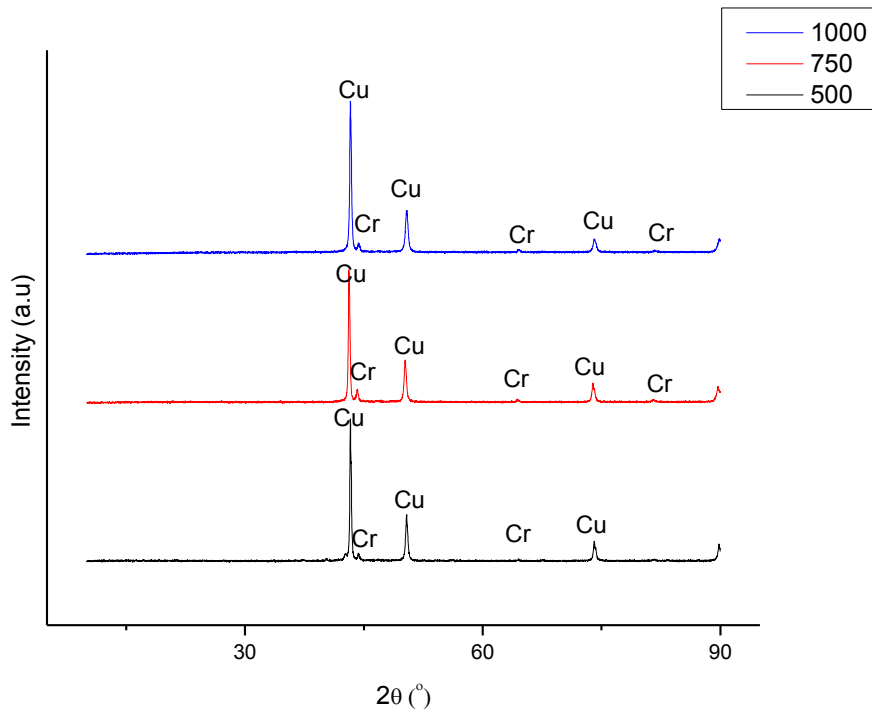
Hasil pengujian XRD serbuk kromium ditunjukkan pada Gambar 4.2. Dari gambar terlihat bahwa fasa yang diketahui adalah fasa Cr. Hasil ini didapatkan dengan cara mencocokkan peak atau puncak yang dihasilkan oleh alat XRD dengan data PDF Card. PDF Card yang digunakan pada identifikasi ini adalah PDF Card bernomor 01-077-7590. Dari Gambar 4.3 terlihat tidak ditemukan unsur lain yang menjadi pengotor, dapat disimpulkan bahwa serbuk tersebut adalah serbuk kromium yang memiliki kemurnian yang tinggi. Ukuran kristal Cr adalah 30,2 nm, dan indeks miller Cr adalah (110) (200) (211).

Pada Gambar 4.3 menunjukkan hasil XRD komposit Cu90Cr10 setelah proses sintering. Identifikasi fasa menunjukkan bahwa pada grafik XRD tidak adanya perubahan fasa. Identifikasi fasa menunjukkan puncak-puncak difraksi Cr dan Cu. Puncak difraksi Cu pada saat tekanan 500 MPa yaitu sudut $2\theta = 43.32$, pada saat tekanan 750 MPa yaitu sudut $2\theta = 43.29$, dan pada saat tekanan 1000 MPa yaitu sudut $2\theta = 43,29$. Puncak difraksi Cr pada saat tekanan 500 MPa yaitu sudut $2\theta = 44,42$, pada saat tekanan 750 MPa yaitu sudut $2\theta = 44,33$, dan pada saat tekanan 1000 Mpa yaitu sudut $2\theta = 44,35$. Peak yang ada menunjukkan peak tertinggi adalah Cu, sedangkan Cr terlihat rendah. Tidak ada senyawa lain yang terbentuk berdasarkan analisa tersebut.

Pada Gambar 4.4 menunjukkan hasil XRD komposit Cu80Cr20 setelah proses sintering. Identifikasi fasa menunjukkan bahwa pada grafik XRD tidak adanya perubahan fasa. Identifikasi fasa menunjukkan puncak-puncak difraksi Cr dan Cu. Puncak difraksi Cu pada saat tekanan 500 MPa yaitu sudut $2\theta = 43.29$, pada saat tekanan 750 MPa yaitu sudut $2\theta = 43.11$, dan pada saat tekanan 1000 MPa yaitu sudut $2\theta = 43,29$. Puncak difraksi Cr pada saat tekanan 500 MPa yaitu sudut $2\theta = 44,32$, pada saat tekanan 750 MPa yaitu sudut $2\theta = 44,15$, dan pada saat tekanan 1000 Mpa yaitu sudut $2\theta = 44,32$. Peak yang ada menunjukkan peak tertinggi adalah Cu, sedangkan Cr terlihat rendah. Tidak ada senyawa lain yang terbentuk berdasarkan analisa tersebut



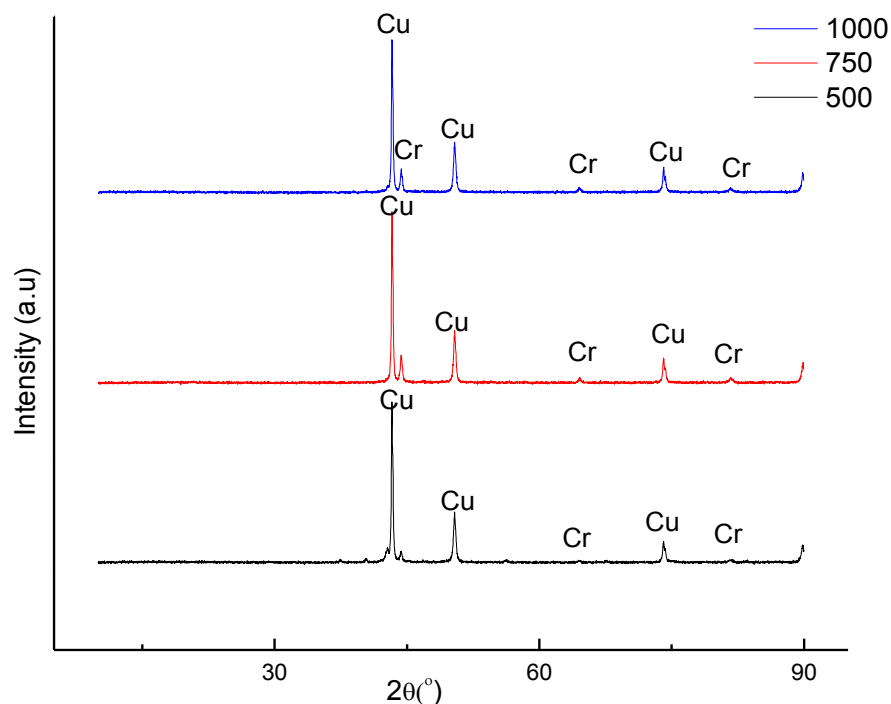
Gambar 4.3 Grafik Cu90Cr10 pada tekanan 500, 750, dan 1000 MPa



Gambar 4.4 Grafik Cu80Cr20 pada tekanan 500, 750, dan 1000 MPa



Pada Gambar 4.5 menunjukkan hasil XRD komposit Cu70Cr30 setelah proses sintering. Identifikasi fasa menunjukkan bahwa pada grafik XRD tidak adanya perubahan fasa. Identifikasi fasa menunjukkan puncak-puncak difraksi Cr dan Cu. Puncak difraksi Cu pada saat tekanan 500 MPa yaitu sudut $2\theta = 43.29$, pada saat tekanan 750 MPa yaitu sudut $2\theta = 43.11$, dan pada saat tekanan 1000 MPa yaitu sudut $2\theta = 43,29$. Puncak difraksi Cr pada saat tekanan 500 MPa yaitu sudut $2\theta = 44,31$, pada saat tekanan 750 MPa yaitu sudut $2\theta = 44,32$, dan pada saat tekanan 1000 Mpa yaitu sudut $2\theta = 44,33$. Peak yang ada menunjukkan peak tertinggi adalah Cu, sedangkan Cr terlihat rendah. Tidak ada senyawa lain yang terbentuk berdasarkan analisa tersebut.

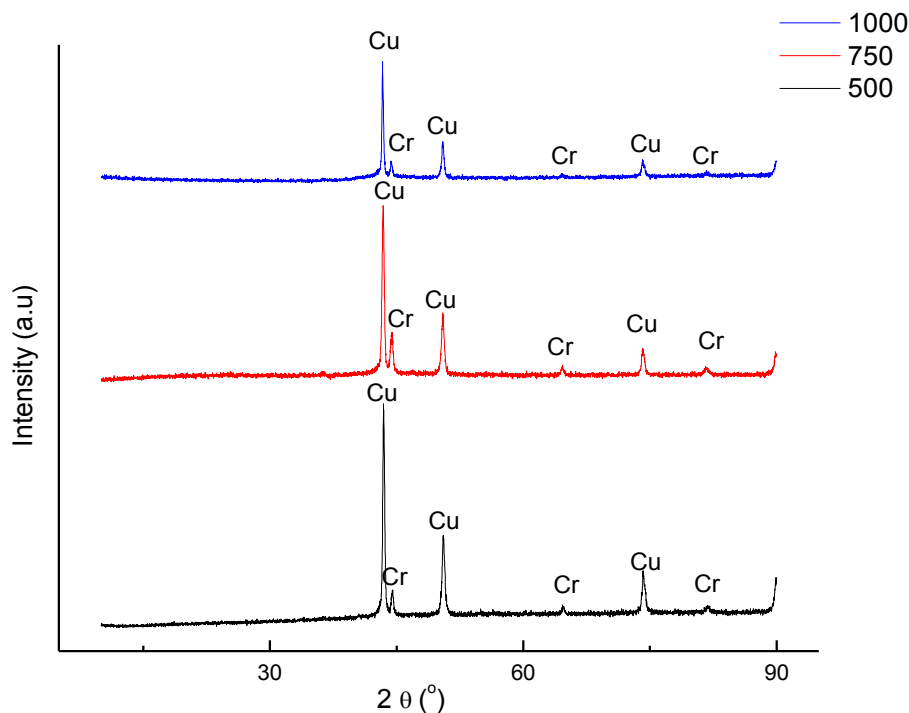


Gambar 4.5 Grafik Cu70Cr30 pada tekanan 500, 750, dan 1000 MPa

Pada Gambar 4.6 menunjukkan hasil XRD komposit Cu60Cr40 setelah proses sintering. Identifikasi fasa menunjukkan bahwa pada grafik XRD tidak adanya perubahan fasa. Identifikasi fasa menunjukkan puncak-puncak difraksi Cr



dan Cu. Puncak difraksi Cu pada saat tekanan 500 MPa yaitu sudut $2\theta = 43,44$, pada saat tekanan 750 MPa yaitu sudut $2\theta = 43,36$, dan pada saat tekanan 1000 MPa yaitu sudut $2\theta = 43,32$. Puncak difraksi Cr pada saat tekanan 500 MPa yaitu sudut $2\theta = 44,53$, pada saat tekanan 750 MPa yaitu sudut $2\theta = 44,39$, dan pada saat tekanan 1000 MPa yaitu sudut $2\theta = 44,35$. Peak yang ada menunjukkan peak tertinggi adalah Cu, sedangkan Cr terlihat rendah. Tidak ada senyawa lain yang terbentuk berdasarkan analisa tersebut.



Gambar 4.6 Data XRD Cu₆₀Cr₄₀ pada tekanan 500, 750, dan 1000 MPa

Dari hasil XRD dapat diketahui ukuran kristal Cu dan Cr dengan menggunakan data-data yang diperoleh dari *Highscore*. Data tersebut diolah menggunakan scherrer formula yaitu:

$$D = \frac{0,9\lambda}{B \cos \theta} \quad 4.1$$



Dimana :

λ = panjang gelombang (nm)

B = lebar setengah puncak FWHM (rad),

θ = sudut difraksi dibagi 2.

Hasil pengolahan data dapat dilihat pada Tabel 4.1. Ukuran kristal Cu murni adalah 73,13 nm dan serbuk Cr murni adalah 30,2 nm

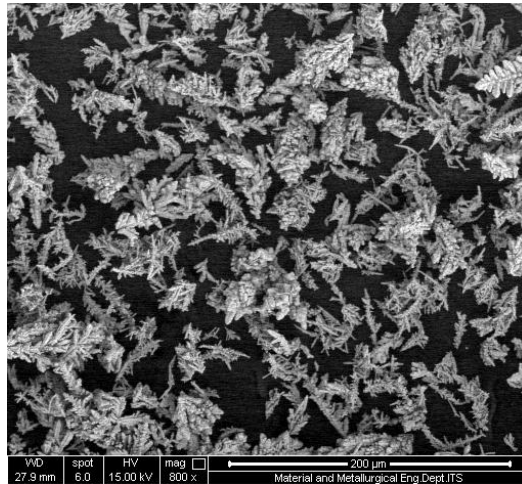
Tabel 4.1 Ukuran kristal Cu berdasarkan fraksi massa Cr dan tekanan kompaksi

Tekanan (MPa)	Ukuran Kristal (nm)							
	Cu90Cr10		Cu80Cr20		Cu70Cr30		Cu60Cr40	
	Cu	Cr	Cu	Cr	Cu	Cr	Cu	Cr
500	84	26	43	44	60	41	81	56
750	79	32	37	38	51	38	31	26
1000	71	63	34	30	48	38	48	38

Hubungan dari grafik XRD dan Tabel 4.6 di atas, dapat dianalisa bahwa secara keseluruhan puncak tertinggi adalah Cu. Sistem Kristal pada Cu adalah kubik. Penambahan fraksi Cr dan tekanan kompaksi menunjukkan ukuran kristal semakin menurun. Semakin tinggi tekanan, maka ukuran kristal akan semakin kecil kemungkinan untuk meningkat (Zheng, 2009)

4.1.2 Analisa SEM

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui persebaran dari Cr terhadap matrik Cu. Pada penelitian ini dilakukan pengujian SEM pada 9 sampel yang berbeda yaitu Cu murni, Cr murni, Cu90Cr10 dan Cu60Cr40 setelah proses *ball mill*, Cu90Cr10 pada tekanan 500 MPa dan 1000 MPa, Cu80Cr20 pada tekanan 1000MPa, Cu70Cr30 pada tekanan 500 MPa, dan Cu60Cr40 pada tekanan 1000 MPa. Pengujian SEM terhadap serbuk awal Cu dan Cr untuk mengetahui bentuk partikel awal Cu dan Cr.



Gambar 4. 7 Gambar SEM serbuk Tembaga

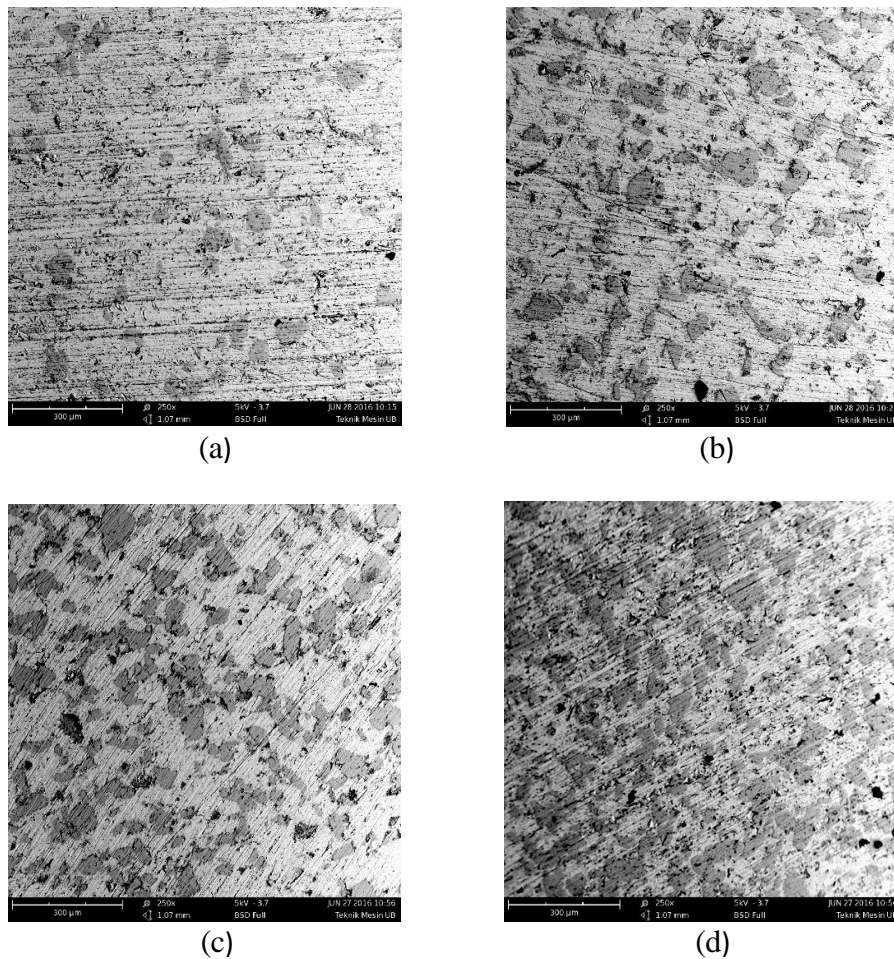
Dari Gambar 4.7 SEM diatas terlihat serbuk Cu berbentuk dendritik. Dengan kemurnian kurang lebih 99%, bentuk dendritik serbuk Cu ini akan meningkatkan kemungkinan *interlocking* antar serbuk. Peningkatan *interlocking* ini akan meningkatkan interaksi permukaan dari serbuk sehingga poros yang terbentuk akan semakin kecil (German, 1984). Sedangkan hasil serbuk SEM Cr murni dapat dilihat pada Gambar 4.8. Bentuk dari partikel Cr tidak teratur, terlihat bentuk yang bersudut tajam dan ada yang berbentuk seperti bongkahan batu.



Gambar 4.8 Hasil SEM serbuk Cr dengan kemurnian 99,95%



Analisa SEM berfungsi untuk mengetahui morfologi dan persebaran dari komposit Cu-Cr. Gambar 4.9 menunjukkan morfologi dan persebaran Cr pada matriks Cu. Pada Gambar Cr berwarna cerah, sedangkan Cu yang berwarna gelap. Berdasarkan komposisi massa Cr, persebaran Cr sudah cukup merata tapi masih adanya sedikit pengelompokkan antar serbuk penguat (agglomerasi). Terjadinya agglomerasi bisa dikarenakan saat proses pencampuran yang kurang sempurna. Namun munculnya agglomerasi ini hanya kecil sekali.

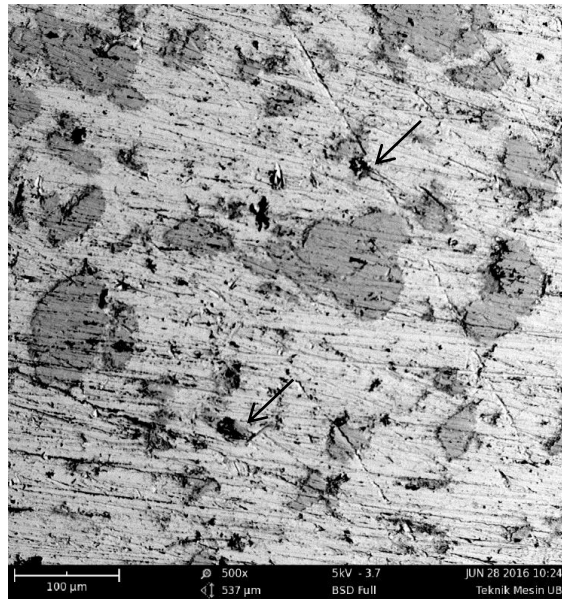


Gambar 4.9 Distribusi Cr terhadap matrik Cu : (a) Cu90Cr10 500 MPa (b) Cu80Cr20 1000 MPa (c) Cu70Cr30 500 MPa (d) Cu60Cr40 1000 MPa dengan pembesaran 250x

Adanya porositas pada komposit dapat dilihat seperti pada Gambar 4.10. Gambar 4.10 menunjukkan bahwa komposit Cu80Cr20 pada tekanan 1000 MPa

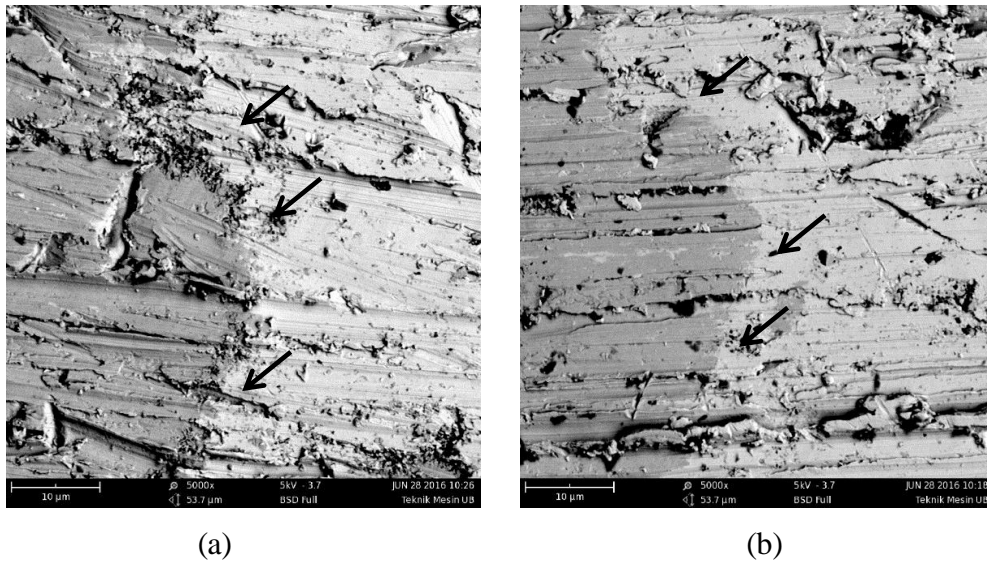


masih memiliki beberapa porositas yang ditunjukkan pada tanda panah. Hal tersebut wajar karena nilai sinter densitas dari komposit Cu80Cr20 pada tekanan 1000 MPa tidak mencapai 100% nilai teori densitas. Porositas berasal dari *lubricant* zinc stearat yang menguap saat proses *hot compaction* maupun proses sintering karena memiliki titik leleh yang rendah sehingga menyebabkan munculnya lubang (porositas).

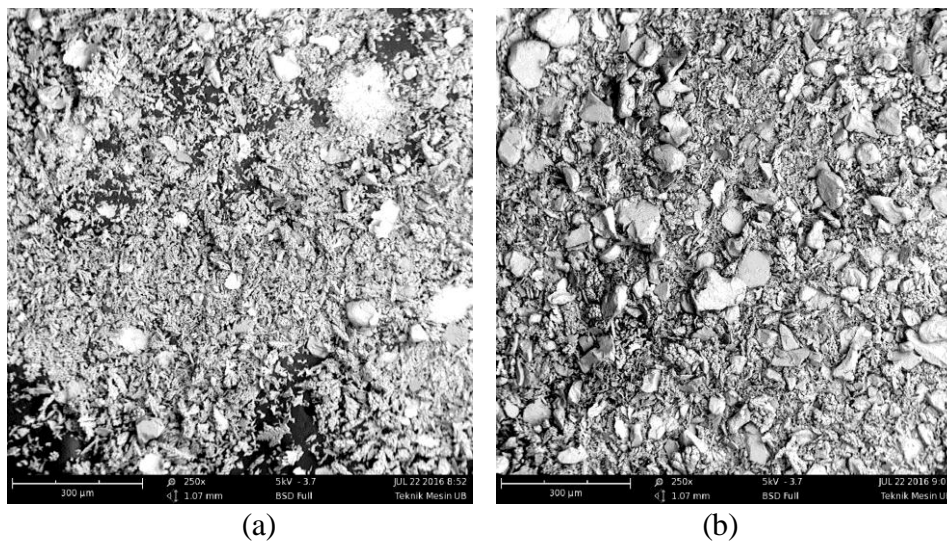


Gambar 4.10 Porositas pada Cu80Cr20 tekanan 1000 MPa dengan perbesaran 500x

Gambar 4.11 memperlihatkan perbandingan porositas yang terjadi pada Cu90Cr10 dengan tekanan 500 MPa dan 1000 MPa. Pada Gambar 4.1a menunjukkan adanya celah pada daerah batasan atau yang dikenal dengan istilah *interface* (daerah antar muka). Interface merupakan daerah yang mengidentifikasi ikatan antar matrik dan penguat setelah proses *sintering*. Penyebab adanya celah pada daerah batasan karena tidak terbentuknya antarmuka antar partikel. Sedangkan pada Gambar 4.11b menunjukkan tidak adanya celah pada daerah batasan. Perbedaan tekanan menyebabkan kualitas ikatan pada daerah batasan. Semakin tinggi tekanan, maka ikatan pada daerah batasan akan semakin bagus



Gambar 4.11 Perbedaan ikatan pada daerah batasan Cu90Cr10: (a) tekanan 500 MPa, (b) tekanan 1000 MPa, dengan perbesaran 5000x

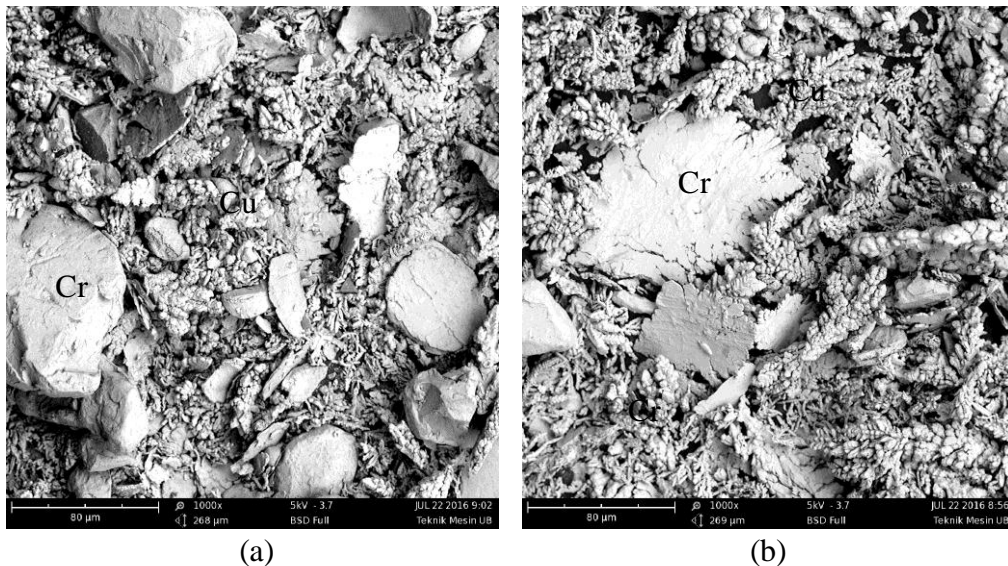


Gambar 4.12 (a) Serbuk Cu90Cr10 (b) Serbuk Cu60Cr40 setelah milling 1 jam perbesaran 250x

Berdasarkan struktur mikronya yang diamati, pada penelitian Indranil persebaran Cr terhadap matrik Cu memiliki homogenitas yang baik dan terdapat beberapa *coarse*. Proses *mechanical milling* mempengaruhi homogenitas Cr terhadap matrik Cu. Gambar 2.5 memperlihatkan homogenitas atau persebaran Cr yang homogen pada Cu90Cr10 dengan proses *mechanical milling* selama 150



jam. Sedangkan pada penelitian ini hanya 1 jam diperlihatkan pada gambar 4.12a dan b. Persebaran pada percobaan ini cukup berbeda dari hasil yang didapatkan oleh Indranil. Berdasarkan persebaran dari Cr pada matrik Cu sudah cukup homogen.



Gambar 4.13 (a) Serbuk Cu₉₀Cr₁₀ (b) Serbuk Cu₆₀Cr₄₀ perbesaran 1000x

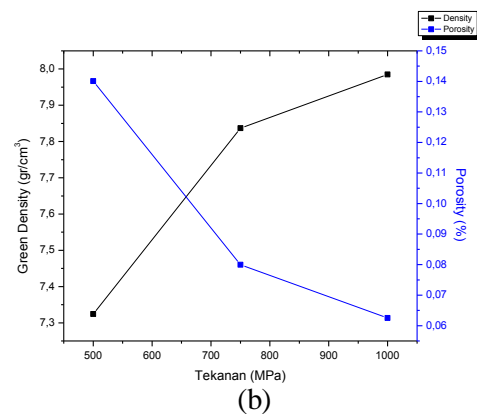
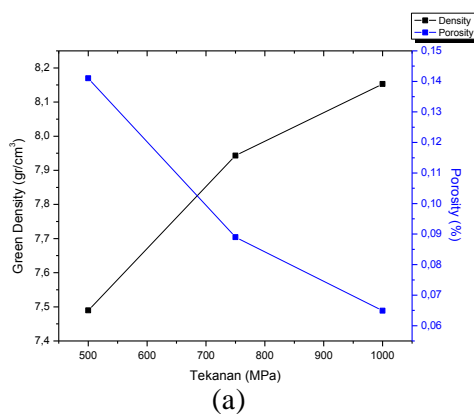
Gambar 4.13a dan b memperlihatkan kondisi partikel setelah mengalami proses *ball mill* pada perbesaran 1000x. Kondisi serbuk Cr menjadi pipih dari bentuk yang sebelumnya, namun terdapat juga serbuk Cr yang belum menjadi pipih. Hal ini dapat disimpulkan bahwa proses *milling* belum sepenuhnya merata untuk meng-*grinding* serbuk CuCr. Banyak sekali faktor yang mempengaruhi hal tersebut yaitu ukuran bola, ukuran *chamber*, dan juga kecepatan putaran. Pada Indranil disebutkan bahwa proses *milling* yang paling baik adalah pada BPR 8:1, dengan ukuran bola terkecil (15mm), dan kecepatan putaran 300 rpm. Sedangkan pada penelitian ini proses *milling* yang dilakukan dengan variabel BPR 8:1, dengan ukuran bola terkecil (15mm), dan kecepatan putaran 300 rpm

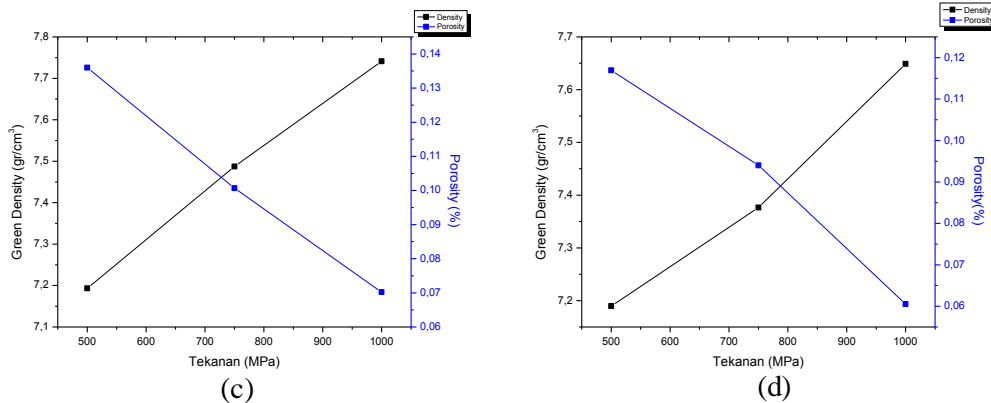


4.2 Analisa Sifat Fisik Komposit Cu-Cr

4.2.1 Hubungan tekanan, *green density*, dan porositas

Pengujian pertama yang dilakukan adalah pengujian *green density*. *Green density* adalah densitas ketika spesimen baru selesai di kompaksi tanpa dikenai perlakuan apapun. Metode yang digunakan untuk pengujian densitas adalah prinsip Archimedes. Metode ini digunakan karena terdapatnya tail sehingga spesimen tidak berbentuk silinder sempurna. Nilai densitas Cu-Cr setelah proses *hot compaction* cukup tinggi, pada tekanan 500 Mpa nilai *green density* Cu90Cr10 adalah $7,489 \text{ g/cm}^3$ atau setara dengan 85% nilai densitas teori. Sedangkan nilai *green density* untuk Cu90Cr10 pada tekanan 1000 Mpa adalah $8,153 \text{ g/cm}^3$ atau setara dengan 93% nilai densitas teori. Semakin tinggi tekanan, maka semakin tinggi nilai densitas. Seperti yang telah diduga, tekanan 1000 MPa memiliki nilai densitas yang paling tinggi diantara tekanan yang lain di setiap komposisi yang berbeda. Dengan tingginya nilai densitas, maka nilai porositas akan rendah. Hal itu terjadi karena partikel komposit Cu-Cr semakin rapat sehingga kekosongan ruang antar partikel akan mengecil. Semakin tinggi tekanan kompaksi maka semakin tinggi pula *green density* karena terjadinya *interlocking* antar partikel dan jarak partikel makin rapat. Gambar 4.14 dan Tabel 4.2 menunjukkan hubungan atau pengaruh densitas terhadap porositas. Nilai porositas berbanding terbalik dengan nilai densitas.





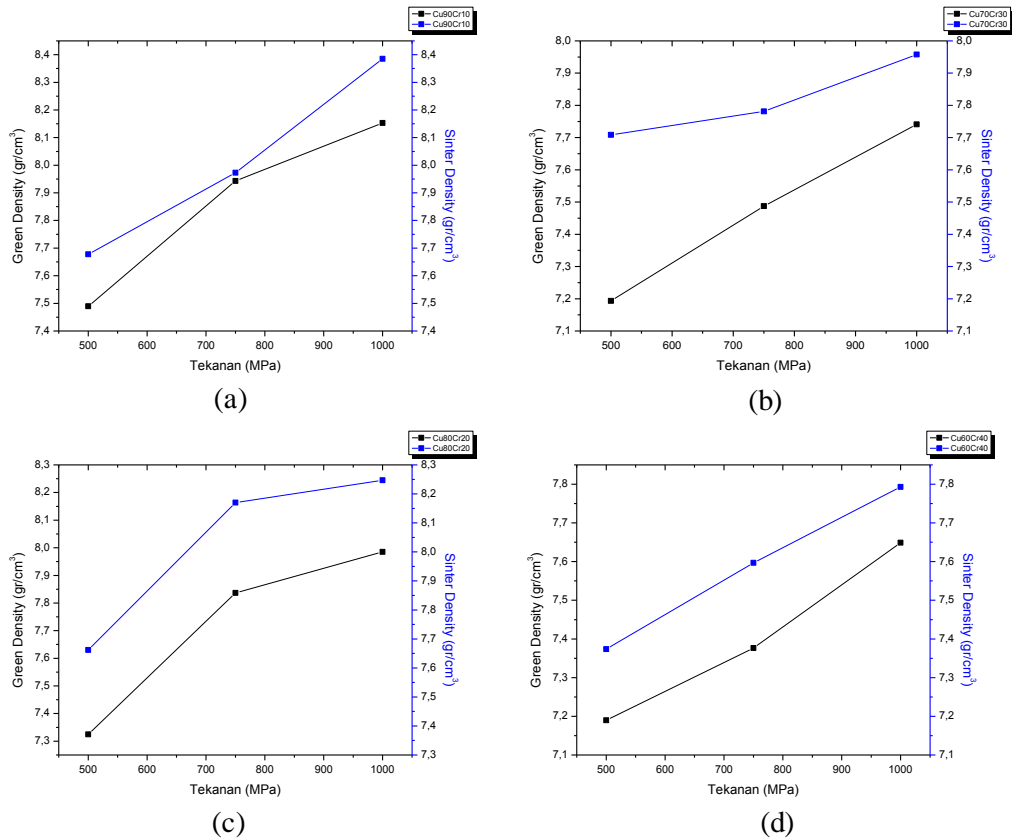
Gambar 4.14 Hubungan antara tekanan kompaksi, green density dan porositas pada komposit: a) Cu90Cr10, b) Cu80Cr20, c) Cu70Cr30, a) Cu60Cr40

Tabel 4.2 Nilai *green density* dan porositas setelah proses *hot compaction*

Tekanan (MPa)	Cu90Cr10		Cu80Cr20		Cu70Cr30		Cu60Cr40	
	Densitas (g/cm ³)	Porositas (%)	Densitas (g/cm ³)	Porositas (%)	Densitas (g/cm ³)	Porositas (%)	Densitas (g/cm ³)	Porositas (%)
500	7,489	14,101	7,324	14,009	7,193	13,599	7,189	11,694
750	7,943	8,895	7,836	9,964	7,487	10,067	7,376	9,400
1000	8,153	6,489	7,985	6,253	7,741	7,020	7,648	6,054

4.2.2 Hubungan tekanan, *green density*, sinter density

Setelah dikompaksi, spesimen dimasukkan ke dalam *horizontal furnace* untuk proses sintering. Temperatur yang digunakan 850°C selama 1 jam dalam kondisi vakum. Spesimen diuji densitas menggunakan prinsip Archimedes. Nilai densitas spesimen setelah proses sintering meningkat. *Green density* Cu90Cr10 pada tekanan 500 Mpa yang semula sebesar 7,489 g/cm³ atau setara dengan 85% nilai densitas teori, setelah proses sintering menjadi 7,677 g/cm³ atau setara dengan 94% nilai densitas teori Densitas yang tertinggi terdapat pada tekanan 1000 MPa untuk setiap komposisi. Perbandingan sinter density dan green density dapat dilihat pada Gambar 4.15 dan Tabel 4.3



Gambar 4.15 Hubungan antara tekanan kompaksi, green density dan sinter density pada komposit: a) Cu90Cr10, b) Cu80Cr20, c) Cu70Cr30, a) Cu60Cr40

Tabel 4.3 Nilai green density dan sinter density

Tekanan (MPa)	Cu90Cr10		Cu80Cr20		Cu70Cr30		Cu60Cr40	
	Green density (g/cm ³)	Sinter density (g/cm ³)	Green density (g/cm ³)	Sinter density (g/cm ³)	Green density (g/cm ³)	Sinter density (g/cm ³)	Green density (g/cm ³)	Sinter density (g/cm ³)
500	7,489	7,677	7,324	7,662	7,193	7,708	7,189	7,373
750	7,943	7,943	7,836	8,17	7,487	7,781	7,376	7,596
1000	8,153	8,385	7,985	8,246	7,741	7,957	7,648	7,792

4.3 Analisa Sifat Mekanik Komposit Cu-Cr

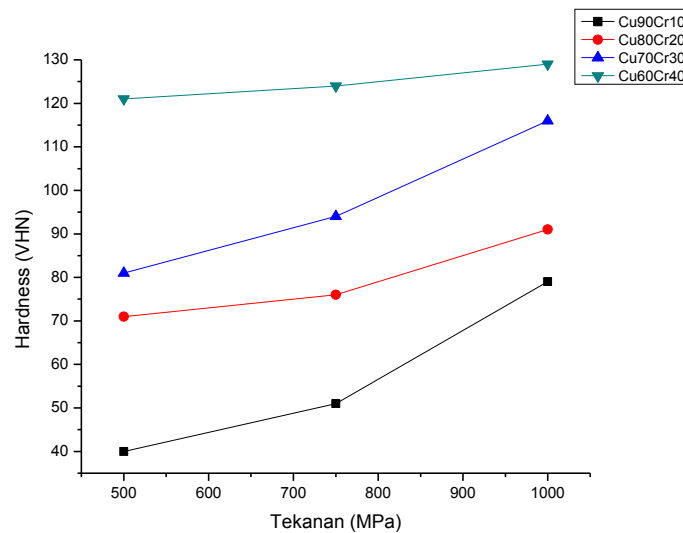
Sifat mekanik komposit yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah kekerasan. Kekerasan merupakan sifat mekanik yang disyaratkan untuk material elektronik. Kekerasan merupakan ketahanan material terhadap indentasi permanen



akibat beban dinamis/statis kekerasan indentasi, goresan, dan abrasi. Pengujian *hardnes vickers* digunakan ntuk mengetahui nilai kekerasan dari komposit Cu-Cr. Pengujian kekerasan menggunakan metode *hardness vickers* dilakukan pada 12 jenis interlocking dengan variasi tekanan kompaksi dan komposisi fraksi massa Cr dengan beban 30 kgf dan waktu identasi selama 10 detik. Permukaan interlocking yang akan diuji kekerasaanya harus rata, oleh karena itu dilakukan *hand grinding* menggunakan kertas amplas dengan grid 80, 600, dan 1000

4.3.1 Pengaruh tekanan kompaksi terhadap kekerasan

Pada Gambar 4.16 dan Tabel 4.4 menunjukkan semakin tinggi tekanan kompaksi maka semakin meningkat nilai kekerasannya. Nilai kekerasan yang tertinggi terdapat pada tekanan 1000 Mpa, lebih tinggi jika dibandingkan dengan kekerasan saat tekanan kompaksi sebesar 500 MPa maupun 750 Mpa disemua komposisi fraksi massa Cr yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa tekanan kompaksi mempengaruhi *interlocking* antar partikel karena jarak partikel semakin rapat sehingga dapat berpengaruh terhadap sifat kekerasannya.



Gambar 4.16 Pengaruh tekanan terhadap nilai kekerasan

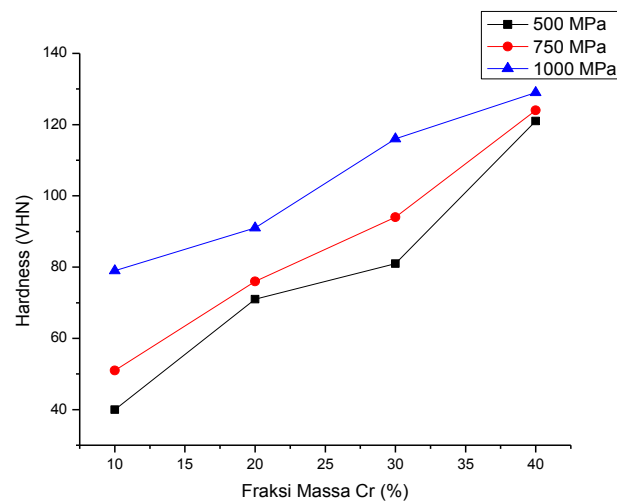


Tabel 4.4 Nilai Kekerasan karena pengaruh Tekanan

Tekanan (MPa)	Cu90Cr10 (VHN)	Cu80Cr20 (VHN)	Cu70Cr30 (VHN)	Cu60Cr40 (VHN)
500	40	71	81	121
750	51	76	94	124
1000	79	91	116	129

4.3.2 Pengaruh komposisi terhadap kekerasan

Pada Gambar 4.17 dan Tabel 4.6 menunjukkan bahwa semakin besar massa fraksi Cr maka semakin tinggi nilai kekerasaannya. Hal ini dikarenakan secara teori nilai kekerasan Cr lebih tinggi daripada nilai kekerasan dari Cu sehingga komposit yang memiliki jumlah fraksi massa Cr yang lebih banyak akan memiliki kekerasan yang lebih tinggi.



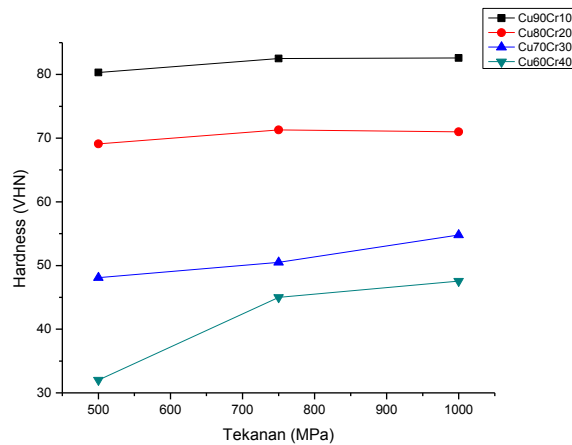
Gambar 4.17 Pengaruh komposisi fraksi massa Cr terhadap kekekekerasan

4.3.3 Analisa LCR meter

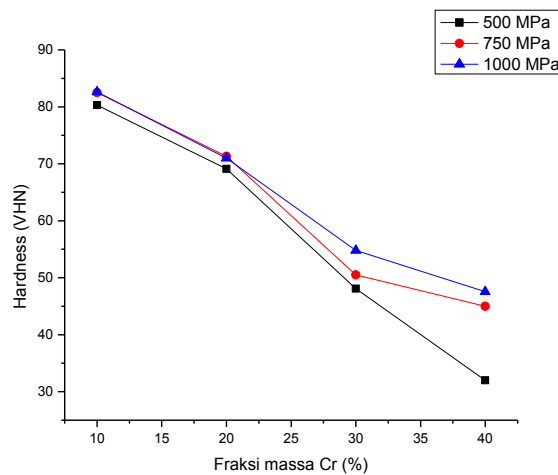
LCR-meter digunakan untuk mengetahui nilai *resistance* komposit Cu-Cr lalu dari nilai *resistance* maka nanti akan dapat ditemukan nilai resistivitanya. Kemudian *resistivity* akan dikonversikan menjadi %IACS untuk mengetahui nilai konduktifitas komposit tersebut. Gambar 4.18 dan Tabel menunjukkan pengaruh



tekanan terhadap nilai konduktifitas listrik dalam satuan %IACS. Semakin tinggi tekanan maka nilai konduktifitas juga semakin naik. Tekanan memiliki hubungan juga dengan densitas atau kerapatan komposit CuCr. Semakin tinggi tekanan, maka akan semakin rapat densitasnya sehingga porositas akan turun. Dapat dilihat juga bahwa semakin banyak fraksi massa Cr, maka nilai konduktifitas listrik juga menurun (Crowe, 2006). Pada Gambar 4.19 menunjukkan bahwa penambahan fraksi massa dari Cr mengurangi konduktifitas listrik. Hal ini sangat wajar karena Cr sendiri memiliki nilai konduktifitas yang rendah.



Gambar 4.18 Pengaruh tekanan terhadap konduktifitas Cu-Cr



Gambar 4.19 Pengaruh fraksi massa Cr terhadap konduktifitas Cu-Cr



Tabel 4.5 Hasil konduktifitas listrik dari komposit CuCr

Tekanan (MPa)	Konduktifias Listrik (%IACS)			
	Cu90Cr10	Cu80Cr20	Cu70Cr30	Cu60Cr40
500	80,3	69,1	48,1	32
750	82,5	71,3	50,5	45
1000	82,6	71	54,8	47,55

Indranil (2007) melakukan penelitian mengenai komposit Cu-Cr. Pada penelitian tersebut menggunakan 3 metode kompaksi yaitu uni axial compaction, explosive compaction, dan uni axial compaction with coating Cu. Dan menggunakan proses sintering pada temperatur 850°C dan waktu tahan 60 menit. Pada sintering terjadi proses difusi, yaitu perpindahan massa akibat adanya pergerakan atom dan perbedaan konsentrasi. Setelah mengalami proses sintering dapat dilihat hasil densitas sinter pada penelitian Indranil (2007) yang ditunjukkan pada Tabel 2.6

Komposit CuCr pada penelitian ini dibandingkan dengan standard industri pada Tabel 2.7. Hasil penelitian untuk CuCr masih belum memenuhi standard untuk nilai kekerasan. Densitas yang dimiliki juga masih kurang dari 2 proses yang lain yang dimiliki oleh Indranil, hal ini dikarenakan 2 proses Indranil yang melakukan kompaksi dan sintering ulang. Sehingga nilai porositas semakin menurun dan densitas yang dimiliki menjadi sangat tinggi mendekati 100%, dan kekerasannya pun diatas 100 VHN. Sedangkan pada penelitian ini hanya menggunakan satu proses untuk pembuatan interlocking. Proses kompaksi dan sintering ulang meningkatkan densitas dan konduktifitas listrik. Pada penelitian ini, yang memenuhi hasil hanya Cu60Cr40 pada semua tekanan dan Cu70Cr30 pada tekanan 1000 MPa.

Kekerasan yang dimiliki pada penelitian ini masih jauh daripada standard dan juga dibandingkan dengan penelitian oleh Indranil. Selain pengaruh densitas, kekerasan yang tidak mencapai standard adalah karena proses *milling* yang kurang



maksimal. Jika dibandingkan dengan serbuk hasil *milling* yang dimiliki Indranil, hasil *milling* pada penelitian ini cenderung hanya mengenai sebagian serbuk.. Fungsi dari proses *milling* adalah untuk menghancurkan dan juga untuk memipihkan material. Sedangkan pada proses ini terdapat Cr yang masih terlihat seperti bentuk awal. Hal ini menyebabkan ketika dikompaksi terdapat ukuran butir Cr yang masih besar. Sehingga ini yang membuat kekerasan pada komposit CuCr terutama Cu90Cr10 memiliki kekerasan yang rendah. Nilai konduktifitas juga berbanding lurus dengan ukuran partikel. Selain itu jumlah Cr sangat berpengaruh pada nilai konduktifitas listrik. Semakin banyak fraksi mass Cr, konduktifitas listrik juga menurun. Tabel 4.6 menunjukkan standard industri berbanding dengan hasil eksperimen. Dapat dilihat bahwa sampel yang memenuhi syarat standard industri adalah Cu70Cr30 dan Cu60Cr40.



Tabel 4.6 Perbandingan standard industri dengan hasil eksperimen

Sifat	Cu	Cr	Cu90Cr10				Cu80Cr20				Cu70Cr30				Cu60Cr40			
			Eksperimen			Standard Industri	Eksperimen			Standard Industri	Eksperimen			Standard Industri	Eksperimen			Standard Industri
			500	750	1000		500	750	1000		500	750	1000		500	750	1000	
			MPa	MPa	MPa	500 MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	
Densitas (%)	100	100	88,05	91,1	96,17	95	89,95	95,92	96,81	95,25	92,58	93,46	95,57	95,5	90,56	93,3	95,7	95,75
Kekerasan (VHN)	60-80	180-250	40	51	79	100	71	76	91	105	81	94	116	110	121	124	129	115
Konduktifitas (% IACS)	100	13,62	80,3	82,5	82,6	55	69,1	71,3	71	48,75	48,1	50,5	54,8	42,5	32	45	47,55	36,25



~Halaman ini sengaja dikosongkan~

LAMPIRAN

DATA KONDUKTIFITAS LISTRIK

$$R = \frac{\rho t}{A}$$

Dimana:

R = Resistansi (Ω)

ρ = Resistivity ($\mu\Omega.cm$)

t = Panjang (cm)

A= Luas permukaan (cm)

$$\sigma \%IACS = \frac{172,41}{\rho}$$

Dimana:

σ = Konduktifitas Listrik (%IACS)

Tabel Hasil Konduktifitas %IACS

Komposit	Tekanan (MPa)	R (ohm)	t (cm)	A (cm ²)	ρ (ohm.cm)	ρ (μ ohm.cm)	%IACS
Cu90Cr10	500	$1,6 \times 10^{-6}$	0,6	0,785	$2,1 \times 10^{-6}$	214,65	80,3
	750	8×10^{-6}	0,3	0,785	$2,1 \times 10^{-6}$	208,77	82,5
	1000	$1,6 \times 10^{-6}$	0,6	0,785	$2,1 \times 10^{-6}$	208	82,6
Cu80Cr20	500	$1,6 \times 10^{-6}$	0,5	0,785	$2,5 \times 10^{-6}$	249,49	78,5
	750	$1,5 \times 10^{-6}$	0,5	0,785	$2,4 \times 10^{-6}$	241,47	71,39
	1000	$1,9 \times 10^{-6}$	0,6	0,785	$2,4 \times 10^{-6}$	242,82	71
Cu70Cr30	500	2×10^{-6}	0,6	0,785	$3,58 \times 10^{-6}$	358,05	48,15
	750	$2,2 \times 10^{-6}$	0,5	0,785	$3,4 \times 10^{-6}$	341,44	50,49
	1000	$2,4 \times 10^{-6}$	0,5	0,785	$3,1 \times 10^{-6}$	314,23	54,8
Cu60Cr40	500	$5,5 \times 10^{-6}$	0,8	0,785	$5,4 \times 10^{-6}$	538,81	31,9
	750	$3,7 \times 10^{-6}$	0,8	0,785	$3,6 \times 10^{-6}$	362,57	47,5
	1000	$3,9 \times 10^{-6}$	0,8	0,785	$3,8 \times 10^{-6}$	382,59	45,06

Data mentah LCR meter

a) Data Cu90Cr10 500 MPa

Frequency	Conductivity (S/cm)	Z(ohm)	Cs(F)	Rs(ohm)	G(S)
1	29683,47188	2,11E-03	8,94E+02	2,57E-05	3,89E+04
1,343	2937,793135	2,15E-03	4,28E+02	2,60E-04	3,85E+03
1,805	2954,317093	2,12E-03	1,64E+03	2,59E-04	3,87E+03
2,424	3005,890485	2,08E-03	6,20E+02	2,54E-04	3,93E+03
3,257	2959,773025	2,17E-03	9,98E+01	2,58E-04	3,87E+03

4,375	3113,238369	2,08E-03	6,62E+01	2,45E-04	4,08E+03
5,878	3020,561868	2,07E-03	2,32E+02	2,53E-04	3,95E+03
7,897	3021,584006	2,07E-03	1,13E+03	2,53E-04	3,96E+03
10,61	15374,74461	2,06E-03	4,41E+01	2,48E-04	2,01E+04
14,25	19029,55816	2,09E-03	8,63E+00	2,01E-04	2,49E+04
19,14	14766,00207	2,12E-03	3,25E+02	2,59E-04	1,93E+04
25,72	15185,73536	2,06E-03	7,19E+01	2,52E-04	1,99E+04
34,55	17302,75904	2,10E-03	4,32E+00	2,21E-04	2,26E+04
46,42	14158,58441	2,42E-03	3,46E+00	2,70E-04	1,85E+04
62,36	114447,7364	2,19E-03	1,18E+00	3,34E-05	1,50E+05
83,77	43270,67272	2,07E-03	9,79E-01	8,83E-05	5,66E+04
112,5	137065,2312	3,35E-03	4,23E-01	2,79E-05	1,79E+05
151,2	37529,86367	2,88E-03	3,81E-01	1,02E-04	4,91E+04
203,1	37886,55866	1,74E-03	5,13E-01	1,01E-04	4,96E+04
272,8	50376,78058	1,88E-03	3,29E-01	7,58E-05	6,59E+04
366,5	32566,63267	1,75E-03	2,96E-01	1,17E-04	4,26E+04
492,4	16560,112	2,26E-03	2,59E-01	2,31E-04	2,17E+04
661,5	71422,27157	1,44E-03	1,76E-01	5,35E-05	9,35E+04
888,6	50559,33763	1,66E-03	1,16E-01	7,55E-05	6,62E+04
1194	62959,05109	1,75E-03	7,94E-02	6,07E-05	8,24E+04
1604	51910,57633	2,10E-03	4,93E-02	7,36E-05	6,80E+04
2154	48013,89364	3,12E-03	2,43E-02	7,96E-05	6,29E+04
2894	44795,16587	3,69E-03	1,52E-02	8,53E-05	5,86E+04
3888	50347,56395	4,97E-03	8,30E-03	7,59E-05	6,59E+04
5223	33491,84291	5,89E-03	5,24E-03	1,14E-04	4,38E+04
7017	31168,08953	7,87E-03	2,90E-03	1,23E-04	4,08E+04
9427	28145,03185	1,01E-02	1,69E-03	1,36E-04	3,68E+04
12660	25325,96708	1,30E-02	9,70E-04	1,51E-04	3,32E+04
17010	17052,56909	1,76E-02	5,35E-04	2,24E-04	2,23E+04
22850	15400,5043	2,32E-02	3,01E-04	2,48E-04	2,02E+04
30700	13979,97914	3,03E-02	1,71E-04	2,73E-04	1,83E+04
41250	11833,48859	4,04E-02	9,57E-05	3,23E-04	1,55E+04
55410	12190,7643	5,30E-02	5,43E-05	3,13E-04	1,60E+04
74440	12631,25187	7,07E-02	3,03E-05	3,02E-04	1,65E+04
100000	15971,09739	9,44E-02	1,69E-05	2,39E-04	2,09E+04

b) Data Cu90Cr10 750 MPa

Frequency	Conductivity (S/cm)	Z(ohm)	Cs(F)	Rs(ohm)	G(S)
1	161135,3779	2,14E-03	6,03E+02	1,19E-06	4,22E+05
1,343	164215,9755	2,12E-03	2,90E+02	1,16E-06	4,30E+05
1,805	158918,1935	2,15E-03	2,05E+03	1,20E-06	4,16E+05

2,424	175324,2821	2,11E-03	8,06E+01	1,09E-06	4,59E+05
3,257	162761,7681	2,10E-03	1,15E+03	1,17E-06	4,26E+05
4,375	164050,4908	2,10E-03	1,59E+02	1,16E-06	4,29E+05
5,878	161500,7642	2,12E-03	1,19E+03	1,18E-06	4,23E+05
7,897	162800,5228	2,11E-03	8,02E+01	1,17E-06	4,26E+05
10,61	177297,385	2,11E-03	1,75E+01	1,08E-06	4,64E+05
14,25	206889,8679	2,15E-03	8,09E+00	9,23E-07	5,42E+05
19,14	173950,4492	1,98E-03	3,60E+01	1,10E-06	4,55E+05
25,72	189935,4507	2,01E-03	6,86E+00	1,01E-06	4,97E+05
34,55	152509,287	2,30E-03	9,23E+00	1,25E-06	3,99E+05
46,42	332488,6382	2,03E-03	1,95E+00	5,74E-07	8,70E+05
62,36	224748,4174	2,33E-03	1,45E+00	8,50E-07	5,88E+05
83,77	331714,3584	1,98E-03	1,12E+00	5,76E-07	8,68E+05
112,5	607565,2551	3,11E-03	4,62E-01	3,14E-07	1,59E+06
151,2	4384175,049	2,58E-03	4,08E-01	4,36E-08	1,15E+07
203,1	244503,5172	2,44E-03	3,92E-01	7,81E-07	6,40E+05
272,8	1838872,668	2,34E-03	2,50E-01	1,04E-07	4,81E+06
366,5	608376,1639	1,75E-03	2,62E-01	3,14E-07	1,59E+06
492,4	263378,1339	2,63E-03	1,41E-01	7,25E-07	6,90E+05
661,5	735636,1202	1,47E-03	1,73E-01	2,60E-07	1,93E+06
888,6	397037,0921	2,27E-03	8,51E-02	4,81E-07	1,04E+06
1194	869508,909	2,05E-03	6,64E-02	2,20E-07	2,28E+06
1604	549825,2051	2,46E-03	4,17E-02	3,47E-07	1,44E+06
2154	354778,7648	3,04E-03	2,56E-02	5,38E-07	9,29E+05
2894	486536,4232	3,97E-03	1,41E-02	3,93E-07	1,27E+06
3888	347352,9951	5,09E-03	8,20E-03	5,50E-07	9,09E+05
5223	510040,458	6,16E-03	4,98E-03	3,74E-07	1,34E+06
7017	454698,1682	7,86E-03	2,90E-03	4,20E-07	1,19E+06
9427	275475,2762	1,06E-02	1,60E-03	6,93E-07	7,21E+05
12660	282532,9072	1,41E-02	8,97E-04	6,76E-07	7,40E+05
17010	239367,608	1,81E-02	5,18E-04	7,98E-07	6,27E+05
22850	244241,493	2,41E-02	2,90E-04	7,82E-07	6,39E+05
30700	157985,4974	3,20E-02	1,62E-04	1,21E-06	4,14E+05
41250	121116,9906	4,18E-02	9,25E-05	1,58E-06	3,17E+05
55410	142082,5476	5,61E-02	5,13E-05	1,34E-06	3,72E+05
74440	143556,2349	7,47E-02	2,86E-05	1,33E-06	3,76E+05
100000	204232,5215	9,91E-02	1,61E-05	9,35E-07	5,35E+05

b) Data Cu90Cr10 1000 MPa

Frequency	Conductivity (S/cm)	Z(ohm)	Cs(F)	Rs(ohm)	G(S)
1	152212,4677	2,17E-03	4,06E+02	2,51E-06	1,99E+05

1,343	151622,8273	2,14E-03	5,32E+03	2,52E-06	1,98E+05
1,805	152813,8999	2,13E-03	6,39E+02	2,50E-06	2,00E+05
2,424	151991,7048	2,14E-03	3,56E+03	2,51E-06	1,99E+05
3,257	150227,5467	2,17E-03	2,69E+02	2,54E-06	1,97E+05
4,375	168385,9793	2,08E-03	4,69E+01	2,27E-06	2,20E+05
5,878	151545,0249	2,14E-03	1,12E+03	2,52E-06	1,98E+05
7,897	159459,6131	2,08E-03	4,85E+01	2,40E-06	2,09E+05
10,61	156381,5682	2,08E-03	4,24E+03	2,44E-06	2,05E+05
14,25	152183,9461	2,14E-03	8,74E+01	2,51E-06	1,99E+05
19,14	202207,8114	2,01E-03	6,90E+00	1,89E-06	2,65E+05
25,72	157320,6149	2,08E-03	2,36E+01	2,43E-06	2,06E+05
34,55	147345,3691	2,32E-03	6,45E+00	2,59E-06	1,93E+05
46,42	1204951,856	1,93E-03	1,80E+00	3,17E-07	1,58E+06
62,36	200312,6587	2,12E-03	1,87E+00	1,91E-06	2,62E+05
83,77	441407,4701	1,54E-03	1,40E+00	8,65E-07	5,78E+05
112,5	755979,4984	3,40E-03	4,20E-01	5,05E-07	9,90E+05
151,2	1235470,887	2,46E-03	4,31E-01	3,09E-07	1,62E+06
203,1	2489593,607	2,71E-03	2,89E-01	1,53E-07	3,26E+06
272,8	346831,9364	1,19E-03	8,00E-01	1,10E-06	4,54E+05
366,5	354379,8214	9,95E-04	1,12E+00	1,08E-06	4,64E+05
492,4	750339,6846	1,26E-03	2,72E-01	5,09E-07	9,82E+05
661,5	340117,9591	1,41E-03	2,32E-01	1,12E-06	4,45E+05
888,6	527638,5737	1,75E-03	1,10E-01	7,24E-07	6,91E+05
1194	876077,5304	1,85E-03	7,36E-02	4,36E-07	1,15E+06
1604	772004,1583	2,03E-03	4,99E-02	4,95E-07	1,01E+06
2154	950821,172	3,00E-03	2,48E-02	4,02E-07	1,24E+06
2894	1165735,144	3,76E-03	1,47E-02	3,28E-07	1,53E+06
3888	707925,6261	4,91E-03	8,37E-03	5,40E-07	9,27E+05
5223	613790,5642	6,40E-03	4,78E-03	6,22E-07	8,03E+05
7017	312492,3719	8,15E-03	2,80E-03	1,22E-06	4,09E+05
9427	322448,7046	1,09E-02	1,55E-03	1,18E-06	4,22E+05
12660	266656,0534	1,38E-02	9,13E-04	1,43E-06	3,49E+05
17010	200498,099	1,83E-02	5,14E-04	1,91E-06	2,62E+05
22850	166624,1318	2,44E-02	2,87E-04	2,29E-06	2,18E+05
30700	167233,1256	3,17E-02	1,64E-04	2,28E-06	2,19E+05
41250	140204,1646	4,25E-02	9,09E-05	2,72E-06	1,84E+05
55410	134431,4615	5,66E-02	5,08E-05	2,84E-06	1,76E+05
74440	140047,0189	7,50E-02	2,85E-05	2,73E-06	1,83E+05
100000	184371,9537	1,00E-01	1,59E-05	2,07E-06	2,41E+05

d)Cu80Cr20 500 MPa

Frequency	Conductivity (S/cm)	Z(ohm)	Cs(F)	Rs(ohm)	G(S)
1	298742,2677	2,14E-03	1,11E+03	2,13E-06	4,69E+05

1,343	320602,1919	2,11E-03	1,66E+02	1,99E-06	5,04E+05
1,805	296515,9629	2,17E-03	2,80E+02	2,15E-06	4,66E+05
2,424	307605,2244	2,12E-03	1,48E+02	2,07E-06	4,83E+05
3,257	284879,3003	2,26E-03	1,39E+02	2,23E-06	4,47E+05
4,375	309293,967	2,12E-03	7,34E+01	2,06E-06	4,86E+05
5,878	301044,9579	2,12E-03	1,36E+02	2,11E-06	4,73E+05
7,897	315595,7626	2,08E-03	4,00E+01	2,02E-06	4,96E+05
10,61	321249,3174	2,03E-03	3,45E+01	1,98E-06	5,05E+05
14,25	312558,8042	2,04E-03	6,15E+01	2,04E-06	4,91E+05
19,14	326204,0236	2,06E-03	1,28E+01	1,95E-06	5,12E+05
25,72	307560,6418	2,09E-03	2,04E+01	2,07E-06	4,83E+05
34,55	692821,4482	2,02E-03	2,57E+00	9,19E-07	1,09E+06
46,42	266000,8241	2,41E-03	1,15E+01	2,39E-06	4,18E+05
62,36	1745024,32	2,18E-03	1,19E+00	3,65E-07	2,74E+06
83,77	370644,9536	1,77E-03	4,43E+00	1,72E-06	5,82E+05
112,5	1420835,987	1,36E-03	1,10E+00	4,48E-07	2,23E+06
151,2	622611,0243	1,06E-03	3,70E+00	1,02E-06	9,78E+05
203,1	30365836,98	2,00E-03	3,91E-01	2,10E-08	4,77E+07
272,8	506379,0744	2,27E-03	3,10E-01	1,26E-06	7,95E+05
366,5	699159,5984	1,57E-03	3,40E-01	9,11E-07	1,10E+06
492,4	322404,4223	1,97E-03	1,41E+01	1,97E-06	5,06E+05
661,5	1237933,676	1,42E-03	1,82E-01	5,14E-07	1,94E+06
888,6	679213,2343	1,97E-03	1,03E-01	9,37E-07	1,07E+06
1194	890651,3506	2,14E-03	6,60E-02	7,15E-07	1,40E+06
1604	874718,0164	2,38E-03	4,38E-02	7,28E-07	1,37E+06
2154	675609,178	3,49E-03	2,20E-02	9,42E-07	1,06E+06
2894	547112,2141	4,14E-03	1,38E-02	1,16E-06	8,59E+05
3888	587992,7703	5,10E-03	8,22E-03	1,08E-06	9,24E+05
5223	604060,8904	6,38E-03	4,84E-03	1,05E-06	9,49E+05
7017	513941,8522	8,73E-03	2,63E-03	1,24E-06	8,07E+05
9427	480322,7496	1,14E-02	1,50E-03	1,33E-06	7,54E+05
12660	384339,3941	1,49E-02	8,51E-04	1,66E-06	6,04E+05
17010	412505,5222	1,93E-02	4,87E-04	1,54E-06	6,48E+05
22850	353050,0069	2,57E-02	2,72E-04	1,80E-06	5,55E+05
30700	266513,0709	3,45E-02	1,51E-04	2,39E-06	4,19E+05
41250	236652,8279	4,50E-02	8,60E-05	2,69E-06	3,72E+05
55410	211417,2995	5,96E-02	4,82E-05	3,01E-06	3,32E+05
74440	243719,5254	7,92E-02	2,70E-05	2,61E-06	3,83E+05
100000	276646,8679	1,06E-01	1,51E-05	2,30E-06	4,35E+05

e) Cu80Cr20 750 MPa

Frequency	Conductivity (S/cm)	Z(ohm)	Cs(F)	Rs(ohm)	G(S)
-----------	---------------------	--------	-------	---------	------

1	297458,0751	2,14E-03	5,04E+03	2,14E-06	4,67E+05
1,343	286378,665	2,23E-03	6,20E+02	2,22E-06	4,50E+05
1,805	293982,8088	2,17E-03	1,08E+03	2,17E-06	4,62E+05
2,424	294431,4922	2,16E-03	1,63E+03	2,16E-06	4,62E+05
3,257	292268,7413	2,18E-03	3,14E+02	2,18E-06	4,59E+05
4,375	299487,1207	2,13E-03	7,84E+02	2,13E-06	4,70E+05
5,878	304982,1655	2,09E-03	1,93E+02	2,09E-06	4,79E+05
7,897	303080,1106	2,10E-03	2,17E+02	2,10E-06	4,76E+05
10,61	296115,9925	2,16E-03	8,97E+01	2,15E-06	4,65E+05
14,25	306597,8484	2,09E-03	4,16E+01	2,08E-06	4,82E+05
19,14	345838,6421	2,09E-03	8,48E+00	1,84E-06	5,43E+05
25,72	293616,72	2,21E-03	1,42E+01	2,17E-06	4,61E+05
34,55	316317,0885	2,24E-03	4,69E+00	2,01E-06	4,97E+05
46,42	1299038,448	1,88E-03	1,88E+00	4,90E-07	2,04E+06
62,36	259908,4561	2,46E-03	1,29E+01	2,45E-06	4,08E+05
83,77	2651588,039	1,78E-03	1,08E+00	2,40E-07	4,17E+06
112,5	656993,1293	3,79E-03	3,86E-01	9,69E-07	1,03E+06
151,2	729157,0999	2,65E-03	4,21E-01	8,73E-07	1,15E+06
203,1	246217,4243	3,58E-03	3,16E-01	2,59E-06	3,87E+05
272,8	1661498,519	2,92E-03	2,02E-01	3,83E-07	2,61E+06
366,5	770315,779	1,67E-03	3,00E-01	8,26E-07	1,21E+06
492,4	3365865,35	9,26E-04	3,57E-01	1,89E-07	5,29E+06
661,5	1510725,611	1,42E-03	1,78E-01	4,21E-07	2,37E+06
888,6	1077610,191	2,43E-03	7,58E-02	5,91E-07	1,69E+06
1194	619520,993	2,63E-03	5,52E-02	1,03E-06	9,73E+05
1604	899028,0918	2,30E-03	4,54E-02	7,08E-07	1,41E+06
2154	674900,1064	3,27E-03	2,36E-02	9,43E-07	1,06E+06
2894	872512,1599	3,57E-03	1,57E-02	7,30E-07	1,37E+06
3888	1067724,024	4,89E-03	8,44E-03	5,96E-07	1,68E+06
5223	646846,4142	6,29E-03	4,91E-03	9,84E-07	1,02E+06
7017	569835,0988	8,00E-03	2,86E-03	1,12E-06	8,95E+05
9427	866503,0249	1,06E-02	1,59E-03	7,35E-07	1,36E+06
12660	445001,9379	1,36E-02	9,28E-04	1,43E-06	6,99E+05
17010	396721,9869	1,84E-02	5,11E-04	1,60E-06	6,23E+05
22850	319941,5883	2,36E-02	2,96E-04	1,99E-06	5,03E+05
30700	307026,6566	3,18E-02	1,63E-04	2,07E-06	4,82E+05
41250	262989,9502	4,21E-02	9,17E-05	2,42E-06	4,13E+05
55410	223406,7141	5,60E-02	5,14E-05	2,85E-06	3,51E+05
74440	235384,0762	7,40E-02	2,89E-05	2,70E-06	3,70E+05
100000	299318,1496	9,88E-02	1,61E-05	2,13E-06	4,70E+05

f) Cu80Cr20 1000 MPa

Frequency	Conductivity (S/cm)	Z(ohm)	Cs(F)	Rs(ohm)	G(S)
1	68,25191877	2,24E-03	1,27E+04	1,12E-02	8,93E+01
1,343	359,333832	2,16E-03	3,20E+02	2,13E-03	4,70E+02
1,805	338,7626832	2,27E-03	4,14E+02	2,26E-03	4,43E+02
2,424	351,0448152	2,20E-03	2,13E+02	2,18E-03	4,60E+02
3,257	351,918061	2,17E-03	2,07E+03	2,17E-03	4,61E+02
4,375	355,3226636	2,15E-03	8,21E+02	2,15E-03	4,65E+02
5,878	352,5514453	2,17E-03	3,77E+02	2,17E-03	4,61E+02
7,897	351,3354152	2,18E-03	1,39E+02	2,17E-03	4,60E+02
10,61	342,7447292	2,27E-03	3,60E+01	2,23E-03	4,49E+02
14,25	340,802876	2,25E-03	7,55E+01	2,24E-03	4,46E+02
19,14	390,7041001	2,04E-03	1,39E+01	1,96E-03	5,11E+02
25,72	371,5318193	2,25E-03	6,81E+00	2,06E-03	4,86E+02
34,55	329,1442166	2,42E-03	6,77E+00	2,32E-03	4,31E+02
46,42	368,5208523	2,39E-03	2,88E+00	2,07E-03	4,82E+02
62,36	433,7878183	2,36E-03	1,63E+00	1,76E-03	5,68E+02
83,77	1696,258025	1,53E-03	1,30E+00	4,50E-04	2,22E+03
112,5	2780,909784	2,11E-03	6,76E-01	2,75E-04	3,64E+03
151,2	565,2980071	1,36E-03	7,01E+00	1,35E-03	7,40E+02
203,1	13229,15003	3,69E-03	2,13E-01	5,77E-05	1,73E+04
272,8	880,2919084	2,15E-03	2,96E-01	8,68E-04	1,15E+03
366,5	988,8727145	1,75E-03	2,77E-01	7,73E-04	1,29E+03
492,4	535,1244934	1,43E-03	4,41E+00	1,43E-03	7,00E+02
661,5	1224,523902	1,43E-03	1,87E-01	6,24E-04	1,60E+03
888,6	853,2728629	2,27E-03	8,58E-02	8,95E-04	1,12E+03
1194	1052,017746	2,04E-03	6,98E-02	7,26E-04	1,38E+03
1604	1141,117192	2,31E-03	4,48E-02	6,69E-04	1,49E+03
2154	759,3119241	3,38E-03	2,29E-02	1,01E-03	9,94E+02
2894	696,0128707	4,44E-03	1,28E-02	1,10E-03	9,11E+02
3888	776,6023451	5,46E-03	7,62E-03	9,84E-04	1,02E+03
5223	830,5451418	6,47E-03	4,76E-03	9,20E-04	1,09E+03
7017	636,7789671	8,83E-03	2,59E-03	1,20E-03	8,34E+02
9427	491,2505478	1,18E-02	1,45E-03	1,56E-03	6,43E+02
12660	515,5511721	1,52E-02	8,31E-04	1,48E-03	6,75E+02
17010	441,5604455	2,06E-02	4,55E-04	1,73E-03	5,78E+02
22850	321,2817423	2,71E-02	2,58E-04	2,38E-03	4,21E+02
30700	314,7298343	3,57E-02	1,45E-04	2,43E-03	4,12E+02
41250	337,3713685	4,75E-02	8,13E-05	2,26E-03	4,42E+02
55410	270,9885165	6,32E-02	4,55E-05	2,82E-03	3,55E+02
74440	256,546352	8,40E-02	2,55E-05	2,98E-03	3,36E+02
100000	348,2126473	1,12E-01	1,42E-05	2,19E-03	4,56E+02

g)Cu70Cr30 500 MPa

Frequency	Conductivity (S/cm)	Z(ohm)	Cs(F)	Rs(ohm)	G(S)
1	686911,5078	2,34E-03	1,55E+03	2,34E-06	8,99E+05
1,343	714920,6	2,25E-03	1,46E+03	2,24E-06	9,36E+05
1,805	687470,7861	2,33E-03	2,44E+03	2,33E-06	9,00E+05
2,424	717574,7311	2,24E-03	4,95E+02	2,24E-06	9,39E+05
3,257	711212,407	2,26E-03	3,71E+02	2,26E-06	9,31E+05
4,375	722519,2877	2,22E-03	4,69E+02	2,22E-06	9,46E+05
5,878	714538,4938	2,25E-03	4,81E+02	2,25E-06	9,35E+05
7,897	735369,374	2,18E-03	1,96E+03	2,18E-06	9,63E+05
10,61	726576,9141	2,21E-03	2,69E+02	2,21E-06	9,51E+05
14,25	747986,6777	2,15E-03	8,54E+01	2,14E-06	9,79E+05
19,14	739811,7714	2,22E-03	1,80E+01	2,17E-06	9,68E+05
25,72	724837,0426	2,22E-03	3,42E+01	2,21E-06	9,49E+05
34,55	735639,1353	2,41E-03	4,48E+00	2,18E-06	9,63E+05
46,42	6314827,106	1,74E-03	1,99E+00	2,54E-07	8,27E+06
62,36	615941,7286	2,68E-03	4,03E+00	2,60E-06	8,06E+05
83,77	2788212,705	2,13E-03	9,28E-01	5,75E-07	3,65E+06
112,5	8676014,42	3,69E-03	3,83E-01	1,85E-07	1,14E+07
151,2	10672444,29	2,65E-03	3,98E-01	1,50E-07	1,40E+07
203,1	23981730,24	3,59E-03	2,18E-01	6,69E-08	3,14E+07
272,8	1239593,437	1,38E-03	1,20E+00	1,29E-06	1,62E+06
366,5	854295,6634	1,91E-03	1,35E+00	1,88E-06	1,12E+06
492,4	1529635,609	1,45E-03	3,21E-01	1,05E-06	2,00E+06
661,5	1574832,459	1,53E-03	2,11E-01	1,02E-06	2,06E+06
888,6	1479418,873	2,42E-03	8,26E-02	1,08E-06	1,94E+06
1194	1478600,762	2,21E-03	6,92E-02	1,09E-06	1,94E+06
1604	1662106,512	2,20E-03	5,02E-02	9,65E-07	2,18E+06
2154	1488616,337	3,30E-03	2,37E-02	1,08E-06	1,95E+06
2894	1713903,066	3,75E-03	1,52E-02	9,36E-07	2,24E+06
3888	1576225,021	5,41E-03	7,71E-03	1,02E-06	2,06E+06
5223	1276075,268	6,39E-03	4,86E-03	1,26E-06	1,67E+06
7017	1453022,214	7,97E-03	2,87E-03	1,10E-06	1,90E+06
9427	1101690,583	1,03E-02	1,66E-03	1,46E-06	1,44E+06
12660	1032888,119	1,36E-02	9,33E-04	1,55E-06	1,35E+06
17010	826182,8336	1,77E-02	5,31E-04	1,94E-06	1,08E+06
22850	729749,7391	2,32E-02	3,02E-04	2,20E-06	9,55E+05
30700	710110,5818	3,13E-02	1,66E-04	2,26E-06	9,30E+05
41250	622586,8621	4,09E-02	9,44E-05	2,58E-06	8,15E+05
55410	524463,6393	5,44E-02	5,29E-05	3,06E-06	6,87E+05
74440	525219,128	7,19E-02	2,98E-05	3,05E-06	6,88E+05
100000	568350,0997	9,61E-02	1,66E-05	2,82E-06	7,44E+05

h) Cu70Cr30 750 MPa

Frequency	Conductivity (S/cm)	Z(ohm)	Cs(F)	Rs(ohm)	G(S)
1	888224,0336	2,15E-03	2,68E+03	2,87E-06	1,40E+06
1,343	956268,4344	2,21E-03	1,26E+02	2,66E-06	1,50E+06
1,805	892624,4705	2,18E-03	2,18E+02	2,85E-06	1,40E+06
2,424	927161,1812	2,15E-03	1,04E+02	2,75E-06	1,46E+06
3,257	896858,0968	2,13E-03	5,01E+02	2,84E-06	1,41E+06
4,375	904332,2681	2,11E-03	4,01E+03	2,82E-06	1,42E+06
5,878	1100339,527	2,12E-03	2,21E+01	2,31E-06	1,73E+06
7,897	906951,9029	2,11E-03	1,14E+03	2,81E-06	1,42E+06
10,61	911105,4847	2,12E-03	4,57E+01	2,79E-06	1,43E+06
14,25	937676,4126	2,15E-03	1,62E+01	2,72E-06	1,47E+06
19,14	865599,763	2,21E-03	9,60E+01	2,94E-06	1,36E+06
25,72	935884,4108	2,06E-03	2,20E+01	2,72E-06	1,47E+06
34,55	1346203,79	2,14E-03	2,88E+00	1,89E-06	2,11E+06
46,42	798202,5816	2,49E-03	5,02E+00	3,19E-06	1,25E+06
62,36	1817355,902	1,77E-03	1,80E+00	1,40E-06	2,85E+06
83,77	762662,4539	2,53E-03	4,94E+00	3,34E-06	1,20E+06
112,5	1170256,934	2,73E-03	6,46E-01	2,18E-06	1,84E+06
151,2	1416914,695	2,18E-03	6,15E-01	1,80E-06	2,23E+06
203,1	1592080,124	1,20E-03	1,84E+01	1,60E-06	2,50E+06
272,8	1321793,423	2,84E-03	2,39E-01	1,93E-06	2,08E+06
366,5	1659881,207	1,65E-03	3,67E-01	1,53E-06	2,61E+06
492,4	1671795,621	1,66E-03	2,67E-01	1,52E-06	2,63E+06
661,5	2640188,168	9,93E-04	3,54E-01	9,65E-07	4,15E+06
888,6	3034605,499	1,47E-03	1,35E-01	8,39E-07	4,77E+06
1194	3423668,645	1,57E-03	9,07E-02	7,44E-07	5,38E+06
1604	3746732,289	1,93E-03	5,33E-02	6,80E-07	5,89E+06
2154	2140042,263	2,71E-03	2,89E-02	1,19E-06	3,36E+06
2894	3217363,786	3,12E-03	1,80E-02	7,91E-07	5,05E+06
3888	2537850,398	4,00E-03	1,04E-02	1,00E-06	3,99E+06
5223	2807419,361	5,03E-03	6,11E-03	9,07E-07	4,41E+06
7017	1922606,196	6,62E-03	3,46E-03	1,32E-06	3,02E+06
9427	1515641,074	8,64E-03	1,97E-03	1,68E-06	2,38E+06
12660	1535997,521	1,12E-02	1,13E-03	1,66E-06	2,41E+06
17010	1245019,112	1,47E-02	6,41E-04	2,05E-06	1,96E+06
22850	828896,0189	1,96E-02	3,57E-04	3,07E-06	1,30E+06
30700	960838,8173	2,54E-02	2,05E-04	2,65E-06	1,51E+06
41250	754795,6041	3,40E-02	1,14E-04	3,37E-06	1,19E+06
55410	633872,9894	4,46E-02	6,45E-05	4,02E-06	9,96E+05
74440	751203,3186	5,91E-02	3,62E-05	3,39E-06	1,18E+06
100000	805915,8229	7,87E-02	2,02E-05	3,16E-06	1,27E+06

i) Cu70Cr30 1000 MPa

Frequency	Conductivity (S/cm)	Z(ohm)	Cs(F)	Rs(ohm)	G(S)
1	103445,3252	2,22E-03	1,30E+03	2,22E-03	1,35E+05
1,343	104597,2881	2,19E-03	1,65E+03	2,19E-03	1,37E+05
1,805	100761,9776	2,28E-03	6,41E+02	2,27E-03	1,32E+05
2,424	102735,8428	2,24E-03	2,66E+02	2,23E-03	1,34E+05
3,257	101963,3928	2,28E-03	1,22E+02	2,25E-03	1,33E+05
4,375	105004,6358	2,19E-03	1,78E+02	2,18E-03	1,37E+05
5,878	102368,7324	2,24E-03	2,46E+02	2,24E-03	1,34E+05
7,897	103417,3178	2,23E-03	8,62E+01	2,22E-03	1,35E+05
10,61	104956,5479	2,18E-03	2,91E+02	2,18E-03	1,37E+05
14,25	101773,2217	2,28E-03	3,05E+01	2,25E-03	1,33E+05
19,14	109983,2604	2,18E-03	1,31E+01	2,08E-03	1,44E+05
25,72	106472,9933	2,17E-03	2,42E+01	2,15E-03	1,39E+05
34,55	89371,049	2,57E-03	2,05E+01	2,56E-03	1,17E+05
46,42	127635,9535	2,35E-03	2,26E+00	1,80E-03	1,67E+05
62,36	130879,5146	2,35E-03	1,62E+00	1,75E-03	1,71E+05
83,77	561173,1588	1,45E-03	1,36E+00	4,08E-04	7,35E+05
112,5	204902,2066	2,60E-03	6,04E-01	1,12E-03	2,68E+05
151,2	76596,07568	3,34E-03	7,04E-01	2,99E-03	1,00E+05
203,1	182195,0219	1,79E-03	6,17E-01	1,26E-03	2,38E+05
272,8	184959,3399	2,11E-03	3,43E-01	1,24E-03	2,42E+05
366,5	149773,3094	1,84E-03	4,25E-01	1,53E-03	1,96E+05
492,4	226353,6968	1,20E-03	5,08E-01	1,01E-03	2,96E+05
661,5	271843,522	1,29E-03	2,48E-01	8,43E-04	3,56E+05
888,6	213054,8648	2,10E-03	9,91E-02	1,08E-03	2,79E+05
1194	266712,1904	1,89E-03	7,92E-02	8,59E-04	3,49E+05
1604	296608,0629	2,00E-03	5,37E-02	7,73E-04	3,88E+05
2154	184260,4262	3,29E-03	2,43E-02	1,24E-03	2,41E+05
2894	193452,4505	3,92E-03	1,47E-02	1,18E-03	2,53E+05
3888	211775,1969	4,77E-03	8,80E-03	1,08E-03	2,77E+05
5223	198375,416	5,70E-03	5,45E-03	1,16E-03	2,60E+05
7017	180886,4389	7,53E-03	3,06E-03	1,27E-03	2,37E+05
9427	144494,7469	9,88E-03	1,73E-03	1,59E-03	1,89E+05
12660	151056,6294	1,27E-02	9,94E-04	1,52E-03	1,98E+05
17010	127920,9188	1,69E-02	5,58E-04	1,79E-03	1,67E+05
22850	104908,5041	2,27E-02	3,08E-04	2,18E-03	1,37E+05
30700	95314,25163	2,94E-02	1,77E-04	2,40E-03	1,25E+05
41250	83536,76619	3,89E-02	9,95E-05	2,74E-03	1,09E+05
55410	79282,9135	5,15E-02	5,59E-05	2,89E-03	1,04E+05
74440	82333,35179	6,86E-02	3,12E-05	2,78E-03	1,08E+05
100000	91956,47316	9,11E-02	1,75E-05	2,49E-03	1,20E+05

j) Cu60Cr40 500 MPa

Frequency	Conductivity (S/cm)	Z(ohm)	Cs(F)	Rs(ohm)	G(S)
1	14622098,61	2,35E-03	1,27E+04	6,27E-09	1,44E+07
1,343	440397,9978	2,40E-03	2,85E+02	2,08E-07	4,32E+05
1,805	39142310,04	2,49E-03	1,88E+04	2,34E-09	3,84E+07
2,424	950228,0095	2,43E-03	3,40E+02	9,65E-08	9,33E+05
3,257	857159,8618	2,45E-03	2,28E+02	1,07E-07	8,42E+05
4,375	1511014,459	2,35E-03	3,00E+02	6,07E-08	1,48E+06
5,878	1320559,597	2,42E-03	1,95E+02	6,94E-08	1,30E+06
7,897	987326,3029	2,36E-03	1,09E+02	9,29E-08	9,69E+05
10,61	3181276,256	2,22E-03	2,60E+02	2,88E-08	3,12E+06
14,25	405723,5991	2,43E-03	2,47E+01	2,26E-07	3,98E+05
19,14	629580,7103	2,35E-03	2,86E+01	1,46E-07	6,18E+05
25,72	2373693,951	2,34E-03	8,01E+01	3,86E-08	2,33E+06
34,55	108328,8003	1,70E-03	2,72E+00	8,46E-07	1,06E+05
46,42	122443,2312	2,72E-03	2,29E+00	7,49E-07	1,20E+05
62,36	244221,0278	1,73E-03	3,40E+00	3,75E-07	2,40E+05
83,77	396862,4742	2,55E-03	4,11E+00	2,31E-07	3,90E+05
112,5	102559,9902	2,61E-03	7,91E-01	8,94E-07	1,01E+05
151,2	143530,9961	2,90E-03	8,24E-01	6,39E-07	1,41E+05
203,1	133410,8233	1,74E-03	5,70E-01	6,87E-07	1,31E+05
272,8	154319,0762	1,20E-03	4,91E-01	5,94E-07	1,52E+05
366,5	216939,5899	1,71E-03	5,14E-01	4,23E-07	2,13E+05
492,4	173837,5789	1,15E-03	3,06E-01	5,27E-07	1,71E+05
661,5	148194,7094	1,61E-03	1,94E-01	6,19E-07	1,45E+05
888,6	110810,1622	1,95E-03	1,08E-01	8,27E-07	1,09E+05
1194	97405,5647	2,11E-03	7,08E-02	9,41E-07	9,56E+04
1604	83003,52865	2,46E-03	4,49E-02	1,10E-06	8,15E+04
2154	52833,03877	3,78E-03	2,13E-02	1,74E-06	5,19E+04
2894	49209,96684	3,93E-03	1,48E-02	1,86E-06	4,83E+04
3888	38871,77358	4,90E-03	8,68E-03	2,36E-06	3,82E+04
5223	29740,38418	6,32E-03	4,94E-03	3,08E-06	2,92E+04
7017	22006,42075	8,45E-03	2,72E-03	4,17E-06	2,16E+04
9427	16643,65418	1,12E-02	1,53E-03	5,51E-06	1,63E+04
12660	12548,5247	1,48E-02	8,60E-04	7,31E-06	1,23E+04
17010	9511,152899	1,94E-02	4,85E-04	9,64E-06	9,34E+03
22850	7207,866275	2,55E-02	2,74E-04	1,27E-05	7,08E+03
30700	5453,819217	3,37E-02	1,54E-04	1,68E-05	5,35E+03
41250	4094,109248	4,49E-02	8,62E-05	2,24E-05	4,02E+03
55410	3101,522362	5,92E-02	4,86E-05	2,96E-05	3,04E+03
74440	2332,355864	7,87E-02	2,72E-05	3,93E-05	2,29E+03
100000	1744,329697	1,05E-01	1,51E-05	5,26E-05	1,71E+03

k) Cu60Cr40 750 MPa

Frequency	Conductivity (S/cm)	Z(ohm)	Cs(F)	Rs(ohm)	G(S)
1	25212664,25	2,26E-03	1,25E+03	3,64E-08	2,48E+07
1,343	33904619,36	2,25E-03	1,25E+03	2,70E-08	3,33E+07
1,805	11594982,84	2,29E-03	3,19E+02	7,91E-08	1,14E+07
2,424	64414760,85	2,34E-03	1,32E+03	1,42E-08	6,32E+07
3,257	35856683,98	2,31E-03	5,46E+02	2,56E-08	3,52E+07
4,375	18311629,11	2,28E-03	2,08E+02	5,01E-08	1,80E+07
5,878	30554839,09	2,27E-03	2,58E+02	3,00E-08	3,00E+07
7,897	94863366,72	2,24E-03	5,96E+02	9,66E-09	9,31E+07
10,61	14959733,55	2,13E-03	6,99E+01	6,13E-08	1,47E+07
14,25	8413256,556	2,19E-03	2,93E+01	1,09E-07	8,26E+06
19,14	5747230,158	2,15E-03	1,49E+01	1,60E-07	5,64E+06
25,72	6488763,252	2,42E-03	1,25E+01	1,41E-07	6,37E+06
34,55	3740412,973	2,51E-03	5,37E+00	2,45E-07	3,67E+06
46,42	2276222,796	2,53E-03	2,43E+00	4,03E-07	2,23E+06
62,36	2122065,908	2,59E-03	1,69E+00	4,32E-07	2,08E+06
83,77	47803391,73	1,45E-03	2,83E+01	1,92E-08	4,69E+07
112,5	1067635,062	3,81E-03	4,71E-01	8,59E-07	1,05E+06
151,2	1358179,67	2,81E-03	4,46E-01	6,75E-07	1,33E+06
203,1	2427236,291	1,38E-03	5,93E-01	3,78E-07	2,38E+06
272,8	64763208,78	1,76E-03	1,18E+01	1,42E-08	6,36E+07
366,5	2219077,151	1,46E-03	3,00E-01	4,13E-07	2,18E+06
492,4	1855411,816	1,89E-03	1,87E-01	4,94E-07	1,82E+06
661,5	2308153,12	1,65E-03	1,73E-01	3,97E-07	2,27E+06
888,6	1849849,324	1,89E-03	1,03E-01	4,96E-07	1,82E+06
1194	1216886,128	2,89E-03	5,06E-02	7,53E-07	1,19E+06
1604	1186730,648	2,81E-03	3,67E-02	7,72E-07	1,17E+06
2154	855320,463	3,86E-03	1,97E-02	1,07E-06	8,40E+05
2894	708026,4918	4,66E-03	1,21E-02	1,29E-06	6,95E+05
3888	581872,9195	5,59E-03	7,42E-03	1,58E-06	5,71E+05
5223	413282,9683	7,81E-03	3,93E-03	2,22E-06	4,06E+05
7017	309497,7962	1,04E-02	2,19E-03	2,96E-06	3,04E+05
9427	237812,3075	1,36E-02	1,25E-03	3,85E-06	2,33E+05
12660	177464,8038	1,82E-02	6,95E-04	5,17E-06	1,74E+05
17010	134412,62	2,39E-02	3,92E-04	6,82E-06	1,32E+05
22850	101286,8127	3,17E-02	2,20E-04	9,05E-06	9,94E+04
30700	76971,66014	4,18E-02	1,24E-04	1,19E-05	7,56E+04
41250	58163,03186	5,52E-02	6,99E-05	1,58E-05	5,71E+04
55410	43238,60136	7,43E-02	3,87E-05	2,12E-05	4,24E+04
74440	32536,92366	9,87E-02	2,17E-05	2,82E-05	3,19E+04
100000	24298,09658	1,32E-01	1,21E-05	3,77E-05	2,39E+04

l) Cu60Cr40 1000 MPa

Frequency	Conductivity (S/cm)	Z(ohm)	Cs(F)	Rs(ohm)	G(S)
1	2521266,425	2,26E-03	1,25E+03	3,64E-08	2,48E+06
1,343	3390461,936	2,25E-03	1,25E+03	2,70E-08	3,33E+06
1,805	1159498,284	2,29E-03	3,19E+02	7,91E-08	1,14E+06
2,424	6441476,085	2,34E-03	1,32E+03	1,42E-08	6,32E+06
3,257	3585668,398	2,31E-03	5,46E+02	2,56E-08	3,52E+06
4,375	1831162,911	2,28E-03	2,08E+02	5,01E-08	1,80E+06
5,878	3055483,909	2,27E-03	2,58E+02	3,00E-08	3,00E+06
7,897	9486336,672	2,24E-03	5,96E+02	9,66E-09	9,31E+06
10,61	1495973,355	2,13E-03	6,99E+01	6,13E-08	1,47E+06
14,25	841325,6556	2,19E-03	2,93E+01	1,09E-07	8,26E+05
19,14	574723,0158	2,15E-03	1,49E+01	1,60E-07	5,64E+05
25,72	648876,3252	2,42E-03	1,25E+01	1,41E-07	6,37E+05
34,55	374041,2973	2,51E-03	5,37E+00	2,45E-07	3,67E+05
46,42	227622,2796	2,53E-03	2,43E+00	4,03E-07	2,23E+05
62,36	212206,5908	2,59E-03	1,69E+00	4,32E-07	2,08E+05
83,77	4780339,173	1,45E-03	2,83E+01	1,92E-08	4,69E+06
112,5	106763,5062	3,81E-03	4,71E-01	8,59E-07	1,05E+05
151,2	135817,967	2,81E-03	4,46E-01	6,75E-07	1,33E+05
203,1	242723,6291	1,38E-03	5,93E-01	3,78E-07	2,38E+05
272,8	6476320,878	1,76E-03	1,18E+01	1,42E-08	6,36E+06
366,5	221907,7151	1,46E-03	3,00E-01	4,13E-07	2,18E+05
492,4	185541,1816	1,89E-03	1,87E-01	4,94E-07	1,82E+05
661,5	230815,312	1,65E-03	1,73E-01	3,97E-07	2,27E+05
888,6	184984,9324	1,89E-03	1,03E-01	4,96E-07	1,82E+05
1194	121688,6128	2,89E-03	5,06E-02	7,53E-07	1,19E+05
1604	118673,0648	2,81E-03	3,67E-02	7,72E-07	1,17E+05
2154	85532,0463	3,86E-03	1,97E-02	1,07E-06	8,40E+04
2894	70802,64918	4,66E-03	1,21E-02	1,29E-06	6,95E+04
3888	58187,29195	5,59E-03	7,42E-03	1,58E-06	5,71E+04
5223	41328,29683	7,81E-03	3,93E-03	2,22E-06	4,06E+04
7017	30949,77962	1,04E-02	2,19E-03	2,96E-06	3,04E+04
9427	23781,23075	1,36E-02	1,25E-03	3,85E-06	2,33E+04
12660	17746,48038	1,82E-02	6,95E-04	5,17E-06	1,74E+04
17010	13441,262	2,39E-02	3,92E-04	6,82E-06	1,32E+04
22850	10128,68127	3,17E-02	2,20E-04	9,05E-06	9,94E+03
30700	7697,166014	4,18E-02	1,24E-04	1,19E-05	7,56E+03
41250	5816,303186	5,52E-02	6,99E-05	1,58E-05	5,71E+03
55410	4323,860136	7,43E-02	3,87E-05	2,12E-05	4,24E+03
74440	3253,692366	9,87E-02	2,17E-05	2,82E-05	3,19E+03
100000	2429,809658	1,32E-01	1,21E-05	3,77E-05	2,39E+03



PERHITUNGAN UKURAN KRISTAL DENGAN METODE SCHERRER
 FORMULA

Diketahui : $\lambda \text{ Cu} = 1,54060 \text{ \AA} = 0,15406 \text{ nm}$

1 rad = $57,3^\circ$

$$D = 0.9 \lambda / B \cos \theta$$

a) Cu murni

2teta	teta	FWHM		Ukuran kristal (nm)
		deg	rad	
43,300	21,65	0,1079	0,001883	79,22512117
50,432	25,2158	0,12	0,002094	71,23658812
74,110	37,055	0,124	0,002164	68,93863367
Rata-rata				73,13344765

b) Cu90Cr10 500 MPa

2teta	teta	FWHM		Ukuran kristal (nm)
		deg	rad	
43,325	21,663	0,184	0,00320419	46,56136447
50,406	25,203	0,082	0,00142408	107,6079293
74,115	37,057	0,102	0,0017801	97,6076736
				83,92565578

c) Cu90Cr10 750 Mpa

2teta	teta	FWHM		Ukuran kristal (nm)
		deg	rad	
43,296	21,64775	0,102	0,001780	83,844
50,386	25,19295	0,122	0,002136	71,739
74,083	37,04165	0,122	0,002136	81,320
				78,968

d) Cu90Cr10 1000 Mpa

2teta	teta	FWHM		Ukuran kristal (nm)
		deg	rad	
43,294	21,647	0,122	0,002136	69,834



50,400	25,200	0,143	0,002492	61,488
74,042	37,021	0,122	0,002136	81,298
				70,873

e) Cu80Cr20 500 MPa

2teta	teta	FWHM		Ukuran kristal (nm)
		deg	rad	
43,293	21,646	0,143	0,002496	59,779
50,369	25,185	0,253	0,004415	34,737
74,070	37,035	0,229	0,003997	43,465
89,837	44,919	0,320	0,005585	35,062
				43,261

f) Cu80Cr20 750 MPa

2teta	teta	FWHM		Ukuran kristal (nm)
		deg	rad	
50,185	25,093	0,290	0,005061	30,251
73,907	36,954	0,245	0,004276	40,580
89,684	44,842	0,360	0,006283	29,172
				33,334

g) Cu80Cr20 1000 MPa

2teta	teta	FWHM		Ukuran kristal (nm)
		deg	rad	
43,2912	21,6456	0,192	0,003351	44,51904
50,373	25,1865	0,328	0,005724	26,77075
74,073	37,0365	0,336	0,005864	29,62348
				33,63776

h) Cu70Cr30 500 Mpa

2teta	teta	FWHM		Ukuran kristal (nm)
		deg	rad	
43,292	21,646	0,102	0,001780	83,801
50,396	25,198	0,204	0,003560	43,043
74,085	37,042	0,184	0,003204	54,220



60,354

i) Cu70Cr30 750 MPa

2teta	teta	FWHM		Ukuran kristal (nm)
		deg	rad	
43,2966	21,648	0,132	0,002304	64,756
50,375	25,188	0,234	0,004084	37,520
74,08	37,040	0,195	0,003403	51,043
				51,106

g) Cu70Cr30 1000 MPa

2teta	teta	FWHM		Ukuran kristal (nm)
		deg	rad	
43,2976	21,6488	0,133	0,002321	64,26928
50,374	25,187	0,263	0,00459	33,38254
74,079	37,0395	0,195	0,003403	51,04222
89,861	44,9305	0,27	0,004712	41,5635
				47,56439

h) Cu60Cr40 500 MPa

2teta	teta	FWHM		Ukuran kristal (nm)
		deg	rad	
43,445	21,72255	0,1506	0,002628	56,7927751
50,489	25,2445	0,1004	0,001752	87,4876319
74,166	37,08295	0,1004	0,001752	99,2004678
				81,1602916

i) Cu60Cr40 750 MPa

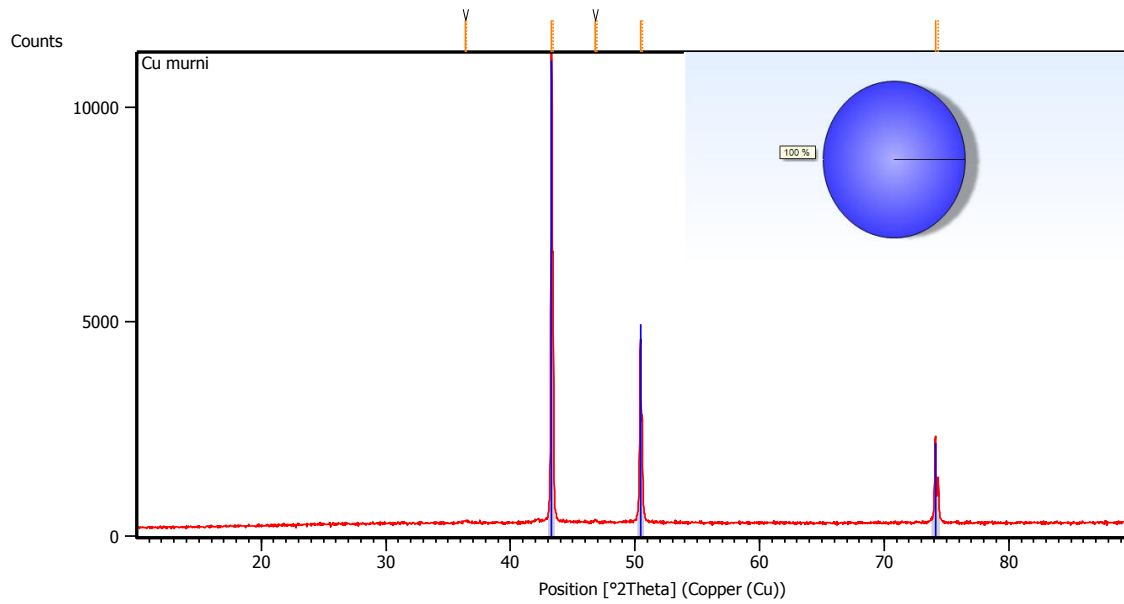
2teta	teta	FWHM		Ukuran kristal (nm)
		deg	rad	
43,368	21,684	0,258	0,004503	33,139
50,434	25,217	0,354	0,006178	24,807
74,128	37,064	0,29	0,005061	34,333
				30,760



j) Cu60Cr40 1000 MPa

2teta	teta	FWHM		Ukuran kristal (nm)
		deg	rad	
43,3212	21,6606	0,14	0,002443	61,061
50,438	25,219	0,23	0,004014	38,182
74,124	37,062	0,23	0,004014	43,288
				47,510

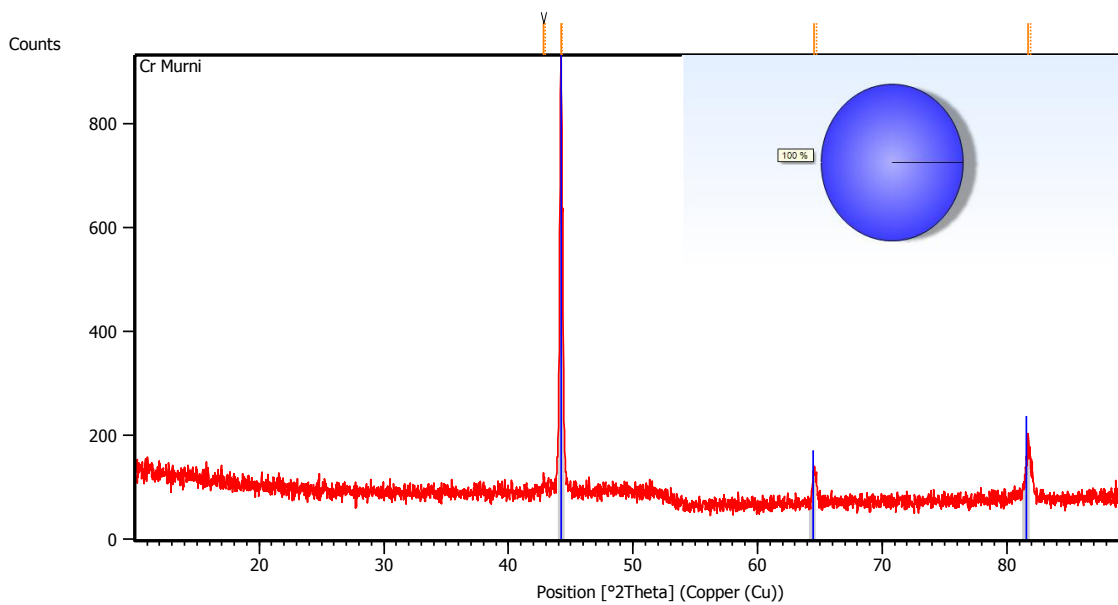
Lampiran Data XRD

**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\text{Th.}$]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
36.39(2)	38(4)	0.49(8)	2.46690	0.37
36.48(2)	19(4)	0.49(8)	2.46690	0.19
43.3000(2)	10188(57)	0.1079(7)	2.08789	100.00
43.4131(2)	5094(57)	0.1079(7)	2.08789	50.00
46.794(8)	73(15)	0.08(3)	1.93981	0.72
46.917(8)	36(15)	0.08(3)	1.93981	0.36
50.4316(4)	3955(35)	0.120(1)	1.80809	38.82
50.5657(4)	1978(35)	0.120(1)	1.80809	19.41
74.1100(6)	1907(23)	0.124(2)	1.27833	18.71
74.3251(6)	953(23)	0.124(2)	1.27833	9.36

Pattern List: (Bookmark 4)

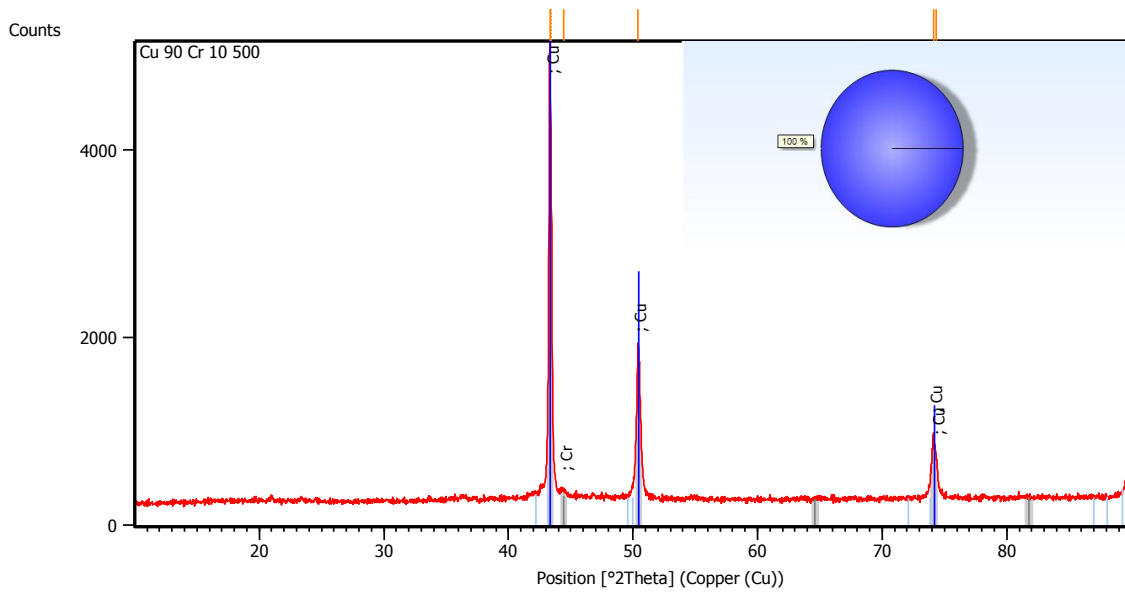
Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Scale Factor	Chemical Formula
*	03-065-9026	88	Copper	-0.036	0.953	Cu

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
42.82(1)	25(7)	0.11(5)	2.11029	3.87
42.93(1)	13(7)	0.11(5)	2.11029	1.94
44.203(1)	658(13)	0.211(4)	2.04731	100.00
44.319(1)	329(13)	0.211(4)	2.04731	50.00
64.528(8)	57(5)	0.26(3)	1.44300	8.61
64.707(8)	28(5)	0.26(3)	1.44300	4.31
81.684(8)	81(5)	0.38(4)	1.17787	12.35
81.931(8)	41(5)	0.38(4)	1.17787	6.18

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-077-7590	56	Chromium	-0.130	0.960	Cr

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)**Peak List:** (Bookmark 3)

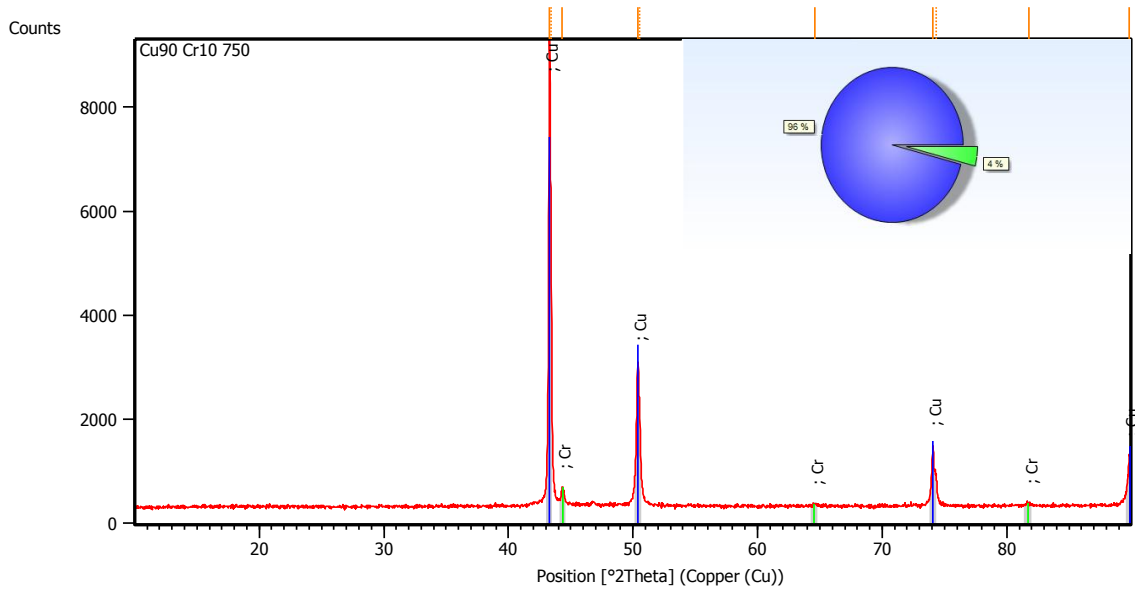
Pos. [$^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}$ 2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.3252	4829.67	0.1836	2.08674	100.00
43.4469	3084.34	0.0612	2.08635	63.86
44.4239	64.37	0.3264	2.03765	1.33
50.4056	1550.85	0.0816	1.80896	32.11
74.1148	687.11	0.1020	1.27826	14.23
74.3183	450.95	0.2040	1.27526	9.34

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [$^{\circ}$ 2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-071-4609	82	Copper	-0.056	0.920	Cu

*	01-077- 7591	No Matching Lines	Chromium	0.042	0.000	Cr
---	-----------------	-------------------------	----------	-------	-------	----

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)

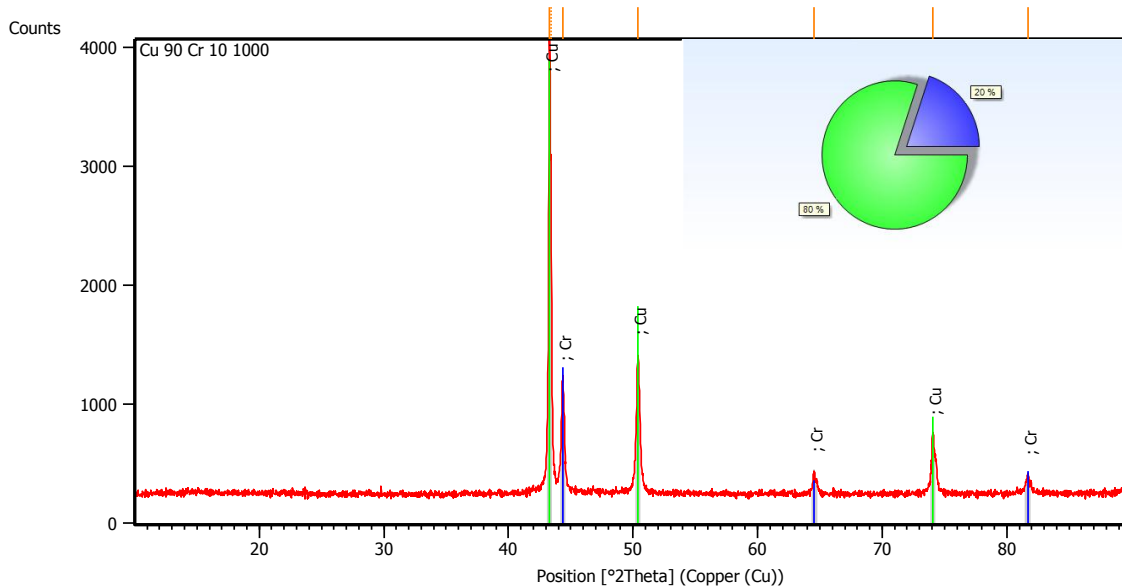


Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.2955	8934.97	0.1020	2.08810	100.00
43.4254	5453.31	0.0816	2.08733	61.03
44.3301	319.80	0.2448	2.04174	3.58
50.3859	2752.44	0.1224	1.80963	30.81
50.5336	1874.92	0.0816	1.80916	20.98
64.5796	41.60	0.2448	1.44196	0.47
74.0833	1140.38	0.1224	1.27873	12.76
74.3170	582.66	0.1224	1.27845	6.52
81.7466	50.06	0.4896	1.17713	0.56
89.8447	922.64	0.1428	1.09085	10.33

Pattern List: (Bookmark 4)

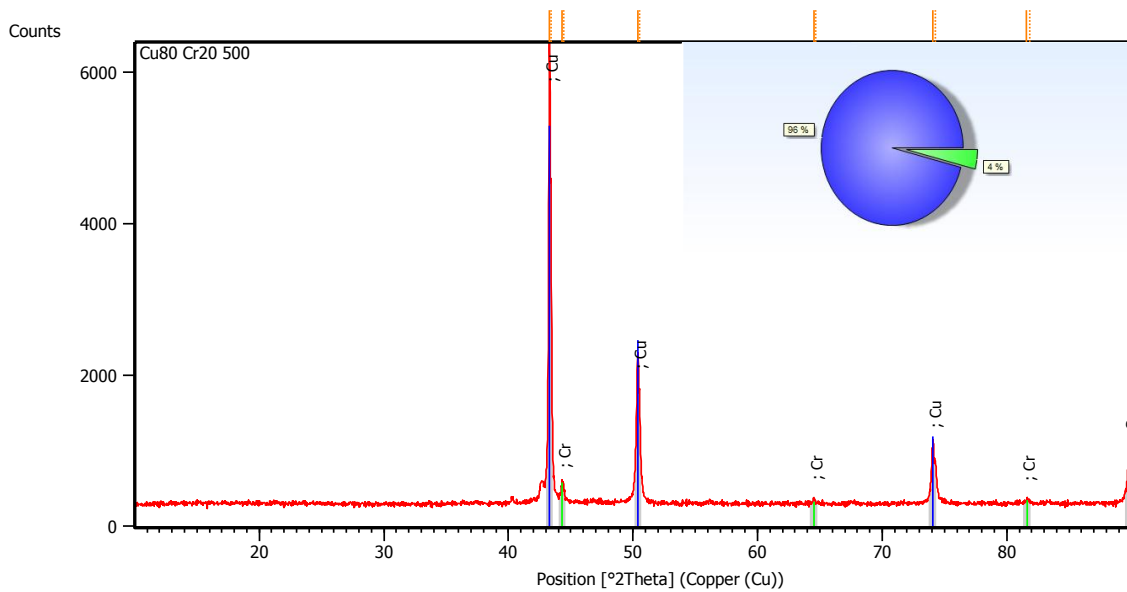
Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-089-2838	83	Copper	-0.048	0.743	Cu
*	01-077-7591	65	Chromium	-0.031	0.037	Cr

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.2940	3701.98	0.1224	2.08817	100.00
43.4187	2503.21	0.0816	2.08764	67.62
44.3510	935.99	0.1428	2.04082	25.28
50.4000	1146.13	0.1428	1.80915	30.96
64.5529	193.75	0.1224	1.44249	5.23
74.0422	486.71	0.1224	1.27933	13.15
81.7036	159.47	0.2040	1.17764	4.31

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-077-7591	80	Chromium	-0.023	0.247	Cr
*	01-071-4610	72	Copper	-0.014	0.859	Cu

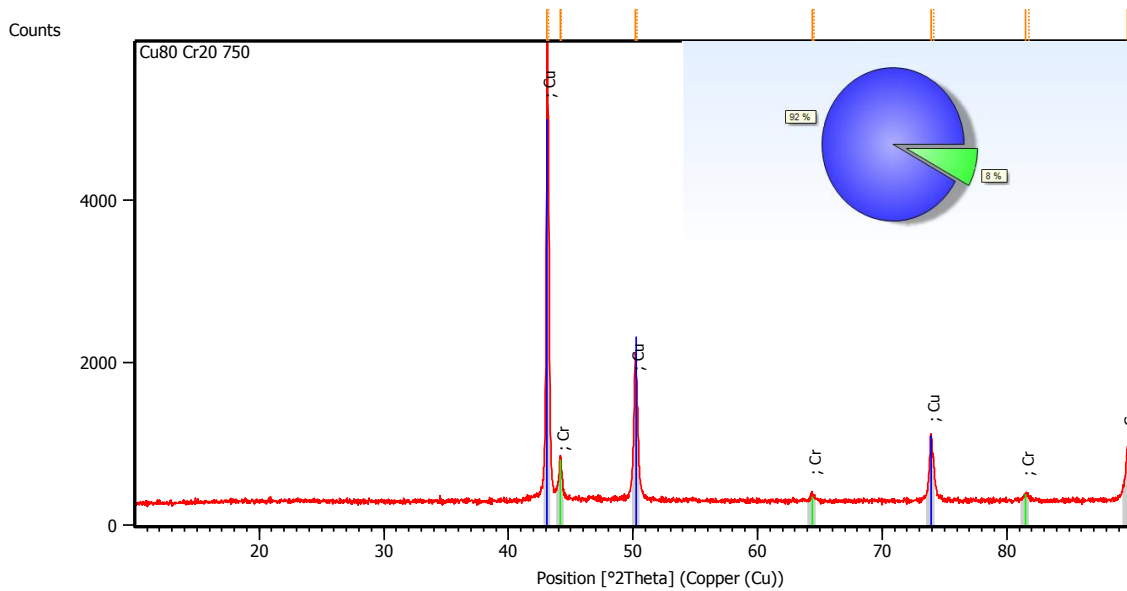
Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.2927(4)	5291(46)	0.143(1)	2.08823	100.00
43.4057(4)	2646(46)	0.143(1)	2.08823	50.00
44.319(5)	201(14)	0.20(3)	2.04223	3.80
44.435(5)	101(14)	0.20(3)	2.04223	1.90
50.369(1)	1497(22)	0.253(3)	1.81018	28.30

50.503(1)	749(22)	0.253(3)	1.81018	14.15
64.51(1)	57(10)	0.16(5)	1.44337	1.08
64.69(1)	29(10)	0.16(5)	1.44337	0.54
74.070(2)	728(14)	0.229(7)	1.27892	13.77
74.285(2)	364(14)	0.229(7)	1.27892	6.88
81.59(2)	39(7)	0.36(9)	1.17903	0.73
81.83(2)	19(7)	0.36(9)	1.17903	0.37
89.837(4)	569(13)	0.32(1)	1.09092	10.76
90.121(4)	285(13)	0.32(1)	1.09092	5.38

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [$^{\circ}2\theta$.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-071-4610	83	Copper	-0.027	0.778	Cu
*	01-077-7590	64	Chromium	-0.058	0.042	Cr

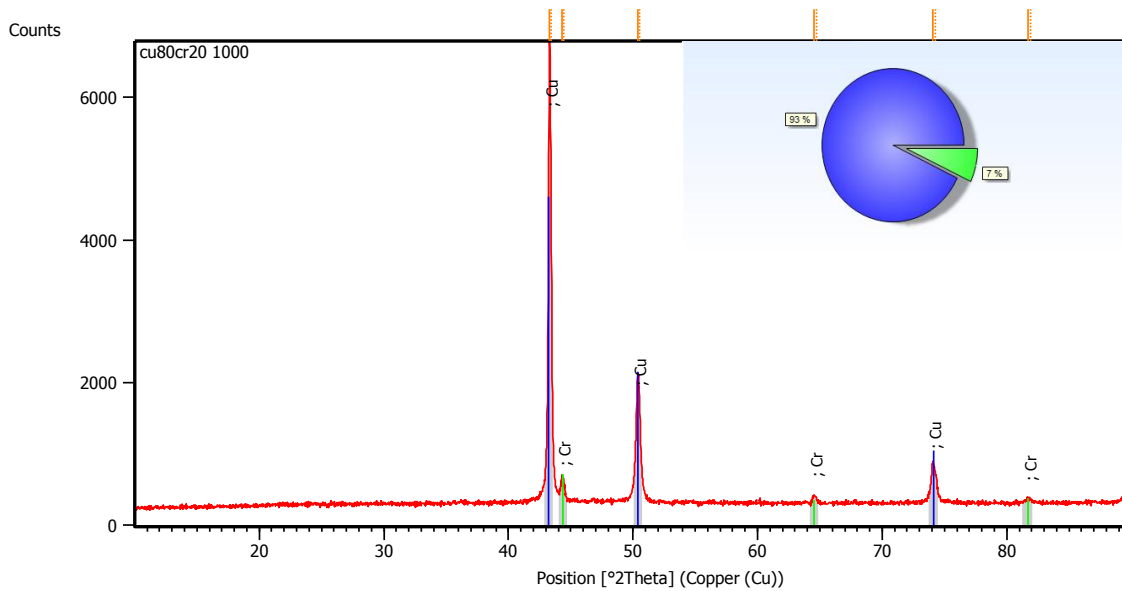
Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [$^{\circ}2\theta$.]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\theta$.]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
43.1114(5)	4680(38)	0.176(2)	2.09659	100.00
43.2239(5)	2340(38)	0.176(2)	2.09659	50.00
44.146(3)	345(12)	0.248(9)	2.04984	7.37

44.261(3)	173(12)	0.248(9)	2.04984	3.69
50.185(1)	1333(18)	0.290(3)	1.81639	28.49
50.319(1)	667(18)	0.290(3)	1.81639	14.25
64.369(9)	93(10)	0.18(4)	1.44617	1.98
64.548(9)	46(10)	0.18(4)	1.44617	0.99
73.907(2)	719(17)	0.245(5)	1.28134	15.36
74.122(2)	359(17)	0.245(5)	1.28134	7.68
81.50(2)	67(8)	0.40(8)	1.18008	1.43
81.74(2)	33(8)	0.40(8)	1.18008	0.72
89.684(4)	528(12)	0.36(1)	1.09238	11.28
89.968(4)	264(12)	0.36(1)	1.09238	5.64

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	03-065-9026	82	Copper	-0.243	0.783	Cu
*	01-077-7590	71	Chromium	-0.202	0.081	Cr

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)**Peak List:** (Bookmark 3)

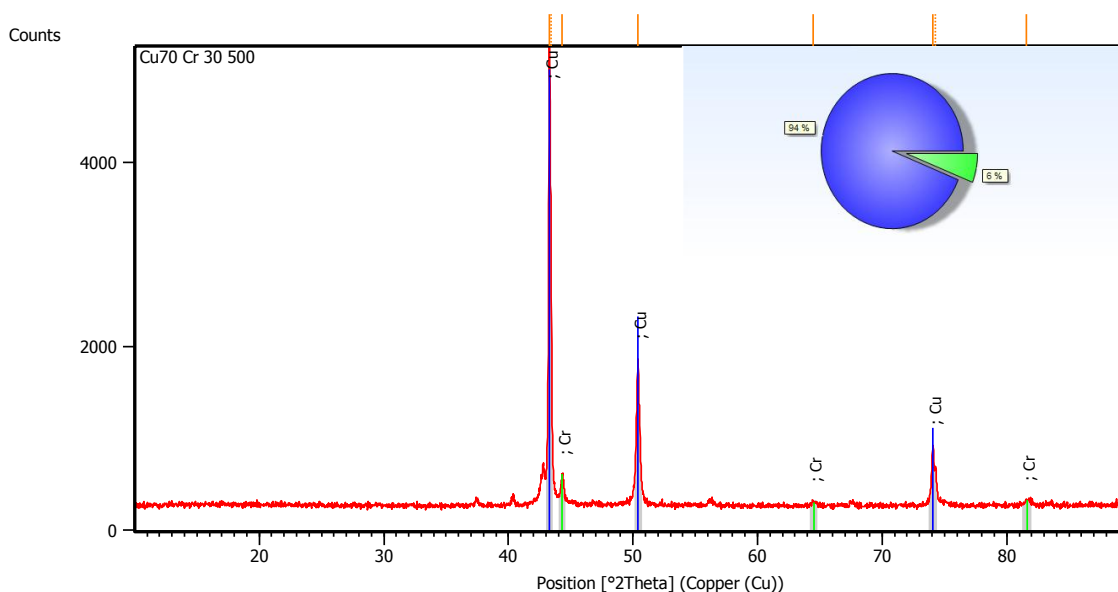
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.2912(4)	5246(40)	0.192(2)	2.08830	100.00
43.4042(4)	2623(40)	0.192(2)	2.08830	50.00
44.323(4)	214(8)	0.29(1)	2.04206	4.08

44.439(4)	107(8)	0.29(1)	2.04206	2.04
50.373(1)	1330(23)	0.328(3)	1.81004	25.34
50.507(1)	665(23)	0.328(3)	1.81004	12.67
64.53(1)	97(11)	0.23(4)	1.44303	1.85
64.71(1)	48(11)	0.23(4)	1.44303	0.92
74.073(3)	467(14)	0.336(8)	1.27887	8.90
74.288(3)	233(14)	0.336(8)	1.27887	4.45
81.69(3)	45(8)	0.5(2)	1.17781	0.86
81.94(3)	23(8)	0.5(2)	1.17781	0.43

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	03-065-9743	69	Copper	-0.166	0.628	Cu
*	01-077-7591	72	Chromium	-0.047	0.056	Cr

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



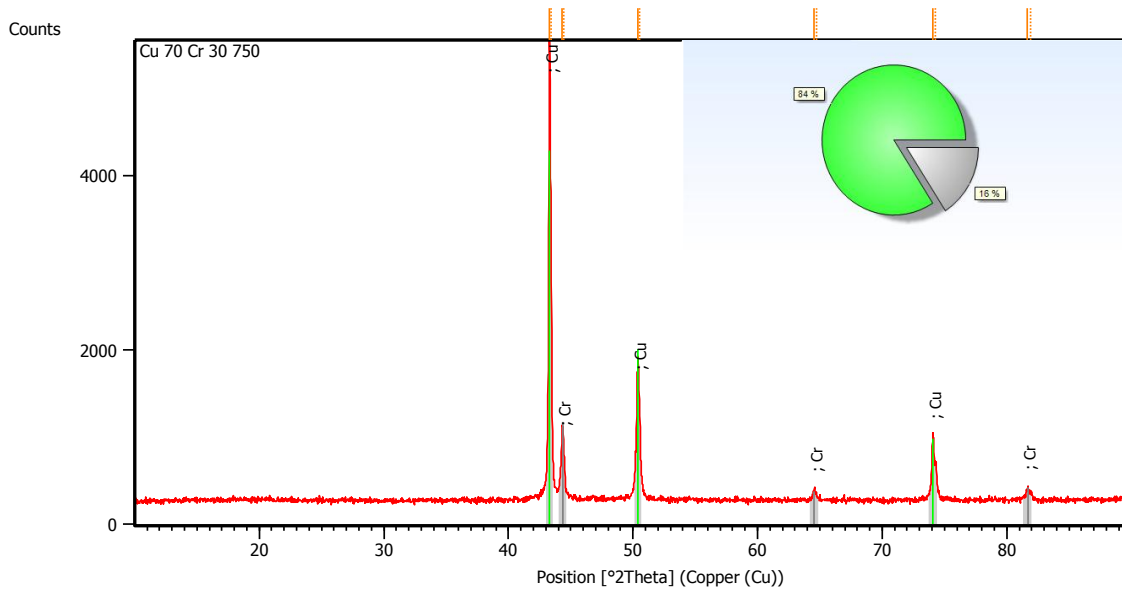
Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.2918	4979.23	0.1020	2.08827	100.00
43.4187	2981.54	0.0612	2.08764	59.88
44.3055	332.93	0.1020	2.04282	6.69
50.3961	1574.22	0.2040	1.80928	31.62
64.4868	50.66	0.4896	1.44381	1.02
74.0849	652.49	0.1836	1.27870	13.10

74.2924	388.53	0.1224	1.27881	7.80
81.6030	57.33	0.5712	1.17884	1.15

Pattern List: (Bookmark 4)

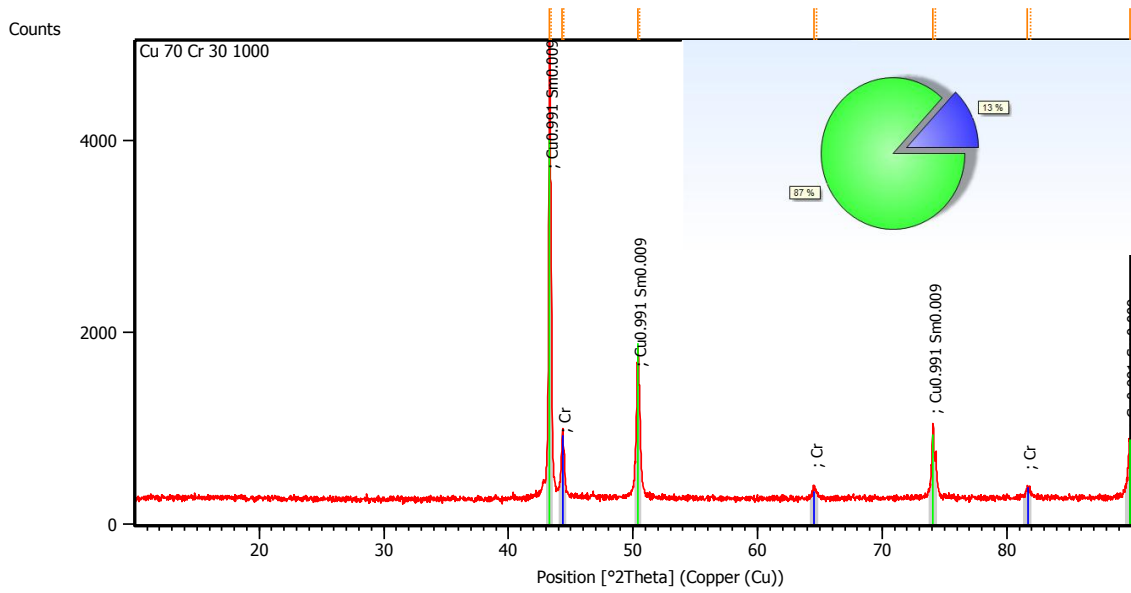
Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-071-4610	74	Copper	-0.007	0.870	Cu
*	01-077-7590	74	Chromium	-0.068	0.061	Cr

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.2966(4)	4658(43)	0.132(1)	2.08805	100.00
43.4097(4)	2329(43)	0.132(1)	2.08805	50.00
44.324(2)	615(16)	0.228(6)	2.04200	13.20
44.440(2)	307(16)	0.228(6)	2.04200	6.60
50.375(1)	1250(21)	0.234(5)	1.80999	26.85
50.509(1)	625(21)	0.234(5)	1.80999	13.42
64.537(9)	103(10)	0.23(3)	1.44282	2.21
64.717(9)	52(10)	0.23(3)	1.44282	1.11
74.080(2)	693(14)	0.195(6)	1.27878	14.89
74.295(2)	347(14)	0.195(6)	1.27878	7.44
81.658(8)	124(8)	0.29(3)	1.17818	2.67
81.904(8)	62(8)	0.29(3)	1.17818	1.33

Pattern List: (Bookmark 4)

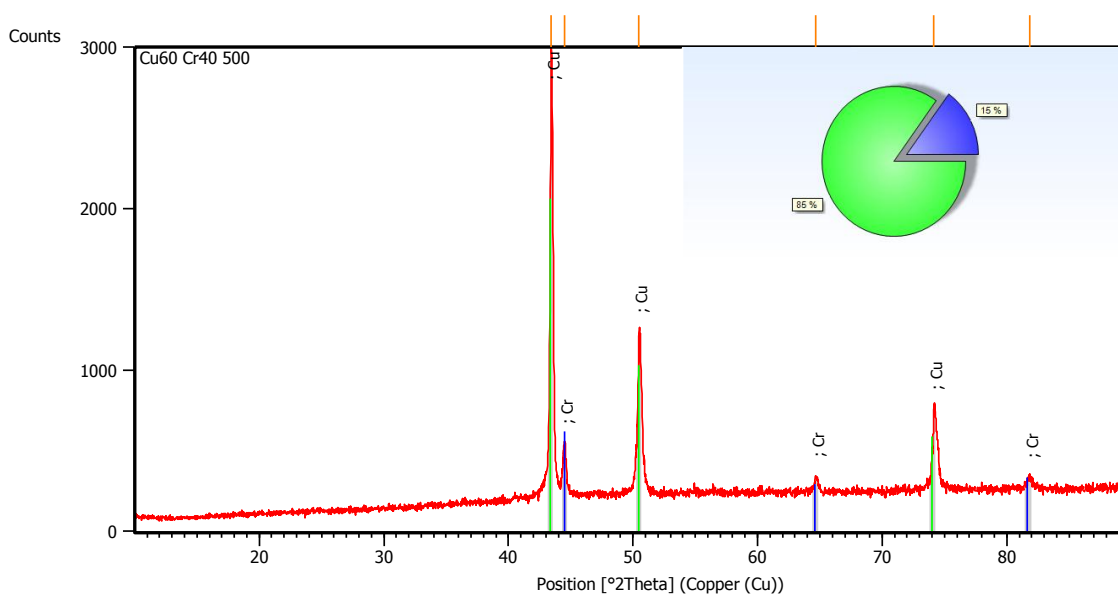
Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-071-4610	72	Copper	-0.022	0.717	Cu
*	01-077-7591	83	Chromium	-0.048	0.158	Cr

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.2976(5)	4225(41)	0.133(2)	2.08801	100.00
43.4106(5)	2112(41)	0.133(2)	2.08801	50.00
44.333(2)	470(15)	0.231(7)	2.04163	11.13
44.449(2)	235(15)	0.231(7)	2.04163	5.56
50.374(1)	1154(18)	0.263(4)	1.81004	27.33
50.507(1)	577(18)	0.263(4)	1.81004	13.66
64.525(8)	114(10)	0.21(3)	1.44304	2.69
64.705(8)	57(10)	0.21(3)	1.44304	1.34
74.079(2)	675(14)	0.195(6)	1.27879	15.97
74.294(2)	337(14)	0.195(6)	1.27879	7.99
81.64(1)	89(8)	0.31(5)	1.17838	2.11
81.89(1)	45(8)	0.31(5)	1.17838	1.06
89.861(4)	526(13)	0.27(1)	1.09069	12.45
90.146(4)	263(13)	0.27(1)	1.09069	6.23

Pattern List: (Bookmark 4)

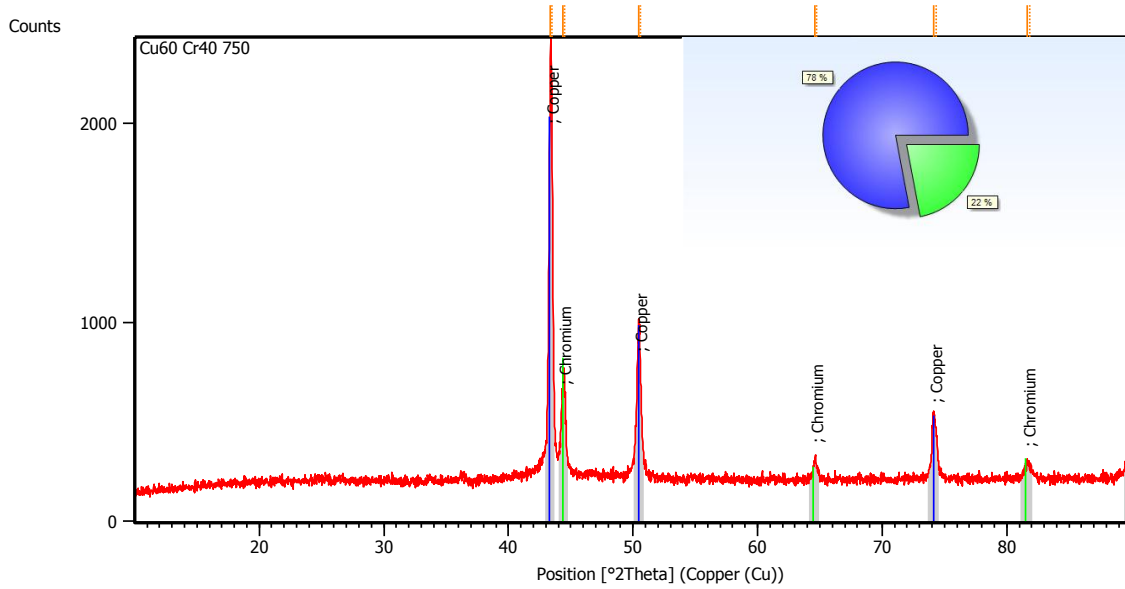
Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-077-7591	75	Chromium	-0.044	0.127	Cr
*	01-074-5799	83	Copper	-0.030	0.738	Cu _{0.991} Sm _{0.009}

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.4451	2773.57	0.1506	2.08298	100.00
44.5297	323.05	0.0836	2.03473	11.65
50.4890	989.46	0.1004	1.80767	35.67
64.6690	95.08	0.2342	1.44138	3.43
74.1659	489.65	0.1004	1.27856	17.65
81.8273	66.49	0.4015	1.17715	2.40

Pattern List: (Bookmark 4)

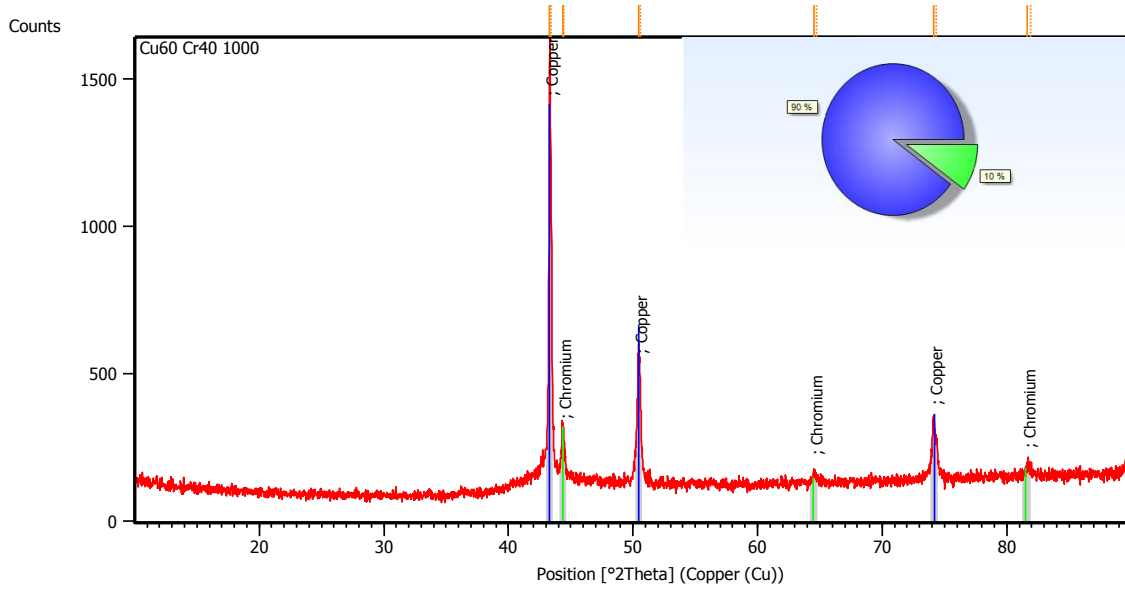
Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-071-4644	74	Chromium	0.269	0.118	Cr
*	01-071-4611	62	Copper	0.177	0.548	Cu

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.368(1)	1651(20)	0.258(3)	2.08478	100.00
43.481(1)	826(20)	0.258(3)	2.08478	50.00
44.390(3)	342(7)	0.338(9)	2.03914	20.70
44.506(3)	171(7)	0.338(9)	2.03914	10.35
50.434(2)	531(9)	0.354(7)	1.80802	32.13
50.568(2)	265(9)	0.354(7)	1.80802	16.07
64.58(1)	89(11)	0.27(3)	1.44189	5.42
64.76(1)	45(11)	0.27(3)	1.44189	2.71
74.128(4)	282(10)	0.29(1)	1.27806	17.08
74.344(4)	141(10)	0.29(1)	1.27806	8.54
81.63(1)	60(4)	0.59(5)	1.17852	3.63
81.88(1)	30(4)	0.59(5)	1.17852	1.81

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-074-5761	70	Copper	-0.005	0.732	Cu _{0.995} Eu _{0.005}
*	01-071-4644	81	Chromium	0.182	0.238	Cr

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.3212(9)	1258(23)	0.140(3)	2.08692	100.00
43.4343(9)	629(23)	0.140(3)	2.08692	50.00
44.351(5)	134(9)	0.21(2)	2.04082	10.62
44.467(5)	67(9)	0.21(2)	2.04082	5.31
50.438(2)	374(13)	0.23(1)	1.80788	29.75
50.572(2)	187(13)	0.23(1)	1.80788	14.87
64.54(2)	31(6)	0.2(1)	1.44266	2.47
64.72(2)	16(6)	0.2(1)	1.44266	1.24
74.124(4)	187(9)	0.23(1)	1.27812	14.89
74.340(4)	94(9)	0.23(1)	1.27812	7.45
81.65(3)	30(6)	0.4(1)	1.17827	2.36
81.90(3)	15(6)	0.4(1)	1.17827	1.18

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-071-4608	80	Copper	-0.080	0.768	Cu
*	01-071-4644	67	Chromium	0.154	0.105	Cr