

KAJIAN TRANSFORMASI FASA SINTESIS PADUAN KOBALT SEBAGAI IMPLAN TULANG *PROSTHESIS* MELALUI METODE METALURGI SERBUK

Rivqotul Hasanah¹⁾, Aminatun¹⁾, Dyah Hikmawati¹⁾

1) Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga
Email : rifqotul.hasanah@yahoo.com

Abstract - This research's aim was to determine the effect of direct and indirect sintering step towards phase formation and the hardness of cobalt alloy as bone implant. Direct sintering step process were at temperature of 800°C and 970°C respectively for 2 hours long then followed by sintering at 1200°C and 1300°C. Whereas indirect sintering step were at 800°C and 970°C respectively for 2 hours long followed by cooling down then sintered again at temperature of 1200°C and 1300°C. The fabrication process of the cobalt alloy with the composition of Co-30%Cr-5%Mo-0.5%Mn-0.5%Si-0.25%N was adapted with ASTM F75 using powder metallurgy method. Analysis of XRD showed the existence of CoO, CoCr₂O₄, and Co₂CrO₄ chemical compound, proved that oxidation was happened on cobalt alloys and Co elements which yet homogeneous with the other elements; and the XRD identification result showed that in direct sintering process there are only two phases, ϵ and σ . Indirect step sintering process with initial temperature of 800°C, phase σ was formed, and when followed by higher temperatures (1200°C and 1300°C), phase ϵ and σ were formed, where in temperature of 1300°C was dominated by σ phase. In sintering with initial temperature of 970°C, phase ϵ was formed, and when followed by temperature of 1200°C, phase ϵ and σ were formed. But when followed by temperature of 1300°C, three phases were formed, γ , ϵ , and σ phase. According to hardness standard of ASTM F75, sample which were sintered at initial temperature of 970°C then followed by temperature of 1300°C with indirect step sintering and has a hardness value of (313.91 ± 123.58) VHN was the best cobalt alloy for prosthesis bone implant candidate.

Keywords : Cobalt Alloy, Powder Metallurgy, Sintering

Abstrak - Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh proses sintering langsung dan bertahap terhadap pembentukan fasa dan kekerasan paduan kobalt sebagai implan tulang. Proses sintering langsung yaitu sintering pada suhu 800°C dan 970°C masing-masing selama 2 jam kemudian masing-masing sampel dilanjutkan dengan sintering 1200°C dan 1300°C, sedangkan proses sintering bertahap yaitu sintering pada suhu 800°C dan 970°C masing-masing penahanan selama 2 jam lalu dibiarkan dingin (*cooling down*), dilanjutkan sintering pada suhu 1200°C dan 1300°C. Pembuatan paduan kobalt dengan komposisi Co-30%Cr-5%Mo-0.5%Mn-0.5%Si-0.25%N disesuaikan dengan ASTM F75 dengan metode metalurgi serbuk. Hasil analisis XRD menunjukkan adanya senyawa CoO, CoCr₂O₄, dan Co₂CrO₄ yang menunjukkan terjadinya oksidasi pada paduan kobalt dan unsur Co yang belum homogen dengan unsur penyusun lainnya; serta hasil analisis identifikasi fasa XRD menunjukkan bahwa proses sintering langsung hanya dua fasa yang muncul yaitu fasa ϵ dan σ . Proses sintering bertahap dengan suhu awal 800°C muncul fasa σ , ketika dilanjutkan pada suhu yang lebih tinggi (1200°C dan 1300°C) terbentuk fasa ϵ dan σ dimana pada suhu 1300°C fasa σ mendominasi. Sintering suhu awal 970°C terbentuk fasa ϵ dan ketika dilanjutkan pada suhu 1200°C muncul fasa ϵ dan σ , namun ketika dilanjutkan pada suhu 1300°C muncul tiga fasa yaitu fasa γ , ϵ , dan σ . Berdasarkan standard kekerasan ASTM F75, sampel yang disintering pada suhu awal 970°C dilanjutkan pada suhu 1300°C dengan proses sintering bertahap dan memiliki nilai kekerasan sebesar (313.91 ± 123.58) VHN merupakan paduan kobalt terbaik sebagai kandidat implan tulang *prosthesis*.

Kata kunci : Paduan Kobalt, Metalurgi Serbuk, Sintering

PENDAHULUAN

Penyakit tulang merupakan penyakit kronis yang tidak menular, yang disebabkan penurunan kepadatan, kekuatan dan struktur tulang sehingga rentan mengalami patah tulang. Patah tulang bisa terjadi pada siapapun tanpa mengenal jenis kelamin dan usia, bisa

dikarenakan jatuh ataupun kecelakaan umum. Mengambil data dari Sistem Informasi Rumah Sakit (SIRS) 2010, kasus patah tulang meningkat setiap tahun sejak 2007. Pada 2007 tercatat ada 22.815 insiden patah tulang, pada 2008 menjadi 36.947, 2009 menjadi 42.280 dan pada 2010 ada 43.003 kejadian ini membutuhkan implan tulang[1].

Implan tulang *prosthesis* merupakan alat pengganti organ gerak manusia yang hilang dikarenakan amputasi atau suatu penyakit secara permanen sehingga mengembalikan fungsi tulang. Implan tulang biasanya terbuat dari logam yang harus bersifat *inert* atau sesuai dengan lingkungan sel hidup. Selain itu, implan di dalam tubuh harus memenuhi syarat mekanis dan non mekanis, yakni syarat mekanis berupa daya pakai yang lama dan kuat, sedangkan syarat non mekanis yaitu memiliki ketahanan korosi, ketahanan aus dan biokompatibilitas yang baik. Kesuksesan piranti implan tulang juga tergantung pada sifat *osseointegrasi* (proses pembentukan tulang baru dan penyembuhan tulang), sifat tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya adalah anatomi, ukuran, desain implan, umur, komposisi kimia, adanya fasa kristalin, amorfus, kekasaran dan porositas[2].

Material logam yang biasa digunakan sebagai alat implan berupa logam *stainless steel*, paduan titanium (Ti), dan paduan logam berbasis kobalt (Co). Logam *stainless steel* kurang baik untuk bahan material implan karena memiliki biokompatibilitas yang rendah sedangkan logam titanium memiliki sifat biokompatibilitas dan ketahanan korosi sangat baik namun harganya sangat mahal. Paduan berbasis dasar Co memiliki tingkat biokompatibilitas yang lebih baik daripada *stainless steel*, memiliki sifat mekanik yang lebih tinggi dan harganya relatif lebih murah dibanding paduan berbasis dasar Ti.

Telah ditemukan pertama kalinya paduan kobalt-kromium yang digunakan sebagai bahan dasar dalam medis pada penanaman implan gigi karena resistansi paduan tersebut dalam lingkungan mulut sangat baik[3]. Ditinjau dari masing-masing unsur, kobalt memiliki kekerasan dan kekuatan yang tinggi, sedangkan kromium bersifat tahan karat, sehingga perpaduan keduanya akan membentuk sifat mekanik dan kimia yang baik[4].

Umumnya untuk implan tulang bentuk bola (seperti sendi atau siku) digunakan paduan kobalt sebagai penggantinya. Pembuatan komponen logam paduan kobalt dapat dilakukan melalui metode metalurgi serbuk. Metode tersebut menggunakan serbuk logam sebagai bahan baku kemudian dilanjutkan dengan pengerjaan kompak dan sinter, yaitu memadatkan (kompaksi) serbuk logam menjadi bentuk yang diinginkan lalu memanaskannya sehingga partikel-partikel logam bersatu. Metode ini menghasilkan produk yang memiliki sejumlah pori yang ukuran dan distribusinya dapat diatur. Proses metalurgi serbuk dapat dilakukan pada temperatur rendah maupun temperatur tinggi.

Penelitian sebelumnya, melakukan optimasi mekanik paduan kobalt melalui proses sintering dengan metode metalurgi serbuk. Variasi suhu sintering yang dilakukan adalah 1100°C, 1200°C, dan 1300°C masing-masing selama 2 jam sedangkan pada suhu 1300°C selama 1 dan 3 jam. Pada sintering 1200°C dan 1300°C telah terbentuk fasa γ (FCC) masing-masing sebesar 29,4% dan 34,9%, hasil yang cukup kecil ini disebabkan karena transformasi HCP ke FCC tidak sempurna[5]. Hasil uji kekerasan meningkat seiring dengan meningkatnya suhu. Penelitian yang sama tetapi bervariasi tekanan kompaksi (339,70; 396,31; 452,93 MPa) dan suhu sintering antara 1200°C - 1300°C. Diperoleh hasil bahwa fasa γ terbentuk pada suhu sintering 1300°C sebesar 84,07% dan tekanan kompaksi sebesar 396,31 MPa serta menunjukkan bahwa seiring meningkatnya tekanan kompaksi dan suhu sintering, nilai kekerasan juga meningkat[6].

Berdasarkan diagram fasa biner Co-Cr pada komposisi 30% Cr, batas suhu fasa ε terbentuk antara 800°C sampai 970°C sedangkan batas suhu fasa γ terbentuk pada suhu 970°C sampai 1400°C. Hasil dari penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa fasa γ terbentuk pada suhu 1200°C dan 1300°C. Hal ini menjadi penting untuk dikaji bagaimana optimasi pembentukan fasa γ akibat transformasi fasa ε yang terbentuk pada suhu sebelumnya. Oleh

sebab itu, penelitian ini akan dilakukan proses sintering dalam dua tahapan yaitu tahap sintering langsung dan bertahap. Tahap sintering langsung yaitu proses sintering yang dilakukan pada suhu batas awal dan akhir terbentuknya fasa ϵ yaitu 800°C dan 970°C kemudian dilanjutkan pada suhu di atas 1200°C dan 1300°C. Sintering bertahap yaitu proses sintering yang dilakukan dengan tahap awal pada suhu 800°C dan 970°C, sampel dibiarkan dingin kemudian masing-masing sampel dilanjutkan sintering pada suhu 1200°C dan 1300°C. Hasilnya dikarakteristik pembentukan fasa dengan uji XRD dan mengukur tingkat kekerasan dengan *Vickers Hardness Tester*.

METODE PENELITIAN

Bahan – bahan yang digunakan dalam pembuatan sampel paduan kobalt pada penelitian ini yaitu serbuk kobalt, serbuk kromium, serbuk molibdenum, serbuk silikon, serbuk mangan, dan nitrogen (dalam bentuk serbuk Cr₂N). Alat-alat yang digunakan adalah timbangan digital, spatula, *aluminium foil*, *High Energy Milling* HEM-E3D, mesin hidrolik, *dies* dan *punch*, *furnace programmable*, krusibel alumina, difraktometer sinar-X untuk uji XRD, dan *Microvickers Hardness* untuk uji kekerasan.

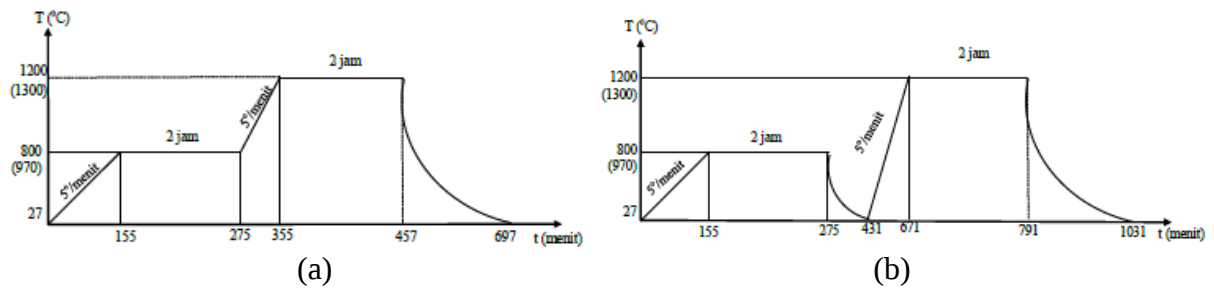
Tahap awal dari penelitian ini adalah menimbang bahan dan komposisi dari masing-masing unsur disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Komposisi Paduan Kobalt

Unsur	Presentase persen berat (%)	Massa (gram)
Kromium (Cr)	30	1,2
Molibdenium (Mo)	5	0,2
Mangan (Mn)	0,5	0,02
Silikon (Si)	0,5	0,02
Nitrogen (N)	0,25	0,001
Kobalt (Co)	63,75	2,55
Total	100	4

Keterangan : Unsur N dimasukkan dalam bentuk Cr₂N

Masing-masing bahan yang telah ditimbang, dicampur menggunakan *High Energy Milling* (HEM) dengan kecepatan rotasi 350 rpm selama 15 menit. Selanjutnya serbuk yang telah dicampur sesuai komposisi (Co-30%Cr-6%Mo) kemudian dikompaksi pada cetakan dengan diameter 15 mm dengan pemberian tekanan 339.70 MPa. Sampel hasil kompaksi berbentuk pelet yang dilanjutkan pada proses sintering dengan variasi suhu 800°C dan 970°C serta waktu penahanan selama 2 jam. Proses ini dibagi menjadi 2 proses sintering yang berbeda, yaitu: 1). Proses sintering langsung yaitu sintering pada suhu 800°C dan 970°C (2 sampel) masing-masing ditahan selama 2 jam kemudian masing-masing sampel dilanjutkan dengan proses sintering 1200°C dan 1300°C. 2). Proses sintering bertahap yaitu sintering pada suhu 800°C dan 970°C (2 sampel) masing-masing ditahan selama 2 jam kemudian dibiarkan dingin (suhu kamar) dan dilanjutkan proses sintering pada suhu 1200°C dan 1300°C untuk masing-masing sampel. Proses sintering digambarkan dalam kurva yang disajikan dalam Gambar 1. Sampel dimasukkan ke dalam *Furnace Programmable* dengan laju kenaikan suhu 5°C/menit yang dialiri gas argon supaya tidak teroksidasi. Tujuan sintering untuk memberi kesempatan atom-atom unsur pepadu berdifusi bebas di dalam matrik sehingga kelarutannya menjadi homogen[5]. Seluruh sampel yang telah disinter diampelas secara berurutan dari yang kasar hingga yang halus memakai kertas amplas dengan nomor 800-2000 mesh. Proses ini bertujuan untuk menghaluskan dan menghilangkan bagian oksida pada sampel sehingga pada saat dilakukan pengujian tidak mengenai bagian yang teroksidasi.

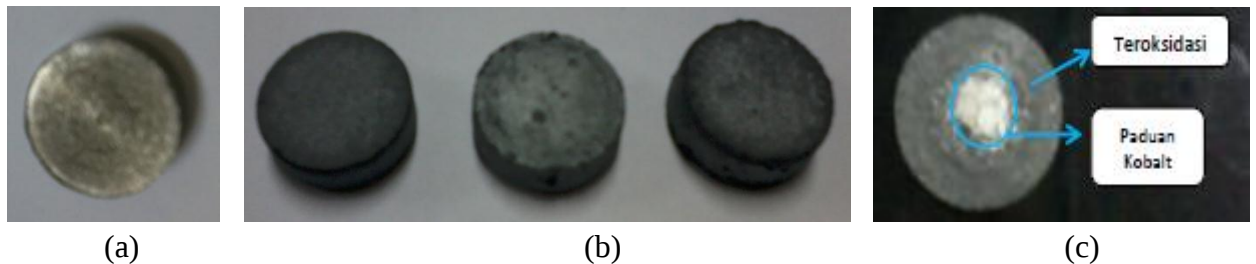


Gambar 1 Kurva Proses Sintering (a) Proses Sintering Langsung (b) Proses Sintering Bertahap

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil Sintesis Paduan Kobalt

Proses awal dari penelitian ini adalah mencampurkan masing-masing bahan menggunakan *High Energy Milling* (HEM), dilanjutkan dengan pembuatan pelet (kompaksi) menggunakan mesin hidrolik dengan tekanan 339.70 MPa (dengan beban 6 ton) pada suhu 200°C (*hot pressing*) dan diameter sampel adalah 15 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 2(a). Beberapa paduan kobalt yang telah disintering ditunjukkan pada Gambar 2(b).



Gambar 2 Sampel Paduan Kobalt (a) setelah dikompaksi (b) setelah disintering (c) setelah digerinda

Permukaan paduan kobalt yang telah disintering seperti pada Gambar 2(b) pada penelitian ini mengalami oksidasi yang menimbulkan warna kehitaman. Hal ini dikarenakan aliran argon tidak maksimum dalam furnace saat proses sintering, dan furnace tidak dalam kondisi vakum sehingga udara (O_2 , CO_2 , H_2O dan lainnya) masih berada pada ruang sampel[7]. Begitu juga ketika digerinda untuk menghilangkan lapisan oksida, sampel membutuhkan waktu yang lama agar paduan kobalt terlihat (mengkilap) seperti ditunjukkan pada Gambar 2(c). Permukaan paduan kobalt (Gambar 2(c)) warna kehitaman merupakan daerah yang mengalami oksidasi.

Setelah dilakukan serangkaian proses di atas, paduan kobalt dikarakterisasi meliputi sifat mikro dengan uji XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui fasa apa saja yang terbentuk dan sifat mekanik yaitu uji kekerasan Vickers.

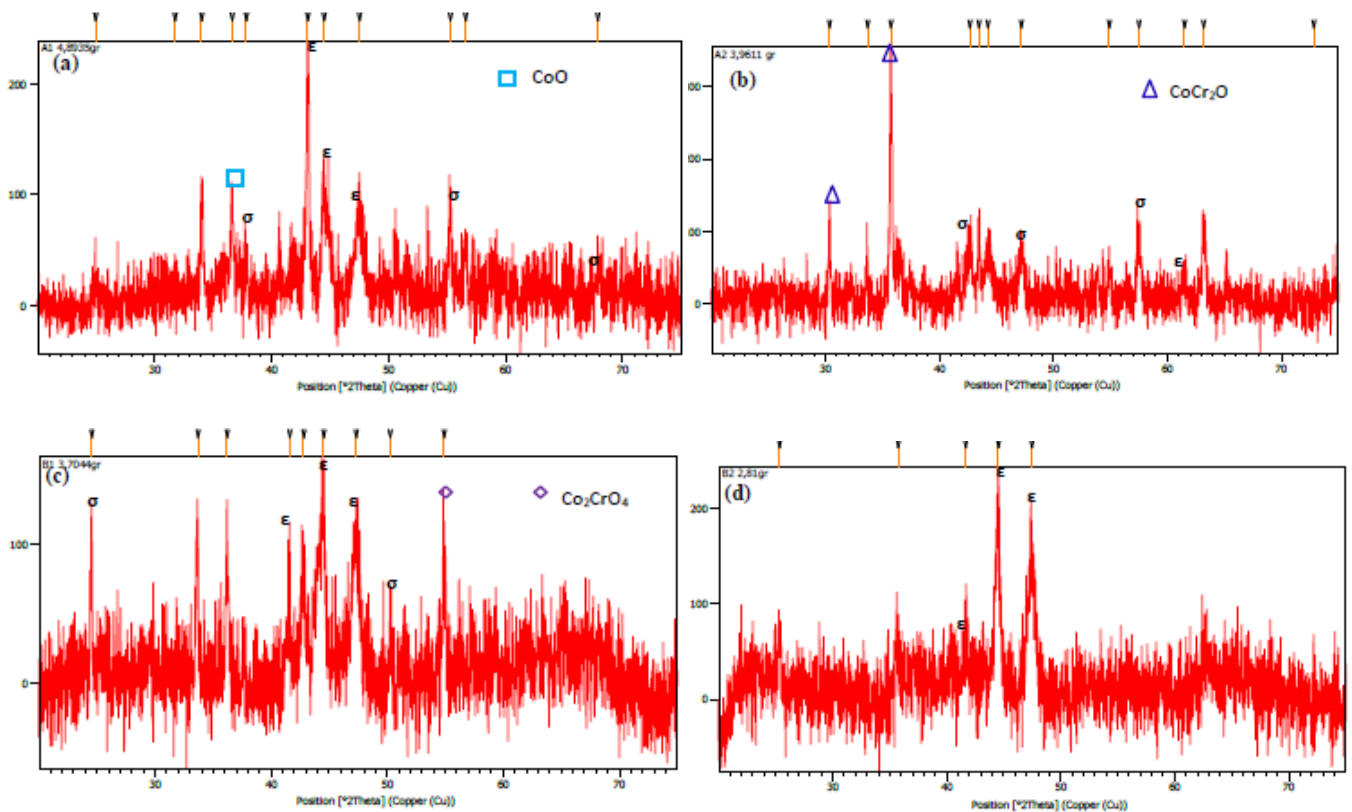
b. Hasil Karakterisasi Uji XRD (*X-Ray Diffraction*)

Hasil uji XRD paduan kobalt ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4. Puncak dari spektrum hasil XRD dapat diidentifikasi sebagai fasa γ , ϵ , atau σ bila selisih puncak ($\Delta 2\theta$) dari hasil eksperimen dengan literatur kurang dari FWHM.

Hasil proses sintering langsung

Proses sintering langsung yaitu proses sintering yang dilakukan pada suhu batas awal dan akhir terbentuknya fasa ϵ yaitu 800°C dan 970°C masing-masing ditahan selama 2 jam kemudian dilanjutkan pada suhu 1200°C dan 1300°C, digambarkan dalam kurva yang disajikan dalam Gambar 1(a).

Dilakukan proses sintering langsung bertujuan untuk mengkaji optimasi pembentukan fasa γ akibat transformasi fasa ϵ tanpa pendinginan terlebih dulu. Berikut hasil XRD proses sintering langsung seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Hasil XRD Paduan Kobalt Proses Sintering Langsung

- (a) Suhu 800°C dilanjutkan pada suhu 1200°C (Sampel A₁) (b) Suhu 800°C dilanjutkan pada suhu 1300°C (Sampel A₂) (c) Suhu 970°C dilanjutkan pada suhu 1200°C (Sampel B₁) (d) Suhu 970°C dilanjutkan pada suhu 1300°C (Sampel B₂)

Persentase fasa dari hasil data XRD berdasarkan grafik pola XRD pada Gambar 3 dinyatakan dalam Tabel 2.

Tabel 2 Persentase Fasa dari Proses Sintering Langsung

Sampel	γ (%)	ε (%)	σ (%)	ε -Co	CoO	CoCr ₂ O ₄	Co ₂ CrO ₄
A ₁	-	46.18	16.27	-	11.31	-	-
A ₂	-	2.41	18.59	-	-	42.99	-
B ₁	-	36.67	17.42	-	-	-	10.42
B ₂	-	81.86	-	-	-	-	-

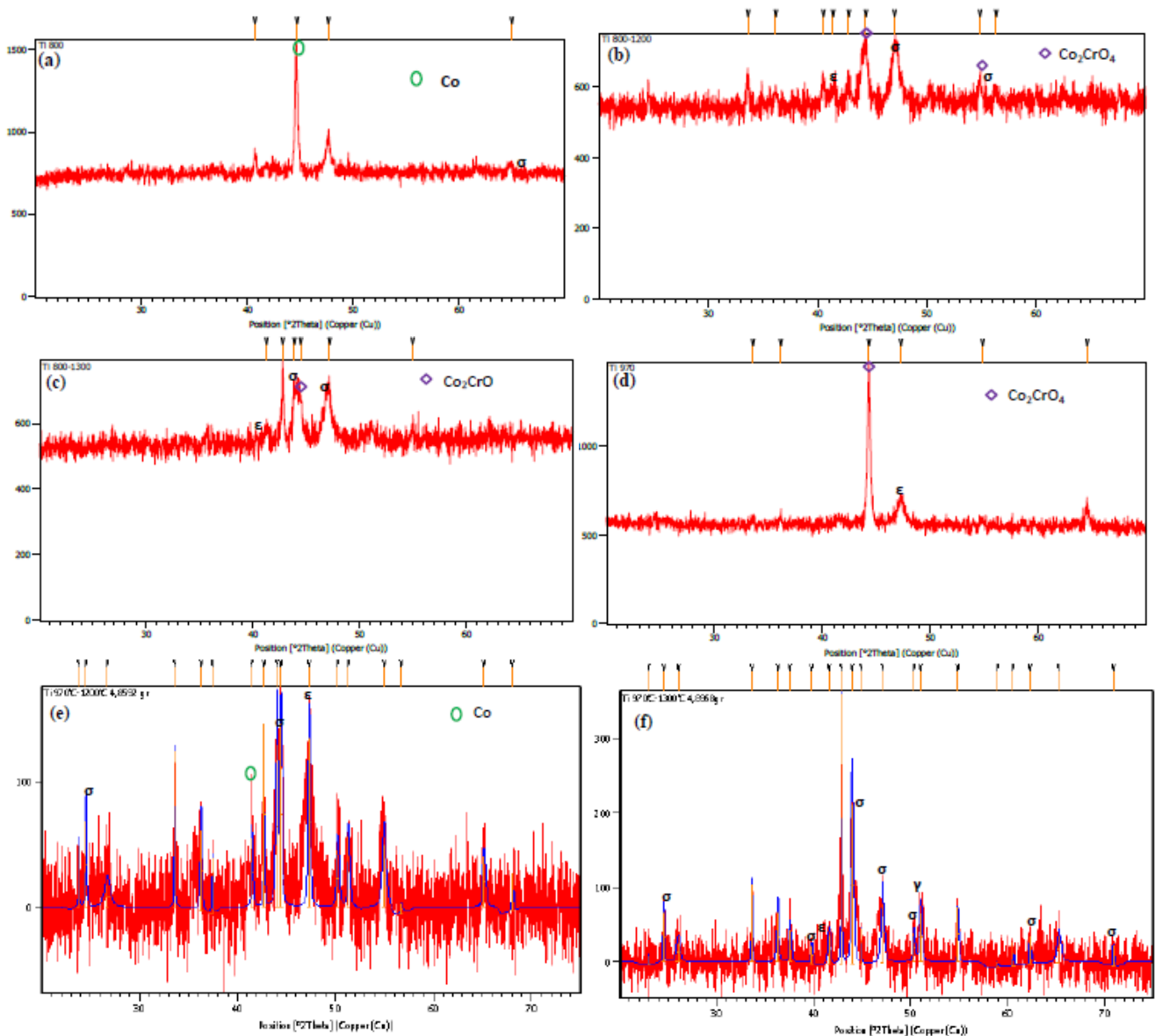
Berdasarkan Tabel 2 menunjukkan bahwa pada proses sintering langsung pada suhu 800°C dan 970°C dilanjutkan pada suhu 1200°C (sampel A₁ dan B₁) fasa yang terbentuk adalah fasa ε (HCP) dan fasa σ (tetragonal), dimana fasa ε lebih dominan. Hal ini sesuai dengan diagram terner Co-Cr-Mo dimana dengan adanya unsur Mo dalam paduan menyebabkan transformasi fasa ε ke fasa γ berlangsung pada suhu lebih tinggi jika dibandingkan dengan diagram biner (Co-Cr) yaitu pada suhu 1300°C [5]. Pada suhu 800°C dilanjutkan pada suhu 1300°C (sampel A₂) muncul fasa ε dan fasa σ , namun intensitas puncak difraksi fasa σ lebih besar dari pada fasa ε , hal ini diduga terjadi oksidasi Co yang mengakibatkan unsur Cr lebih dominan sehingga terjadi pergeseran ke arah komposisi Cr lebih tinggi yaitu daerah pembentukan fasa σ [5]. Keadaan ini juga didukung dengan munculnya senyawa CoO, CoCr₂O₄, dan Co₂CrO₄ pada sampel A₁, A₂, dan B₁ dimana ada unsur O yang terikat dan mengakibatkan oksidasi pada paduan kobalt. Hal ini diduga karena aliran argon tidak maksimum dalam furnace saat proses sintering, dan furnace tidak dalam kondisi vakum sehingga unsur O terjebak dalam ruang sampel.

Beda pula pada suhu 970°C dilanjutkan pada suhu 1300°C (sampel B₂) hanya terbentuk fasa ϵ , hal ini terjadi karena faktor waktu penahanan yang terlalu lama menyebabkan fasa ϵ yang telah stabil sulit untuk bertransformasi ke fasa γ yang ditunjukkan dengan persentase fasa ϵ sebesar 81.86%.

Sebagaimana penelitian sebelumnya yaitu pada suhu sintering 1300°C selama 3 jam tidak muncul fasa γ , diduga karena lama waktu sintering 3 jam menyebabkan struktur kristal mengalami deformasi [5]. Berdasarkan hasil 2 (dua) penelitian ini dapat dinyatakan bahwa waktu penahanan berpengaruh pada pembentukan fasa ϵ , sehingga fasa ϵ yang telah stabil sulit bertransformasi.

Hasil proses sintering bertahap

Proses sintering bertahap yaitu proses sintering yang dilakukan bertahap, yakni tahap awal pada suhu 800°C dan 970°C, sampel dibiarkan dingin kemudian masing-masing sampel dilanjutkan sintering pada suhu 1200°C dan 1300°C, digambarkan dalam kurva yang disajikan dalam Gambar 1(b). Hasil XRD proses sintering bertahap ditunjukkan pada Gambar 4 berikut:



Gambar 4 Hasil XRD Paduan Kobalt Proses Sintering Bertahap

(a) Suhu 800°C (Sampel C) (b) Suhu 800°C dilanjutkan pada suhu 1200°C (Sampel C₁) (c) Suhu 800°C dilanjutkan pada suhu 1300°C (Sampel C₂) (d) Suhu 970°C (Sampel D) (e) Suhu 970°C dilanjutkan pada suhu 1200°C (Sampel D₁) (f) Suhu 970°C dilanjutkan pada suhu 1300°C (Sampel D₂)

Persentase fasa dari hasil XRD disajikan dalam Tabel 3 berikut.

Tabel 3 Persentase Fasa dari Proses Sintering Bertahap

Sampel	γ (%)	ε (%)	σ (%)	ε -Co	CoO	CoCr ₂ O ₄	Co ₂ CrO ₄
C	-	-	4.90	65.51	-	-	-
C ₁	-	6.03	25.77	-	-	-	32.32
C ₂	-	5.76	42.03	-	-	-	17.52
D	-	10.78	-	-	-	-	68.19
D ₁	-	23.24	29.95	4.56	-	-	-
D ₂	4.69	2.77	34.78	-	-	-	-

Berdasarkan Gambar 4(a) dan Tabel 3 terlihat bahwa pada suhu sintering 800°C (sampel C) muncul fasa σ dan unsur Co yang belum homogen dengan unsur penyusun lainnya, hal ini diduga karena waktu pencampuran bahan (*milling*) kurang lama yang mengakibatkan semua bahan tidak tercampur secara merata karena komposisi unsur Co yang banyak dan suhu yang kurang tinggi sehingga belum mampu untuk berikatan dengan unsur lainnya. Keadaan ini terjadi pula pada sampel D₁. Seiring peningkatan suhu yaitu pada saat dilanjutkan pada suhu 1200°C (sampel C₁) fasa ε mulai terbentuk akan tetapi persentase fasa σ juga meningkat seiring meningkatnya suhu yaitu pada sampel C₁ dan C₂.

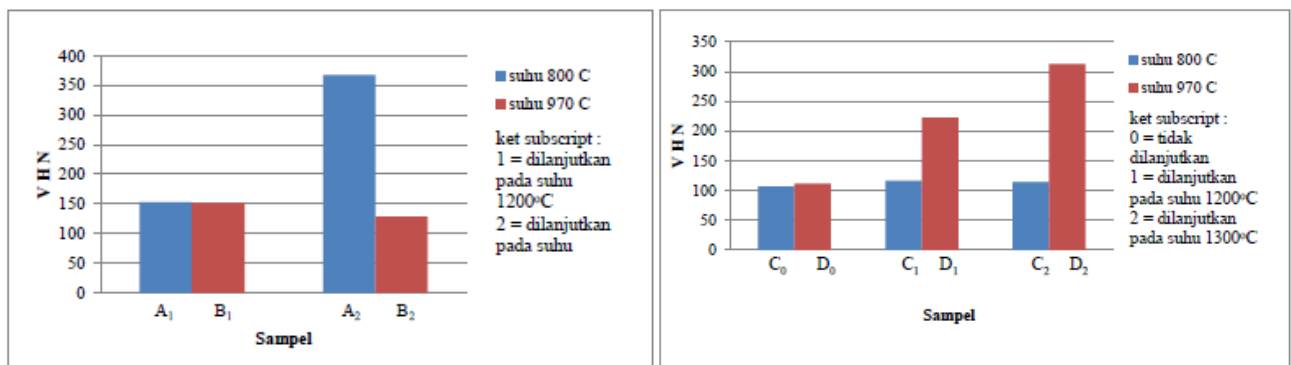
Pada penelitian sebelumnya, pada tekanan 339.70 MPa dan suhu sintering 1300°C terbentuk fasa γ , ε , dan σ [6]. Tetapi pada penelitian ini, pada suhu sintering 1300°C (sampel C₂) hanya terbentuk fasa ε dan fasa σ , dimana fasa σ mendominasi. Hal ini dikarenakan pada tahap awal sintering yaitu suhu 800°C telah terbentuk fasa σ yang mendominasi, sehingga ketika dilanjutkan pada suhu yang lebih tinggi fasa σ masih mendominasi. Keadaan ini didukung dengan adanya senyawa Co₂CrO₄ pada sampel C₁, C₂ dan D, dimana dengan adanya unsur O akan mengakibatkan oksidasi saat proses sintering pada paduan kobalt. Hal ini diduga karena aliran argon tidak maksimum dalam furnace saat proses sintering, dan furnace tidak dalam kondisi vakum sehingga unsur O terjebak dalam ruang sampel.

Suhu sintering 970°C (sampel D) fasa ε telah terbentuk sesuai dengan diagram fasa biner Co-Cr. Pada tahap awal sintering dengan suhu 970°C seiring peningkatan suhu, fasa-fasa lainnya mulai terbentuk. Sampel yang dilanjutkan pada sintering dengan suhu 1200°C (sampel D₁) fasa ε dan fasa σ muncul. Pada sampel ini fasa σ lebih dominan yang diperkuat dengan grafik spektrum yang tidak teratur (*amorf*), keadaan ini akan berpengaruh juga pada kekerasan sampel. Sedangkan pada sampel yang dilanjutkan sintering pada suhu 1300°C (sampel D₂) muncul tiga fasa yaitu fasa γ , ε , dan σ . Akan tetapi transformasi fasa HCP ke FCC tidak sempurna dengan munculnya fasa ε [5].

Dari penjelasan di atas diketahui bahwa pada proses sintering langsung hanya dua fasa yang muncul yaitu fasa ε dan fasa σ . Proses sintering bertahap menunjukkan bahwa pada sintering tahap awal dengan suhu 800°C muncul fasa σ dan unsur Co yang tidak menyatu (homogen) dengan unsur penyusun lainnya dan terjadi pula pada sampel D₁. Suhu 800°C ketika dilanjutkan pada suhu yang lebih tinggi (1200°C dan 1300°C) terbentuk fasa ε dan fasa σ , dimana pada suhu 1300°C fasa σ mendominasi. Proses sintering tahap awal dengan suhu 970°C telah terbentuk fasa ε dan ketika dilanjutkan pada suhu yang lebih tinggi yaitu 1200°C muncul fasa ε dan fasa σ , namun ketika dilanjutkan pada suhu 1300°C muncul tiga fasa yaitu fasa γ , ε , dan σ . Beberapa sampel dari proses sintering langsung dan bertahap mengalami oksidasi dengan munculnya senyawa CoO, CoCr₂O₄, dan Co₂CrO₄ dan warna sampel yang kehitaman.

c. Hasil Uji Kekerasan (*Microvickers Hardness*)

Nilai kekerasan paduan kobalt didapat dari uji *Microvickers Hardness*. Perubahan nilai kekerasan terhadap suhu sintering langsung dan bertahap disajikan pada Gambar 5.



(a)

(b)

Gambar 5 Grafik Hubungan Kekerasan Terhadap Suhu Sintering (a) Proses sintering langsung (b) Proses sintering bertahap

Dari Gambar 5(a) terlihat bahwa untuk seiring meningkatnya suhu awal dan dilanjutkan pada suhu yang sama yaitu suhu 1200°C (sampel A₁ dan B₁) semakin besar persentase fasa σ yang terbentuk, nilai kekerasan semakin rendah seperti yang ditunjukkan oleh sampel B₁ (151.60 ± 25.44) VHN, dimana persentase fasa σ lebih besar daripada sampel A₁. Begitu pula terjadi pada suhu akhir 1300°C (sampel A₂ dan B₂).

Dari Gambar 5(b) menunjukkan nilai kekerasan semakin menurun seiring meningkatnya suhu sintering, seperti pada sintering suhu awal 800°C yaitu sampel C₁, dan C₂ nilai kekerasannya menurun dengan meningkatnya besar persentase fasa σ yang ditunjukkan dalam Tabel 4.2. Adanya fasa σ mengakibatkan penurunan drastis (*sharp down*) pada sifat mekanik [8]. Namun dengan adanya fasa γ yang stabil maka kekerasannya meningkat, hal ini dilihat dari hasil kekerasan sampel D₂ (970°C-1300°C) dimana pada sampel ini terbentuk fasa γ (11.10%), fasa ϵ (6.56%), fasa σ (82.34%) yaitu sebesar (313.91 ± 123.58) VHN.

Hasil uji kekerasan pada sampel A₁, B₁, B₂, C, C₁, C₂, D, D₁ menghasilkan nilai yang rendah, diduga karena waktu pencampuran bahan (*milling*) kurang lama yang mengakibatkan semua bahan tidak tercampur secara merata, proses kompaksi yang kurang sempurna menyebabkan masih banyak rongga yang belum terisi oleh serbuk sehingga saat proses sintering sampel mengalami penyusutan yang lebih besar, kondisi furnace yang tidak vakum sehingga terjadi oksidasi saat sintering.

Hasil uji kekerasan tertinggi yang diperoleh dari proses sintering langsung dan bertahap yaitu pada sampel A₂ (800°C-1300°C) yaitu (367.33 ± 68.90) VHN, akan tetapi hasil tersebut tidak layak digunakan untuk aplikasi implan tulang karena terlalu keras. Sesuai dengan standar ASTM F75 kekerasan paduan kobalt untuk implan tulang mempunyai range $265 < \text{VHN} < 350$, sehingga dari hasil kekerasan di atas yang memenuhi sebagai implan tulang adalah pada suhu 970°C dilanjutkan sintering pada suhu 1300°C dengan proses sintering bertahap (sampel D₂).

KESIMPULAN

Paduan kobalt yang baik digunakan sebagai kandidat implan tulang adalah paduan kobalt dengan proses sintering bertahap yaitu pada suhu awal 970°C dilanjutkan pada suhu 1300°C dengan adanya fasa γ , ϵ , dan σ nilai kekerasannya sebesar (313.91 ± 123.58) VHN.

REFERENSI

- [1] Aby, 2012, *Meningkat Kasus Patah Tulang Akibat Osteoporosis*, Pos Kota News, hal. 12-15.

- [2] Wiranata, Hezti, 2010, *Sintesis Paduan Kobalt dengan Variasi Kandungan Nitrogen*, Skripsi FIS IPB, Bogor.
- [3] Combe, E.C., 1992, *Sari Dental Material*, alih bahasa : drg. Slamet Terigan, MS, PhD, Balai Pustaka, Jakarta.
- [4] Aminatun, 2010, *Sintesis dan Karakterisasi Komposit Cobalt-Chromium-Hidroksiapatit (CIC) Sebagai Implan Tulang*, Lembaga Penelitian Universitas Airlangga, Surabaya.
- [5] Saktiani, Tri, 2013, *Optimalisasi Sifat Mekanik Paduan Kobalt Sebagai Implan Tulang Prosthesis Melalui Proses Sintering*, Skripsi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga, Surabaya.
- [6] Dewi, Mega Farynda K., 2013, *Pengaruh Tekanan Kompaksi dan Temperatur Sintering Terhadap Sifat Mekanik Paduan Kobalt Sebagai Kandidat Implan Tulang Prosthesis*. Skripsi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga, Surabaya.
- [7] Prihartoko, Danang Adi, 2011, *Karakteristik Paduan CoCrMo dengan Pelapisan Titanium Nitrida dan Hidroksiapatit-Kitosan*, Skripsi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [8] Lee, Sang Hak, Naoyuki Nomura dan Akihiko Chiba, 2008, *Significant Improvement in Mechanical Properties of Biomedical Co-Cr-Mo Alloys with Combination of N Addition and Cr-Enrichment*, Materials Transactions, Vol. 49, No0 2 (2008) pp. 260 to 264.