



Artikel Penelitian

Received: 12 Agustus 2023
Revised: 24 Agustus 2023
Accepted: 26 Agustus 2023

Kata Kunci:

Paduan Kobalt;
Kromium;
Metalurgi Serbuk;
Implan Ortopedi;
Korosi;
Simulated Body Fluid
(SBF)

Keywords:

Cobalt Alloy;
Chromium;
Powder Metallurgy;
Orthopedic Implants;
Corrosion;
Simulated Body Fluid
(SBF)

INDEXED IN

SINTA - Science and
Technology Index
Crossref
Google Scholar
Garba Rujukan Digital:
Garuda

**CORRESPONDING
AUTHOR**

**SB. Widia Rezaly Biharu
Hayati**
Prodi Teknik Mesin,
Universitas Kebangsaan
Republik Indonesia

EMAIL

sb.widiarezaly@ukri.ac.id

OPEN ACCESS

E-ISSN 2623-2022

Struktur dan Sifat Korosi Paduan Kobalt Akibat Penambahan Kromium (Cr) dengan Metode Metalurgi Serbuk

Structure and Corrosion Properties of Cobalt Alloys Due to the Addition of Chromium (Cr) with the Powder Metallurgy Method

SB. Widia Rezaly Biharu Hayati

Prodi Teknik Mesin, Universitas Kebangsaan Republik Indonesia

Abstrak: Metalurgi serbuk adalah metode yang digunakan untuk mensintesis paduan berbasis kobalt untuk menghasilkan produk yang baik dengan geometri yang kompleks dan tahan korosi. Salah satu faktor penting dalam peningkatan ketahanan terhadap korosi yaitu dengan penambahan komposisi kromium (Cr). Sehingga pada penelitian ini dilakukan sintesis paduan kobalt menggunakan variasi Cr (28,5; 30; 31,5; 33 dan 34,5 dari % berat keseluruhan). Hasil uji XRD (*X-Ray Diffraction*) menunjukkan bahwa persentase fasa γ meningkat seiring dengan peningkatan komposisi Cr. Hasil uji SEM (*Scanning Electron Microscopy*) menunjukkan bahwa ikatan antar unsur yang baik terjadi pada komposisi Cr yang besar, yang ditandai dengan tampak permukaan yang lebih halus dan homogen. Hasil uji kekerasan menggunakan Microvickers menunjukkan bahwa nilai kekerasan paduan kobalt yang lebih tinggi terdapat pada kandungan kromium yang besar. Laju korosi yang dihasilkan sampel dengan variasi 31,5% sampai 34,5% Cr sesuai dengan standar Eropa yaitu 0,457 mpy karena tidak mengalami banyak retakan pada permukaannya, sehingga menghasilkan densitas (massa jenis) sampel yang lebih tinggi dan laju korosi yang lebih rendah.

Abstract: *Powder metallurgy is a method used to synthesize cobalt based alloys to produce good products with complex geometries and corrosion resistance. One important factor in increasing corrosion resistance is the addition of chromium (Cr) composition. So in this study, the synthesis of cobalt alloys was carried out using variations of Cr (28.5; 30; 31.5; 33 and 34.5 of % total weight). The results of the XRD (X-Ray Diffraction) test showed that the percentage of γ phase increased with increasing Cr composition. SEM (Scanning Electron Microscopy) test results show that good inter-element bonding occurs in large Cr compositions, which are characterized by a smoother and more homogeneous surface appearance. The results of the hardness test using Microvickers show that the higher hardness value of the cobalt alloy is indicated by the large chromium content. The corrosion rate produced by samples with variations of 31.5% to 34.5% Cr is in accordance with European standards, namely 0.457 mpy because there are not many cracks on the surface, resulting higher sample density and lower corrosion rates.*

Jurnal Kolaboratif Sains (JKS)

Pages: 1149-1156

Doi: 10.56338/jks.v6i9.4006

LATAR BELAKANG

Pengembangan implan biomedis yang memenuhi standar untuk memenuhi kebutuhan aplikasi biomedis didasarkan pada berbagai masalah dan tuntutan baru yang muncul untuk memenuhi kebutuhan saat ini. Harapan hidup seorang pasien patah tulang maupun cedera panggul dapat meningkat dengan adanya alternatif-alternatif implan dengan bahan yang aman, tidak beracun, ringan, dan tahan korosi (Peabuapuan, 2018).

Kobalt memiliki sifat listrik dan konduktivitas termal yang baik, titik leleh yang tinggi, koefisien muai panas yang rendah, dan ketahanan terhadap korosi yang baik. Harganya relatif lebih murah dan lebih mudah diproduksi dalam jumlah besar karena ketersediaan unsur kobalt di alam tergolong banyak. Oleh karenanya, kobalt adalah bahan yang ideal untuk aplikasi industri (Abdullah, 2017). Namun, kobalt memiliki ketahanan mekanik yang rendah dan sifat keausan yang buruk. Sehingga kurang tepat digunakan untuk aplikasi tertentu. Untuk mengatasi keterbatasan ini, matriks kobalt dipenuhi dengan partikel fase kedua yang keras seperti borida, karbida, nitrida, dan sulfida (Manish, 2018).

Paduan kobalt, menjadi salah satu jenis paduan yang sering digunakan untuk penggantian panggul dalam kasus implan ortopedi. Paduan yang terbuat dari CoCrMo ini dikenal karena ketahanan nya terhadap keausan dan korosi. Namun, ikatan logam ke logam ini dapat mengalami proses yang dikenal sebagai *tribocorrosion* ketika dimasukkan ke dalam tubuh (Kausar, 2007). Kekhawatirannya adalah dapat menyebabkan ion logam keluar dari tubuh dan dapat merusak jaringan tubuh.

Metalurgi serbuk banyak digunakan untuk mensintesis paduan berbasis kobalt karena dapat memberikan produksi dengan volume tinggi dan biaya pemesanan yang lebih rendah serta menghasilkan produk yang baik dengan geometri yang kompleks (Deenpanraj, 2021). Teknik ini memungkinkan kontrol toleransi yang ketat, desain bentuk yang kompleks, dan kemampuan reproduksi yang baik. Laju pendinginan yang cepat dihasilkan oleh teknik ini, sehingga memunculkan teknik atomisasi yang lebih baik untuk paduan kompleks (Angelo, 2009). Teknik metalurgi dari pemrosesan serbuk ini, menjadi salah satu pilihan yang lebih baik daripada metode pengecoran.

Masalah yang dapat terjadi pada penggunaan paduan CoCrMo sebagai bahan implan dipengaruhi oleh ketahanan paduan terhadap korosi. Interaksi yang terjadi antara paduan logam dan cairan tubuh dapat menyebabkan degradasi logam. Karena kromium memiliki lapisan anti korosi yaitu Cr_2O_3 dan membentuk fasa γ , unsur kromium ditambahkan ke paduan kobalt untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi. Selain itu, kromium juga diketahui memiliki sifat mekanik yang baik (Reclaru, 2018).

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui sifat mikro paduan kobalt hasil metode metalurgi serbuk dari uji XRD dan uji SEM dan juga sifat mekanik menggunakan uji *Vickers*. Selain itu untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi paduan kobalt terhadap ketahanan korosi menggunakan teknik potensiotat. Diharapkan dari variasi Cr menggunakan metode metalurgi serbuk dapat dihasilkan paduan kobalt terbaik sebagai material implan sehingga nanti dapat dimanfaatkan sebagai alternatif bahan implan dalam bidang medis.

TINJAUAN LITERATUR

Paduan kobalt memiliki sifat mekanik, ketahanan aus, biokompatibilitas, dan ketahanan korosi yang tinggi. Ketahanan korosi yang tinggi disebabkan oleh film oksida tipis yang terbentuk secara spontan pada permukaannya. Paduan kobalt ini sering digunakan sebagai pengganti lutut secara keseluruhan atau digunakan hanya sebagai sambungan selama pemulihan patah tulang (Alfirano, 2020).

Material kobalt memiliki warna perak keabu-abuan. Umumnya dimanfaatkan pada material-material yang berhubungan dengan lingkungan yang ekstrim karena tahan korosi, tahan aus, dan tahan terhadap panas. Sedangkan kromium memiliki warna mengkilat. Material ini banyak digunakan sebagai material implan, terutama untuk implan tulang prosthesis karena sifatnya yang tahan terhadap korosi. Kobalt memiliki jari-jari 1,25 Å, sedangkan kromium memiliki jari-jari sebesar 1,249 Å. Perbedaan jari-jari yang tidak terlalu jauh ini memungkinkan kromium mengalami proses substitusi pada saat proses

pembuatan paduan (Brandy, G.S, 2002). Selain itu sifat kekerasan dan perubahan struktur mikronya juga dapat dipengaruhi oleh penambahan unsur Cr (Saragih, 2020).

Proses metalurgi terdiri dari tiga tahap: pencampuran atau pengadukan serbuk logam, kompaksi atau pemadatan, dan sintering. Pengadukan atau pencampuran serbuk logam dapat dilakukan baik dengan metode basah maupun kering. Metode basah menggunakan air atau larutan lainnya untuk meningkatkan mobilitas partikel, mengurangi pembentukan debu, dan mengurangi risiko ledakan selama proses. Tahap selanjutnya adalah tahap kompaksi yaitu proses penekanan pada serbuk menggunakan cetakan sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Proses ini dapat dianggap sebagai proses yang paling penting dalam proses metalurgi serbuk. Tekanan yang digunakan juga dapat membantu menghilangkan penghubung yang terbentuk selama serbuk dimasukkan ke dalam cetakan. Hal ini mengakibatkan berkurangnya ruang pori dan jumlah titik kontak antara partikel serbuk logam meningkat. Sintering adalah proses perlakuan panas pada sampel untuk membuat partikel logam berikatan satu sama lain, meningkatkan kekuatan sampel, dan menghasilkan pemanasan pada suhu di bawah titik leleh (Groover, M.P, 2010).

Ketahanan paduan terhadap korosi memengaruhi masalah yang dapat muncul saat menggunakan paduan CoCrMo sebagai bahan implan. Degradasi logam juga memungkinkan terjadi ketika paduan logam tersebut berinteraksi dengan cairan tubuh (Qonita, 2021). Larutan SBF (*Simulated Body Fluid*) memiliki konsentrasi ion yang mirip dengan plasma darah manusia. Berdasarkan data laju korosi standar untuk aplikasi medis Eropa, suatu material dapat ditanamkan ke dalam tubuh manusia jika laju korosinya di bawah 0,457 mpy. Perbandingan konsentrasinya disajikan dalam tabel berikut.

Table 1. Konsentrasi ion SBF dan plasma darah manusia (Sunendar dkk, 2007)

Ion	SBF	Plasma darah manusia
Na ⁺	142,0	142,0
K ⁺	5,0	5,0
Mg ²⁺	1,5	1,5
Ca ²⁺	2,5	2,5
Cl ⁻	147,8	103,0
HCO ³⁻	4,2	27,0
HPO ₄ ²⁻	1,0	1,0
SO ₄ ²⁻	0,5	0,5

METODE

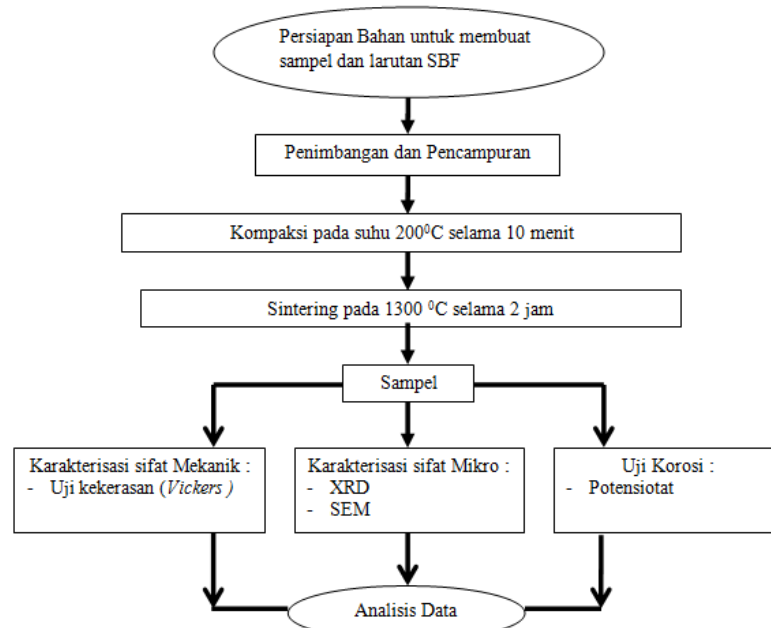
Dalam penelitian ini, sampel yang dibuat terdiri dari serbuk kobalt [Co(99+)-Sigma-Aldrich], serbuk kromium [Co(99+)-Sigma-Aldrich], serbuk molibdenum [(Mo (99+)-Merck], serbuk mangan [Mn (99+) – Merck], serbuk silikon, dan serbuk Cr₂N. Komposisi berat paduan dapat disajikan dalam tabel 2. Sedangkan untuk uji korosi, juga digunakan larutan SBF (*Simulated Body Fluid*) dengan kandungan NaCl, KCl, CaCl₂, NaHCO₃, K₂HPO₄·3H₂O, Na₂SO₄, MgCl₂·6H₂O, (CH₂OH)₃CNH₂ dan larutan HCL 1 M. Alat yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah spatula, aluminium foil, krusibel alumina, timbangan digital, mesin hidrolis, furnace, dies dan punch, mesin grinder, dan amplas.

Table 2. Komposisi Unsur Paduan Kobalt

Variasi Komposisi Cr	Komposisi berat (%)						Total
	Cr	Mo	Mn	Si	N	Co	
28.5%	28.5	5	0.5	0.5	0.25	65.25	100%
30.0%	30.0	5	0.5	0.5	0.25	63.75	
31.5%	31.5	5	0.5	0.5	0.25	62.25	
33.0%	33.0	5	0.5	0.5	0.25	60.75	
34.5%	34.5	5	0.5	0.5	0.25	59.25	

Langkah pertama dalam pembuatan sampel, dilakukan proses *milling* (pencampuran) bahan-bahan selama 15 menit dengan kecepatan 350 rpm. Bahan-bahan yang sudah dicampur dikompaksi dengan tekanan 339 Mpa . Tahapan akhir dari proses pembuatan sampel adalah seluruh sampel di sinter pada suhu 1300°C dengan ditambahkan gas argon.

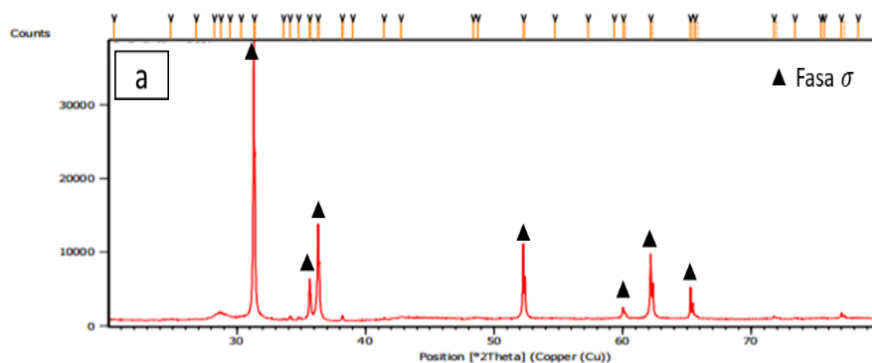
Setelah terbentuk sampel, langkah selanjutnya adalah dilakukan proses pengujian. Uji paduan kobalt menggunakan alat difraksi Sinar-X adalah untuk mengidentifikasi fasa yaitu fasa γ , ϵ , dan σ . Selanjutnya, uji SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi stuktur paduan. Uji Vickers dan potensiostat juga dilakukan untuk mengetahui kekerasan paduan kobalt dan ketahanan terhadap korosi. Lebih jelas unuk metode penelitian yang digunakan disajikan dalam diagram alir penelitian berikut.

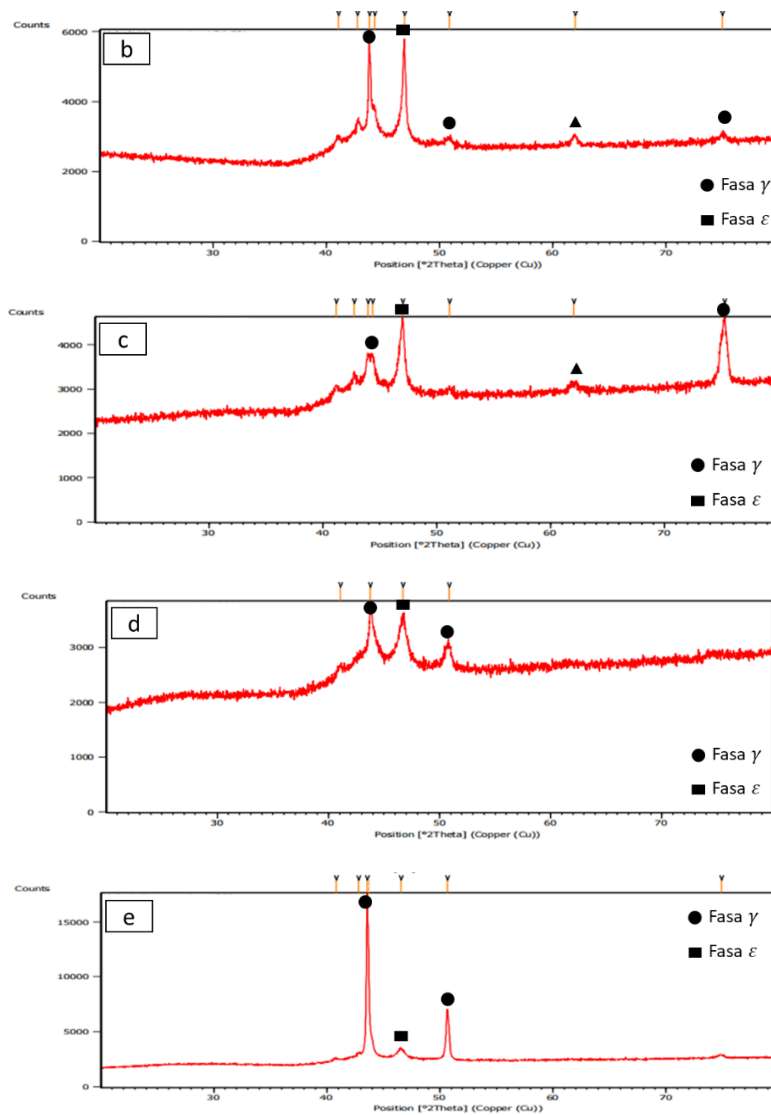


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN DISKUSI

Karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD). Uji XRD dilakukan untuk mengetahui struktur kristal dan fasa yang terbentuk. Analisis hasil uji XRD terhadap 5 sampel pada variasi Cr 28,5%; 30%; 31,5%; 33%; 34,5% dilakukan secara manual karena data referensi paduan kobalt tidak tersedia.





Gambar 2. Hasil XRD paduan kobalt

Tabel 3. Identifikasi Persentase Fasa Paduan Kobalt

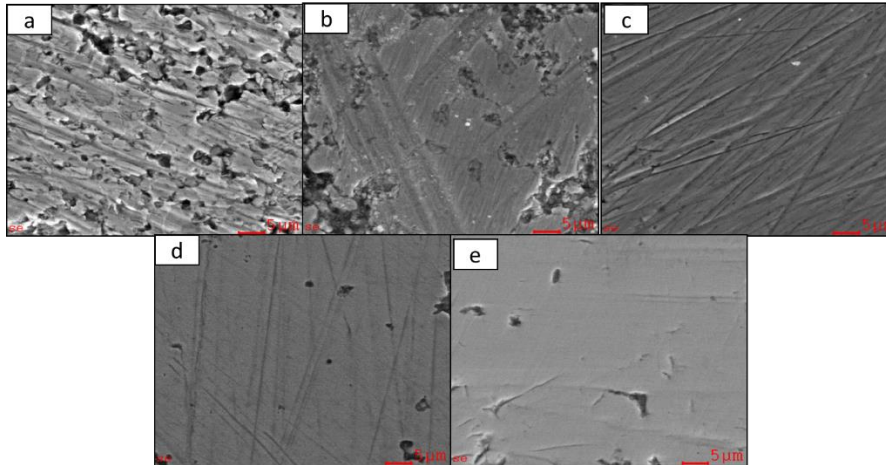
Variasi Cr (%)	Fasa γ (%)	Fasa ϵ (%)	Fasa σ (%)
28.5	0	0	100
30.0	53	44.7	2.3
31.5	35.3	28.6	4.7
33.0	68.5	31.5	0
34.5	92.1	4.8	3.1

Berdasarkan hasil pengamatan menggunakan XRD yang ditunjukkan dalam gambar difraktogram serta diidentifikasi seperti pada tabel 3 menunjukkan adanya kemunculan fasa γ , ϵ dan σ dari paduan kobalt. Ini disebabkan oleh fakta bahwa selama proses pembuatan paduan, proses sintering dilakukan selama 2 jam pada suhu rekristalisasi 1300°C, menyebabkan fasa sampel yang terbentuk tidak homogen. Hal ini ditandai dengan munculnya tiga fasa: fasa γ , ϵ , dan σ (rapuh). Porositas unsur-unsur

penggabung tidak dapat menyebar secara keseluruhan, sehingga menyebabkan kelarutan tidak homogen dan dapat berdampak pada sifat mekanik paduan (Qonita, 2021).

Namun, tampak bahwa fasa γ yang terbentuk semakin dominan seiring dengan besarnya unsur Cr. Tidak adanya transformasi fasa yang sempurna dari HCP (fasa ϵ) ke FCC (fasa γ) ini kemudian menyebabkan munculnya fasa ϵ yang tinggi di beberapa paduan dengan kandungan kromium yang tinggi, terutama pada variasi 30.0%, 31.5%, dan 33% Cr.

Scanning Electron Microscopy (SEM). Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari permukaan sampel paduan kobalt. Pengujian ini dilakukan pada permukaan datar sampel yang sebelumnya telah melalui proses grinding.



Gambar 3. Hasil foto SEM (a) Sampel 28,5% Cr, (b) Sampel 30% Cr, (c) Sampel 31,5% Cr, (d) Sampel 33% Cr, (e) Sampel 34,5% Cr

Hasil foto SEM dari gambar (a) dan (b) yaitu sampel 28,5% dan 30% Cr menunjukkan bahwa permukaan masih banyak yang berlubang dan tidak homogen. Hal ini bisa disebabkan karena unsur – unsur yang dipadukan berikatan kurang sempurna sehingga saat dilakukan proses penggrindingan pada sampel mengakibatkan sebagian unsur hilang. Sedangkan pada sampel dengan unsur Cr 31,5% menunjukkan permukaan yang lebih homogen atau menunjukkan hasil ikatan yang lebih kompak. Begitupula dengan unsur Cr 33% dan 34,5 % tampak permukaan yang lebih halus dan homogen.

Kekerasan (Vickers). Pengujian kekerasan menggunakan *Microvickers – hardness* dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dan nilai kekerasan dari paduan.

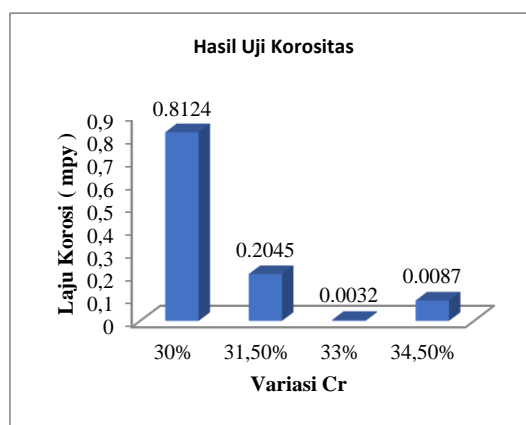
Tabel 4. Hasil Uji Kekerasan

Variasi Cr (%)	Fasa γ (%)	Kekerasan (HV)
28.5	0	(12.10 ± 11.40)
30.0	53	(130.40 ± 20.12)
31.5	35.3	(309.11 ± 10.4)
33.0	68.5	(320.30 ± 17.10)
34.5	92.1	(370.27 ± 9,80)

Nilai kekerasan seperti yang ditunjukkan pada tabel 4 menunjukkan hasil yang berbeda-beda. Nilai kekerasan yang masih dapat ditoleransi dalam bidang medis untuk paduan kobalt adalah 310 HV (Bellefontain, 2010) dan 383 (Kumagai et.al, 2005). Menurut hasil uji kekerasan paduan kobalt, tabel 4 menunjukkan bahwa Sampel dengan 31,5 % sampai 34,5 % kromium memenuhi standar kekerasan yang

ditoleransi di bidang medis sebagai implan tulang. Sedangkan sampel dengan variasi komposisi 34,5% kromium menunjukkan kekerasan tertinggi, dengan kekerasan ($370,27 \pm 9,80$ HV). Hal ini sesuai jika dibandingkan dengan hasil identifikasi fasa uji XRD, yang menunjukkan bahwa kekerasannya cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya fasa γ paduan. Kekerasan paduan akan meningkat ketika terdapat peningkatan kromium. Atom kromium akan menyusup dalam bentuk struktur kubik dengan cara substitusi sehingga meningkatkan kekerasan paduan (Brandy, G.S, 2002).

Korosi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju korosi pada masing - masing sampel sesuai dengan standar laju korosi aplikasi medis eropa yaitu kurang dari 0,457 mpy.



Gambar 4. Grafik hasil uji korositas

Pengujian paduan kobalt dengan variasi komposisi 30%, 31,5%, 33%, dan 34,5% Cr dalam larutan *Simulated Body Fluid* (SBF) menunjukkan hasil yang berbeda-beda. Sampel 28,5% Cr tidak digunakan karena terlalu hitam dan lunak sehingga tidak dapat menunjukkan hasil polarisasi saat uji korosi. Oleh karenanya, tidak dimasukkan dalam data korosi. Hasil uji korosi yang disajikan dalam bentuk grafik, menunjukkan bahwa sampel 31,5 hingga 34,5 % Cr menghasilkan nilai yang sesuai dengan standar eropa, tetapi sesuai dengan hasil XRD, SEM, dan vickers menunjukkan hasil terbaik pada sampel 33%Cr.

Sampel dengan variasi 30% Cr memiliki laju korosi yang paling tinggi. Hal ini dipengaruhi oleh ikatan antar logam yang kurang baik, sehingga menghasilkan sampel yang lebih lunak dan banyak oksidasi. Akibatnya, sampel dengan variasi 30% Cr tidak layak digunakan sebagai implan tulang. Di sisi lain, ini mungkin disebabkan sampel dengan variasi 31,5% -34,5% Cr tidak mengalami banyak retakan pada permukaannya, yang menghasilkan densitas (massa jenis) sampel yang lebih tinggi dan laju korosi yang lebih rendah. Ini berbeda dengan paduan kobalt dengan variasi 28,5% dan 31% Cr yang memiliki retakan yang lebih besar. Akibatnya, laju korosinya lebih tinggi daripada laju korosi sampel dengan variasi Cr 31,5%-34,5%.

KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa dari hasil uji XRD terjadi peningkatan fasa γ seiring dengan peningkatan variasi Cr. Sedangkan dari hasil uji SEM menunjukkan semakin meningkatnya variasi Cr maka permukaan tampak semakin halus dan homogen. Berdasarkan hasil uji kekerasan, sampel dengan 31,5 % sampai 34,5 % kromium memenuhi standar kekerasan yang ditoleransi di bidang medis sebagai implan tulang. Sedangkan sampel dengan variasi komposisi 34,5% kromium menunjukkan kekerasan tertinggi, dengan kekerasan ($370,27 \pm 9,80$ HV). Hasil terbaik pada uji XRD, uji SEM, dan uji kekerasan pada sampel variasi 34,5% Cr. Selanjutnya hasil uji korosi menunjukkan sampel dengan variasi 31,5-34,5% Cr memenuhi nilai standar Eropa yaitu 1,457 mpy namun hasil terbaik terdapat pada variasi 33%Cr yaitu 0,0032 mpy.

BATASAN

Keterbatasan dalam penelitian ini adalah saat proses pembuatan sampel, waktu dalam penggunaan furnace yang untuk proses homogenisasi terbatas. Untuk meningkatkan terbentuknya fasa γ , waktu homogenisasi sampel dapat ditambahkan. Sebelum uji SEM, etsa harus dilakukan sehingga batas butir dapat dilihat selama proses pengujian.

REKOMENDASI

Paduan kobalt ini disintesis dan dilakukan pengujian untuk menghasilkan kandidat material prosthesis, terutama material yang memiliki sifat mekanik dan tahan terhadap korosi saat digunakan di dalam tubuh. Namun, karena keterbatasan waktu dan biaya yang terkait dengan penelitian, hanya ada beberapa uji yang dilakukan: uji XRD, uji SEM, uji vickers (kekerasan) dan uji korosi menggunakan teknik potensiostat. Selanjutnya, jika ingin mendapatkan hasil yang lebih optimal maka dapat dilakukan uji densitas, uji toksisitas, dan uji *immersion corrosion*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, dkk. 2017. "Effect of sintering temperature on physical properties & hardness of CoCrMo alloys fabricated by metal injection moulding process." IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering: 257
- Alfirano, dkk. 2020. "Microstructural and Mechanical Characterization of As Cast Co-Cr-Mo Alloys with Various Content of Carbon and Nitrogen". Materials Science Forum. ISSN: 1662-9752, Vol. 988, pp 206-211.
- Angelo, P.C., Subramanian, R. 2009. "Powder Metallurgy: Science, Technology and Applications." Eastern Economy; PHI: Connaught Circus, New Delhi, India, pp. 41-49.
- Bellefontaine, George, 2010, "The Corrosion Of CoCrMo Alloys for Biomedical Applications [thesis]." School of Metallurgy and Materials University of Birmingham.
- Brady, G. S. 2002. "Materials Handbook Fifteenth Edition". New York : McGraw-Hill Company.
- Deenpanraj, B, et al. 2021. "Sintering parameters consequence on microstructure and hardness of copper alloy prepared by powder metallurgy". Materials Today: Proceedings 80 : 39-40
- Kausar, F. 2007. "Corrosion of CoCrMo alloys for biomedical applications". Department of Metallurgy and Materials, School of Engineering. University of Birmingham: Birmingham. P. 4-285.
- Kumagai, Kazushige, Naoyuki Nomura, Tsukasa Ono, Masahiro Hotta, and Akihiko Chiba. 2005. "Dry Friction and Wear Behavior of Forged Co-29Cr-6Mo Alloy without Ni and C Additions for Implant Applications", Vol. 46, No. 7. pp. 1578 to 1587.
- Manish, Srivastava. 2018. "Effect of compaction pressure on microstructure, density and hardness of Copper prepared by Powder Metallurgy route." IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering: 377
- M.P. Groover, 2010. "Fundamental of Modern Manufacturing", (USA: 4th Edition).
- Peabuapuan, et al. 2018. "Effect of Si on microstructure and corrosion behavior of CoCrMo alloys." IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering: 361
- Reclaru, L, Ardelean. L. C. 2018. "CoCr Based Alloys in Current Dental Prosthetic Applications". IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering: 416
- Saragih, Sutjipto, 2020. "Pengaruh Doping Kromium Terhadap Sifat Kekerasan Pada Pembuatan Roda Gigi Lurus Berbahan Serbuk Besi". Vol.10, No.2, October 2020. Hal 109-113.
- Sunendar, B., I. T. Hermawan. 2008. "Preparasi Dan Karakterisasi Kalsium Ferit Dari Keramik Biogelas Menggunakan Simulated Body Fluid (Sbf) Ringer Untuk Aplikasi Identifikasi Sel Kanker". Vol. 10, No. 1, Oktober 2008, Hal : 1 - 6.
- Qonita, dkk. 2021. "Effect Of Mn On Structure And Corrosion Properties Of Co-Cr-Mo Alloys in Simulated Body Solutions". Journal of Physics: Conference Series: 1825