

PENGARUH PENAMBAHAN MANGAN TERHADAP SIFAT MAMPU TEMPA PADUAN Co-35Cr-5Mo UNTUK APLIKASI IMPLAN

Ika Kartika

Pusat Penelitian Metalurgi – LIPI
Kawasan Puspiptek Serpong, Gedung 470, Tangerang 15314
E- mail : pepeng2000@yahoo.com

Masuk tanggal : 06-10-2011, revisi tanggal : 09-07-2012, diterima untuk diterbitkan tanggal : 20-07-2012

Intisari

PENGARUH PENAMBAHAN MANGAN TERHADAP SIFAT MAMPU TEMPA PADUAN Co-35Cr-5Mo UNTUK APLIKASI IMPLAN. Paduan Co-Cr-Mo dalam aplikasinya lebih banyak digunakan sebagai material implan seperti pengganti tempurung atau sambungan tulang pinggul. Penambahan Ni dalam paduan tersebut akan meningkatkan sifat mampu bentuknya, akan tetapi unsur nikel bersifat alergi terhadap tubuh manusia. Oleh karenanya mangan akan dicoba untuk dapat menggantikan fungsi unsur nikel dalam paduan Co-Cr-Mo sebagai paduan implan. Pada penelitian ini akan dipelajari sifat mampu tempa dari paduan Co-35Cr-5Mo tanpa dan dengan penambahan Mn secara bervariasi sebesar 0,2-0,4-0,6-0,8-1(% berat). Diagram fasa dari paduan Co-35Cr-5Mo-xMn ($x=0-20$ % berat) dikalkulasi dengan menggunakan data base dalam Thermo-Calc. Ingot paduan Co-35Cr-5Mo-xMn ($x=0-1$ % berat) diperoleh melalui proses peleburan dan pemaduan menggunakan tungku busur listrik dalam kondisi vakum pada temperatur di atas 1400 °C. Proses homogenisasi kemudian dilakukan menggunakan tungku vakum yang dialiri gas argon dengan kemurnian tinggi pada temperatur 1200 °C selama 24 jam. Hasil proses tempa pada $T = 1250$ °C menunjukkan bahwa ingot paduan Co-35Cr-5Mo-0,4Mn tidak menghasilkan retak yang sangat signifikan bila dibandingkan dengan paduan tanpa dan dengan variasi penambahan mangan lainnya. Hasil XRD menunjukkan bahwa fasa γ (fcc), fasa ϵ (hcp) dan fasa σ terkandung pada semua paduan Co-35Cr-5Mo-xMn ($x=0-1$ % berat). Hasil metalografi memperlihatkan adanya presipitasi fasa σ dalam batas butir austenit, dan beberapa striasi dalam butir austenit. Striasi dimungkinkan adalah fasa ϵ dan kembaran deformasi. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa paduan Co-35Cr-5Mo-0,4Mn memiliki sifat mampu tempa yang baik. Striasi dan adanya fasa σ mengarah terhadap rendahnya sifat mampu tempa dari paduan tersebut.

Kata kunci : Paduan Co-35Cr-5Mo-xMn ($x=0-1$ % berat), Material implan, Variasi penambahan Mn, Sifat mampu tempa, Striasi, fasa γ (fcc), Fasa σ , Fasa ϵ (hcp)

Abstract

THE EFFECT OF Mn ADDITION ON FORGING ABILITY OF Co-35Cr-5Mo ALLOY FOR IMPLANT APPLICATIONS. The applications of Co-Cr-Mo alloys are widely used as an implant material such as knee and hip joint. Subject of this research relates to the forge ability of Co-35Cr-5Mo without and with various addition of Mn approximately 0.2-0.4-0.6-0.8-1 (weight %). Co-35Cr-5Mo-xMn (0-20 weight %) phase diagram is calculated using data base in the Thermo-Calc software. Co-35Cr-5Mo-xMn (0-1 weight %) alloy ingots are obtained through melting and solidifying process by using tri arc melting in vacuum condition at temperature above 1400 °C. Homogenizing is carried out using vacuum furnace with high purity argon gas at temperature 1200 °C for 24 h. After forging process at $T = 1250$ °C, Co-35Cr-5Mo-0.4Mn alloy ingot did not obtain any significant cracking when compared to others. XRD results reveal that ϵ phase and σ phase consist in all Co-35Cr-5Mo-xMn ($x=0-1$ weight %) alloys. Metallography examinations show precipitations of σ phase along austenite grain boundaries and striations in the interior of austenite grains. Striations are to be expected as ϵ phase or deformation twinning. From this research study concludes that Co-35Cr-5Mo-0.4Mn is suitable for forging process. The existence of striation and σ phase lead to the low grade of forging ability in these alloys.

Keywords : Co-35Cr-5Mo-xMn ($x=0-1$ weight %) alloy, Implant material, Various addition of Mn, Forging ability, Striation, γ phase (fcc), σ phase, ϵ phase (hcp)

PENDAHULUAN

Untuk menggantikan jaringan atau organ tubuh manusia yang rusak seperti bagian tulang atau gigi, material implan seringkali digunakan. Material implan atau dikenal dengan istilah biomaterial harus bersifat nyaman dan aman bagi tubuh manusia. Material logam implan yang lazim digunakan biasanya adalah paduan dasar titanium, baja tahan karat 316L dan paduan dasar kobalt.

Sampai saat ini, pada beberapa material logam implan yang sangat menjanjikan dan telah digunakan secara luas adalah paduan dasar Co-Cr-Mo yang mengacu pada standar ASTM F 75^[1]. Paduan ini mempunyai sifat mekanik yang unggul, ketahanan korosi dan ketahanan aus yang sangat baik. Seperti paduan Co-Cr-Mo hasil coran telah digunakan untuk pengganti *femoral head* pada daerah tulang pangkal paha karena memiliki sifat biokompatibel yang sangat baik dan ketahanan aus yang tinggi^[2]. Chiba dan timnya^[3] sudah mengembangkan paduan Co-Cr-Mo hasil tempa dengan ukuran butir sekitar 3 μm tanpa penambahan kandungan Ni dan C. Paduan Co-Cr-Mo dengan penambahan kandungan Ni ditiadakan karena akan mengakibatkan alergi pada tubuh manusia. Di lain pihak, Ni sangat bersifat meningkatkan kemampuan untuk dibentuk pada paduan berbasis Co-Cr. Selain itu, penambahan C akan mengakibatkan peningkatan *stacking fault energy* (SFE) sehingga menahan kestabilan struktur fcc dari kobalt. Pada paduan Co-Cr-Mo hasil cor, karakteristik dari paduan secara signifikan tergantung dari perbandingan fasa γ (fcc) dan fasa ϵ (hcp) yang terbentuk ketika martensit bertransformasi menjadi fasa γ dan ϵ selama pendinginan. Sebagai contoh, keuletan meningkat pada paduan Co-29Cr-6Mo dengan meningkatnya fraksi fasa γ , sedangkan pada kasus lain, jumlah pelepasan ion logam cenderung menurun pada paduan Co-29Cr-6Mo dengan meningkatnya fasa ϵ ^[4]. Dalam paduan Co-

29Cr-6Mo, fasa γ akan memberikan efek meningkatnya sifat mampu bentuk paduan, sedangkan fasa ϵ sangat menjanjikan apabila paduan diaplikasikan dalam atmosfer yang korosif atau memerlukan ketahanan aus yang relatif tinggi^[5].

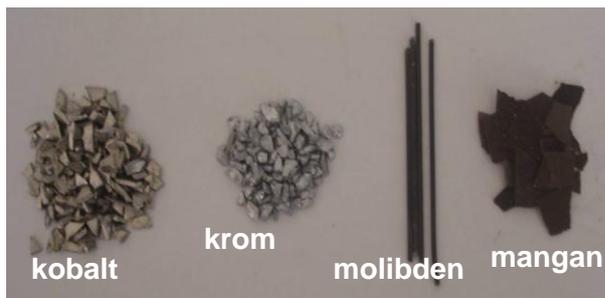
Penelitian terdahulu oleh Yuswono dan timnya^[6] pada paduan Co-35Cr-10Mo-0,5Mn hasil tempa menunjukkan sifat mampu tempa yang baik dibandingkan dengan paduan Co-30Cr-10Mo-0,5Mn dan Co-30Cr-10Mo tanpa Mn. Kedua paduan tersebut yaitu paduan Co-30Cr-10Mo-0,5Mn dan Co-30Cr-10Mo mengalami retak saat ingot ditempa setelah dipanaskan pada variasi temperatur 1100 °C-1300 °C dengan temperatur penahanan selama 30 menit. Retak saat tempa terjadi akibat pembentukan fasa σ dalam matrik γ saat pemanasan awal.

Pada studi penelitian ini akan dilakukan penambahan Mn terhadap paduan Co-35Cr-5Mo sebagai pengganti dari unsur nikel yang bersifat alergi terhadap tubuh manusia. Pembuatan paduan ini juga mengacu pada standar ASTM F 75 dengan memodifikasi kandungan unsur Cr sebesar 35 % berat. Dari studi penelitian ini diharapkan unsur Mn dalam paduan berbasis Co-35Cr-5Mo mampu menggantikan unsur Ni yang dapat memberikan sifat mampu bentuk yang baik. Oleh karenanya, sifat mampu tempa dari paduan Co-35Cr-5Mo-xMn ($x = 0-1$ % berat) dipelajari dalam penelitian ini. Karakterisasi yang dilakukan untuk menunjang studi penelitian ini adalah observasi visual, uji metalografi dengan mikroskop optik dan SEM (*scanning electron microscope*), serta analisa kandungan fasa dengan XRD (*X-ray diffraction*) terhadap ingot hasil tempa dari paduan Co-35Cr-5Mo-xMn ($x = 0-1$ % berat).

PROSEDUR PERCOBAAN

Sebelum proses peleburan dan pemaduan dilakukan, material awal (Gambar 1) ditimbang untuk mendapatkan

komposisi paduan Co-35Cr-5Mo-xMn ($x=0-1$ % berat dengan interval 0,2) dengan berat sampel yang diinginkan sebesar 20 gram (Tabel 1). Material awal dipesan dari NILACO Jepang. Komposisi material awal sesuai Tabel 1 kemudian dilebur dengan menggunakan tungku busur listrik (*tri arc melting*) di atas temperatur 1400 °C dalam kondisi vakum. Diagram fasa dari sistem paduan yang diinginkan yaitu Co-35Cr-5Mo-(0-20 % berat) Mn dikalkulasi menggunakan data base pada Thermo-Calc seperti ditunjukkan pada Gambar 2^[7].



Gambar 1. Material awal berupa kobalt, krom, molibden dan mangan sebelum dilebur dalam *tri arc melting*

Ingot hasil peleburan dengan panjang 24 mm, lebar 18 mm dan tebal kira-kira berkisar 7 mm kemudian dihomogenisasi dalam tungku vakum yang dialiri gas argon dengan kemurnian tinggi (UHP) pada temperatur 1250 °C selama 24 jam untuk mendapatkan komposisi kimia yang homogen. Ingot kemudian ditempa setelah dipanaskan pada temperatur 1250 °C dengan waktu penahanan 15 menit dalam tungku vakum yang dialiri gas argon dengan kemurnian tinggi. Proses tempa dilakukan dengan reduksi 50% dengan ketebalan ingot hasil tempa berkisar menjadi 3,5 mm.

Ingot hasil tempa kemudian dipotong pada area tengah menggunakan mesin pemotong (*wire cut*) dengan ukuran 8 x 8

mm² untuk dikarakterisasi dengan XRD dan metalografi.



Gambar 2. Ingot paduan Co-35Cr-5Mo-xMn ($x=0-1$ % berat) hasil peleburan dengan tungku busur listrik

Sampel untuk uji XRD kemudian diampelas menggunakan kertas ampelas dengan kekasaran 400-1200 mesh, dilanjutkan dengan pemolesan menggunakan alumina dengan kekasaran partikel 5-0,3 mikron. Uji XRD dilakukan pada permukaan ingot Co-35Cr-5Mo-xMn ($x = 0-1$ % berat) hasil tempa untuk menganalisa fasa yang terbentuk menggunakan alat difraksi sinar-X merk Shimadzu tipe 610-XD. Uji XRD juga dilakukan dengan menggunakan monokromatik CuK α dengan radiasi sebesar $40^\circ \leq 2\theta \leq 100^\circ$.

Metalografi dengan mikroskop optik dan SEM pada ingot paduan Co-35Cr-5Mo-xMn (0-1 % berat) dilakukan di area tengah pada posisi melintang dari permukaan tempa. Mikroskop optik yang digunakan adalah merk Olympus tipe PME, sedangkan SEM menggunakan merk JEOL JSM 6390 A. Preparasi sampel metalografi sama dengan untuk uji XRD, kemudian dilanjutkan dengan proses *electroetching* menggunakan katoda baja tahan karat (*stainless steel*) dengan arus sebesar 3A. Larutan etsa yang digunakan adalah 10% H₂SO₄ dalam 90% CH₃OH.

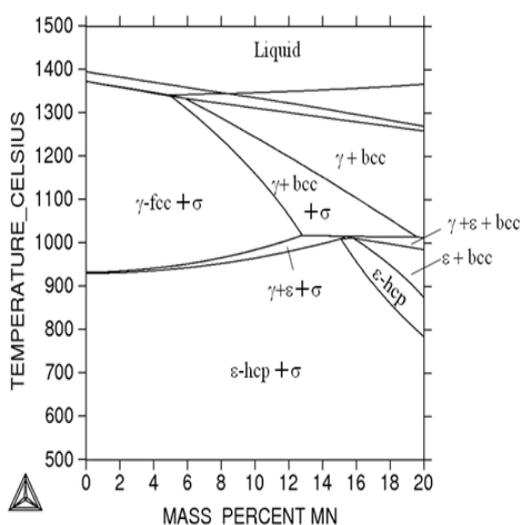
Tabel 1. Komposisi berat paduan Co-35Cr-5Mo-xMn (x = 0-1 % berat)

Disain Paduan	Co (gr)	Cr (gr)	Mo (gr)	Mn (gr)	Muatan total setiap sampel (gr)
Co-35%Cr-5%Mo-0Mn	12	7	1	0	20
Co-35%Cr-5%Mo-0,2%Mn	11,96	7	1	0,04	20
Co-35%Cr-5%Mo-0,4%Mn	11,92	7	1	0,08	20
Co-35%Cr-5%Mo-0,6%Mn	11,88	7	1	0,12	20
Co-35%Cr-5%Mo-0,8%Mn	11,84	7	1	0,16	20
Co-35%Cr-5%Mo-1%Mn	11,8	7	1	0,2	20

HASIL DAN PEMBAHASAN

Diagram Fasa

Diagram fasa sangat diperlukan saat merencanakan pembuatan suatu paduan logam sebagai dasar acuan untuk mengetahui fasa-fasa yang terbentuk pada suatu rentang temperatur dengan komposisi unsur tertentu. Karena diagram fasa yang sesuai dengan komposisi paduan yang diinginkan (Tabel 1) tidak ditemukan dalam literatur, maka diagram fasa sebagai fungsi dari konsentrasi mangan dalam paduan Co-35Cr-5Mo dikalkulasi dengan menggunakan data base dalam software Thermo-Calc seperti ditunjukkan pada Gambar 3^[7].



Gambar 3. Diagram fasa dari paduan Co-35Cr-5Mo-xMn (x = 0-20 % berat) dihasilkan dari kalkulasi dengan menggunakan Thermo-Calc^[7]

Dalam diagram fasa paduan Co-35Cr-5Mo-xMn (x = 0-20 % berat) terlihat bahwa fasa γ (fcc) stabil bersama fasa σ pada temperatur di atas 950 °C dengan kandungan Mn sebesar 0-13 % berat. Sedangkan pada temperatur dibawah 900 °C, dengan penambahan Mn sebesar 0-20 % berat, fasa ϵ (hcp) dan fasa σ stabil dalam paduan Co-35Cr-5Mo. Fasa γ (fcc), σ dan ϵ (hcp) akan ada secara bersama pada temperatur 940 °C - 1000 °C dengan kandungan Mn sebesar 0-15 % berat.

Pemeriksaan Visual pada Ingot Hasil Tempa

Hasil observasi visual pada ingot paduan Co-35Cr-5Mo-xMn (x= 0-1 % berat) hasil tempa T = 1250 °C, ditunjukkan pada Gambar 4a-4f. Hasil observasi visual pada ingot paduan hasil tempa memperlihatkan bahwa paduan Co-35Cr-5Mo tanpa penambahan Mn banyak mengalami retak di area tepi (Gambar 4a). Retak juga terlihat pada ingot paduan hasil tempa dengan kandungan Mn sebesar 0,2 (% berat) di beberapa sisi. Pada kandungan Mn sebesar 0,4 (% berat), retakan hanya terjadi pada salah satu area sisi (Gambar 4b-4c).



Gambar 4. Ingot paduan hasil tempa pada $T = 1250\text{ }^{\circ}\text{C}$: (a) Co-35Cr-5Mo; (b) Co-35Cr-5Mo-0,2Mn; (c) Co-35Cr-5Mo-0,4Mn; (d) Co-35Cr-5Mo-0,6Mn; (e) Co-35Cr-5Mo-0,8Mn dan (f) Co-35Cr-5Mo-1Mn

Secara visual retakan ini lebih disebabkan oleh bentuk ingot yang memiliki sudut yang tajam pada area permukaan, meskipun area ini sudah diminimalisir dengan penggerindaan. Akibatnya ketika proses tempa dilakukan area tersebut menginisiasi terjadinya retak (Gambar 4b-4c). Observasi visual pada ingot paduan hasil tempa dengan penambahan Mn sebesar 0,6-1 (% berat) terlihat menghasilkan retakan di beberapa sisi (Gambar 4d-4f). Hasil observasi visual menunjukkan bahwa retakan lebih banyak terjadi pada ingot paduan Co-35Cr-5Mo tanpa penambahan Mn (Gambar 4a).

XRD Analisis

Gambar 5 menunjukkan grafik hasil pengujian XRD pada ingot paduan Co-35Cr-5Mo-xMn ($x = 0-1\%$ berat) hasil tempa. Hasil karakterisasi dengan XRD memperlihatkan bahwa ingot paduan Co-35Cr-5Mo tanpa dan dengan penambahan Mn sebesar 0,2-1 (% berat) memiliki

puncak-puncak dari fasa γ (fcc), ϵ (hcp) dan σ (Gambar 4). Fasa σ dan fasa ϵ berturut-turut memiliki puncak yang hampir sama pada rentang sudut 2θ berkisar $= 46,25^{\circ} - 47^{\circ}$ (Gambar 5).

Hasil Metalografi

Gambar 6a-6f menunjukkan struktur mikro di area tengah pada posisi melintang dari permukaan ingot hasil tempa paduan Co-35Cr-5Mo-xMn ($x = 0-1\%$ berat) dengan menggunakan mikroskop optik metalografi. Gambar 6a adalah struktur mikro paduan Co-35Cr-5Mo tanpa penambahan Mn. Struktur mikro menunjukkan butir austenit yang *equiaxed* dengan ukuran butir bervariasi dan berkisar antara $30-90\text{ }\mu\text{m}$, adanya striasi dalam butir austenit yang menunjukkan fasa ϵ , kembaran aniling (*annealing twin*) dan porositas (Gambar 6a). Gambar 6b-6e memperlihatkan struktur mikro paduan Co-35Cr-5Mo-xMn ($x = 0,2-1\%$ berat). Struktur teramati adalah butir austenit yang

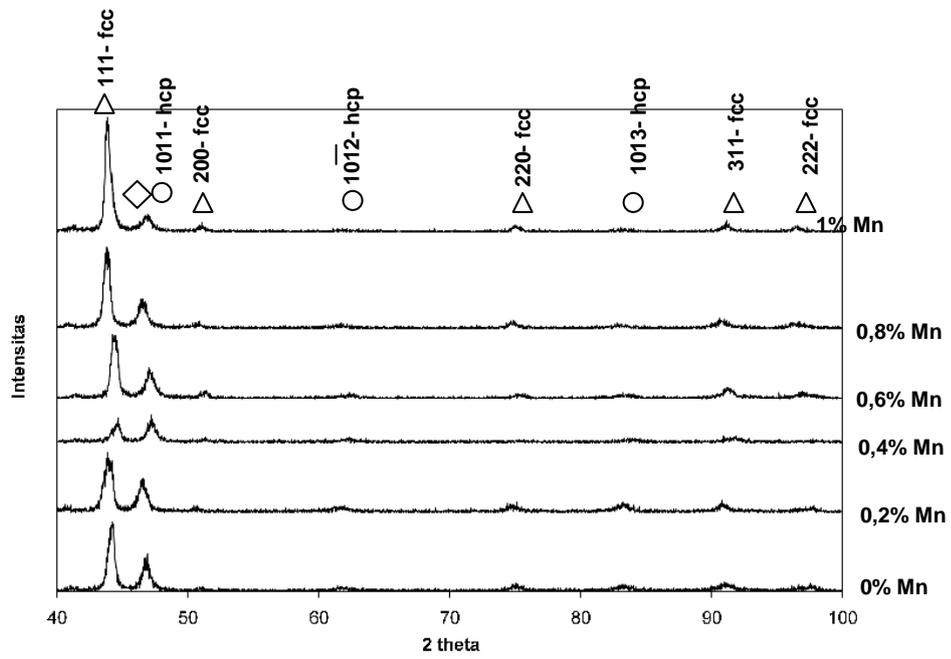
equiaxed, adanya striasi dalam butir austenit yang menunjukkan fasa ϵ , presipitasi fasa σ dalam batas butir austenit, kembaran aniling, dan adanya porositas (Gambar 6b-6e). Pada Gambar 6f, dengan penambahan Mn sebesar 1% berat dalam paduan Co-35Cr-5Mo menghasilkan peningkatan dan pertumbuhan presipitasi fasa σ pada batas butir austenit, selain itu presipitasi interdendritik dari fasa σ juga teramati dalam butir austenit.

Gambar 7a dan 7b berturut-turut menunjukkan struktur mikro hasil SEM dari ingot paduan Co-35Cr-5Mo-0,2Mn dan Co-35Cr-5Mo-1Mn hasil tempa pada $T = 1250\text{ }^{\circ}\text{C}$. Struktur mikro hasil SEM menunjukkan adanya striasi dalam butir austenit dan presipitat dari fasa σ pada batas butir austenit serta adanya porositas (Gambar 7a dan 7b). Teramati besar butir austenit berkisar $60\text{ }\mu\text{m}$ (Gambar 7b). Dari hasil pengamatan dengan SEM terlihat bahwa striasi dalam butir austenit cenderung meningkat dengan meningkatnya penambahan Mn sampai dengan 1% berat dalam paduan Co-35Cr-5Mo (Gambar 7a dan 7b).

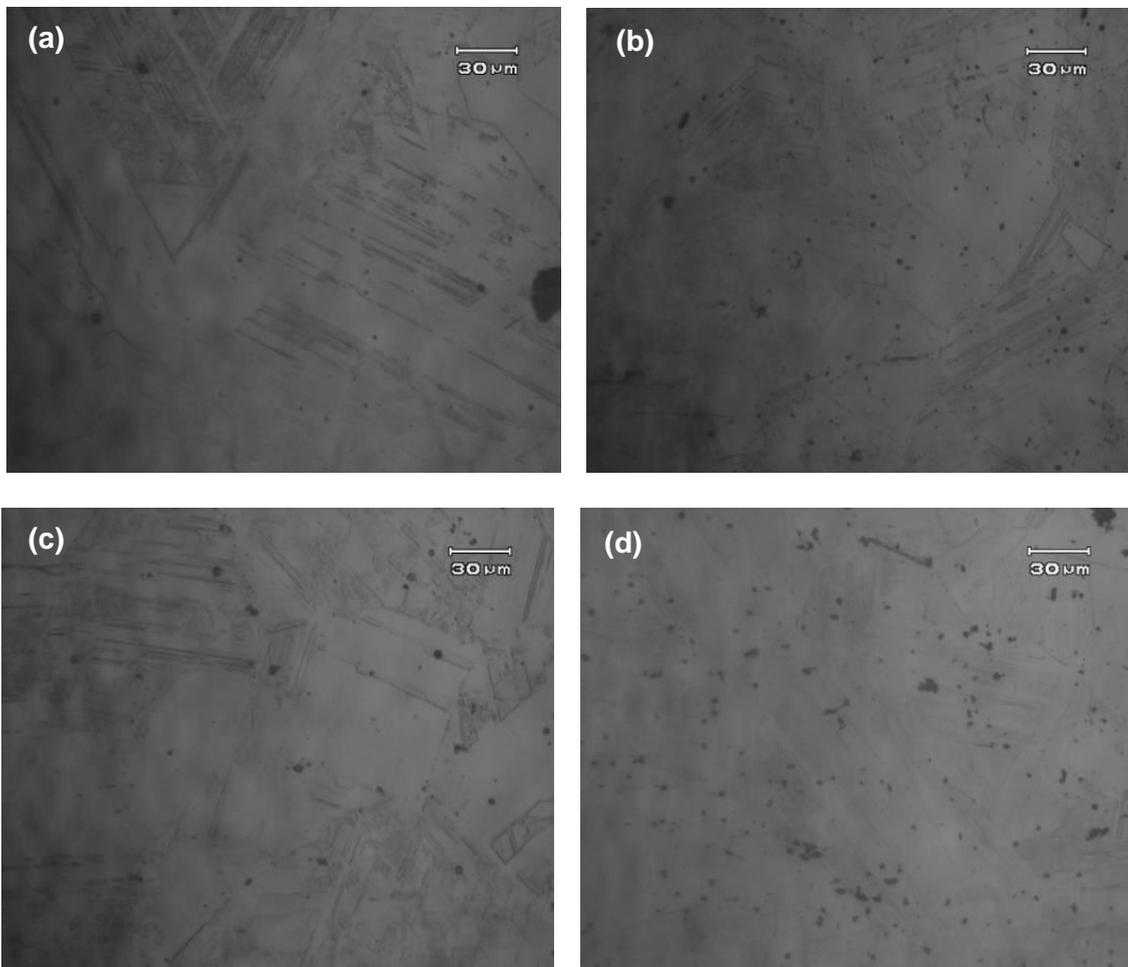
Dari observasi visual terhadap paduan Co-35Cr-5Mo-xMn ($x = 0-1\%$ berat) yang mengalami retak seperti ditunjukkan pada Gambar 4a-4f, dan dihubungkan dengan struktur mikro yang terbentuk (Gambar 6a-6f), rendahnya sifat mampu tempa pada ingot paduan selain disebabkan oleh presipitasi fasa σ [6], juga dipicu oleh adanya fasa ϵ berupa striasi dalam butir austenit. Selain itu, penambahan Mn dalam paduan Co-35Cr-5Mo akan mengarah pada terbentuknya kembaran deformasi (*deformation twinning*) yang juga akan mencirikan striasi dalam butir austenit [8]. Kembaran deformasi biasanya terjadi pada logam dengan struktur sel satuan fcc [9-12], mekanisme pembentukannya hampir mirip dengan teori transformasi martensit, dan mempengaruhi sifat mekanik dari material itu sendiri [13-16]. Striasi-striasi tersebut apabila dikonfirmasi dengan TEM (*transmission electron microscope*) akan

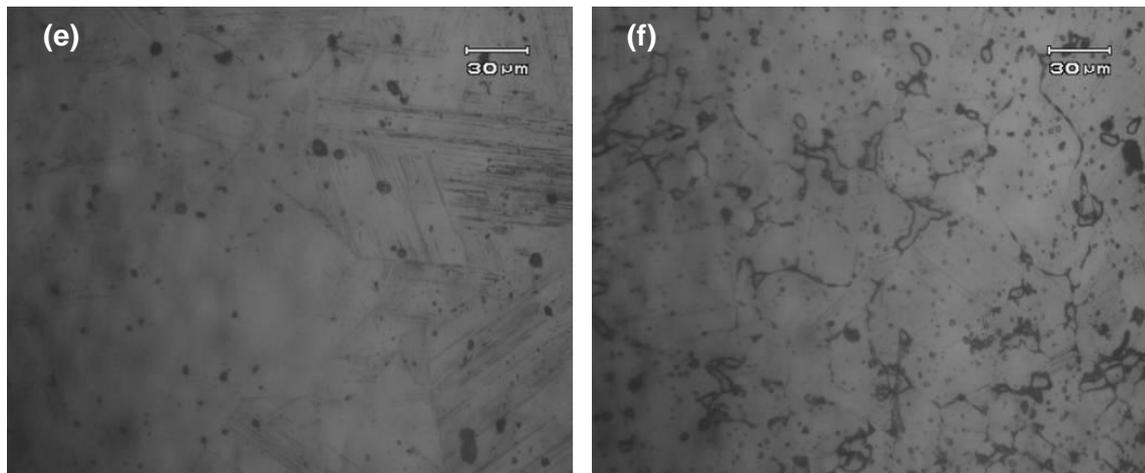
berupa kumpulan *stacking fault* dan *partial dislocation* yang saling berinteraksi dan meningkatkan kecepatan pengerasan regangan (*strain hardening rate*) dalam paduan [17]. Oleh karenanya, sifat mampu tempa ingot paduan akan menurun dengan adanya kembaran deformasi karena paduan akan memiliki keuletan yang rendah.

Mengacu pada kalkulasi diagram fasa dengan Thermo-Calc, proses tempa pada ingot paduan Co-35Cr-5Mo tanpa dan dengan penambahan Mn sebesar 0,2-1% berat pada temperatur $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ akan menghasilkan fasa γ (fcc) dan fasa σ (Gambar 3). Hasil karakterisasi dengan XRD terhadap ingot paduan hasil tempa tersebut memunculkan puncak-puncak dari fasa γ (fcc), fasa ϵ (hcp) dan fasa σ (Gambar 5). Hasil metalografi dengan mikroskop optik dan SEM memperlihatkan data yang sesuai dengan analisa fasa hasil XRD. Struktur mikro dari paduan Co-35Cr-5Mo-xMn ($x=0-1\%$ berat) memperlihatkan butir austenit yang *equiaxed* dengan ukuran butir berkisar $30-90\text{ }\mu\text{m}$, adanya presipitasi dari fasa σ pada batas butir austenit dan striasi dalam butir austenit yang menandakan adanya fasa ϵ ataupun kembaran deformasi (Gambar 6a-6f). Bentuk butir austenit yang bersudut tajam (Gambar 6a-6f) memungkinkan adanya fenomena *strain induce transformation*, dimana fasa martensit bertransformasi menjadi fasa γ (fcc) dan fasa ϵ (hcp) pada saat pendinginan. Struktur mikro ingot paduan Co-35Cr-5Mo hasil tempa dengan penambahan Mn sebesar 1% berat memperlihatkan masih adanya presipitasi interdendritik dari fasa σ . Selain itu, presipitasi fasa σ pada batas butir austenit semakin meningkat (Gambar 6f). Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Sang Hak Lee dkk [18] pada paduan Co-29Cr-6Mo, fasa σ dihasilkan saat paduan tersebut ditempa pada $T = 950\text{ }^{\circ}\text{C}$ dalam area interdendritik dimana Cr dan Mo bersegregasi.

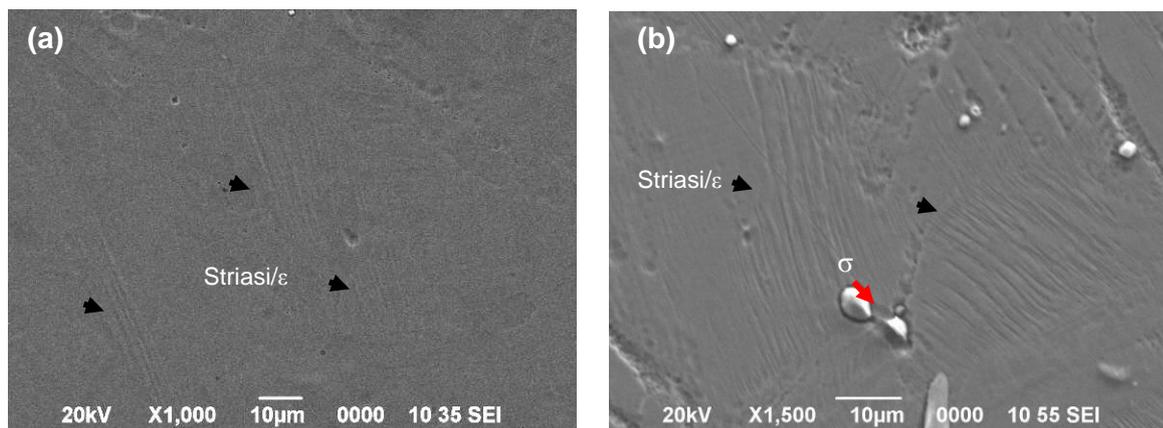


Gambar 5. Profil hasil XRD dari paduan Co-35Cr-5Mo-xMn (x=0-1% Mn) hasil tempa pada temperatur 1250°C $\Delta = \gamma$, $\circ = \epsilon$, $\diamond = \sigma$





Gambar 6. Struktur mikro ingot paduan hasil tempa $T = 1250\text{ }^{\circ}\text{C}$: (a) Co-35Cr-5Mo; (b) Co-35Cr-5Mo-0,2Mn; (c) Co-35Cr-5Mo-0,4Mn; (d) Co-35Cr-5Mo-0,6Mn; (e) Co-35Cr-5Mo-0,8Mn dan (f) Co-35Cr-5Mo-1Mn



Gambar 7. Struktur mikro hasil SEM dari ingot paduan hasil tempa $T = 1250\text{ }^{\circ}\text{C}$: (a) Co-35Cr-5Mo-0,2Mn dan (b) Co-35Cr-5Mo-1Mn

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa;

1. Penambahan unsur Mn yang optimal tanpa menghasilkan retak pada ingot paduan Co-35Cr-5Mo hasil tempa adalah sebesar 0,4 % berat.
2. Tanpa penambahan Mn dan dengan semakin meningkatnya penambahan Mn di atas 0,4 (% berat) dalam paduan Co-35Cr-5Mo akan menurunkan sifat mampu tempanya.
3. Struktur yang terbentuk dalam ingot paduan Co-35Cr-5Mo-0,4Mn adalah presipitasi fasa σ pada batas butir austenit dan striasi dalam butir austenit

berupa fasa ϵ ataupun kembaran deformasi.

4. Fasa σ dan striasi dalam butir austenit akan mengarah pada rendahnya sifat mampu tempa dari paduan Co-35Cr-5Mo-xMn ($x = 0,2-1\text{ %}$ berat) karena akan menghasilkan paduan dengan kekuatan tinggi dan keuletan yang rendah.

SARAN

1. Striasi dalam butir austenit sebaiknya dikonfirmasi dengan pengujian TEM untuk menentukan struktur atau fasa yang terbentuk dalam paduan Co-35Cr-5Mo-xMn ($x = 0-1\text{ %}$ berat).

2. Kalibrasi perlu dilakukan pada kontrol atau penunjuk temperatur dari tungku vakum yang digunakan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Kementrian Negara Riset dan Teknologi yang telah mendanai studi penelitian ini melalui kegiatan Insentif Peneliti dan Perakayasa LIPI Tahun 2011. Terima kasih juga diucapkan atas bantuan Bapak Fendy Rokhmanto, ST dan Bapak Yuswono, M.Eng. Terimakasih untuk bantuan kalkulasi diagram fasa dengan Thermo-Calc di Chiba Laboratory, Institute for Materials Research, Tohoku University, Japan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Standard Specification for Cobalt-Chromium-Molybdenum Casting Alloy and Cast Product for Surgical Implant. 1998. ASTM Designation: F75.
- [2] K. Kumagai, N. Nomura, T. Ono, M. Hotta and A. Chiba. 2005. *Materials Transactions Japan*. : 46, 7, 1578-1587.
- [3] A. Chiba, K. Kumagai, H. Takeda and N. Nomura. 2005. *Materials Science Forum*. : 475- 479, 2317-2322.
- [4] S. Kurosu, N. Nomura, K. Yamaguchi, S. Fujinuma and A. Chiba. 2005. *Japan Institute of Metals*. : 69, 886-891.
- [5] A.J.S. Garcia and H. F. Lopez. 2005. *Journal Biomed. Mater. Res.*: 74a, 269-274.
- [6] Yuswono dan Andika Pramono. 2007. *Material Komponen dan Konstruksi*. : 7, 12, 54-64.
- [7] B. Jansson, M. Schalin, M. Selby and B. Sundman. 1993. *Computer Software in Chemical and Extractive Metallurgy*. Quebec :The Metal Society of CIM.
- [8] Y.N. Dastur and W.C. Leslie. 1981. *Met. Trans. A*. : 12A, 749-758.
- [9] A. Chiba, X.G. Li and M.S. Kim. 1999. *Phil. Mag. A*. : 79, 7, 1533-1554.
- [10] T.H. Blewitt, R.R. Coltman and J.K. Redman. 1957. *J. Appl. Phys.* : 28, 651.
- [11] H. Suzuki and C.S. Barret. 1958. *Acta Metal.* : 6, 156.
- [12] P. Haasen. 1958. *Phil Mag.* : 3, 384.
- [13] G. T. Gray III. 1988. *Acta Metal.* : 36, 1745.
- [14] S. Asgari, E. El-Danaf, S.R. Kalindi and R.D. Doherty. 1997. *Metall. Trans A*. : 2A, 1781-95.
- [15] J. W. Christian and S. Mahajan. 1995. *Progress In Material Science*. : 39, 1-157.
- [16] L. Remy. 1981. *Metal Trans A*. : 12A, 387-408.
- [17] N. Nomura, M. Abe, A. Kawamura, S. Fujinuma, A. Chiba, N. Masahashi and S. Hanada. 2006. *Material Transactions*. : 47, 2, 283-286.
- [18] S.H. Lee, E. Takahashi, N. Nomura and A. Chiba. 2005. *Material Transactions*. :46, 1790-1793.

RIWAYAT PENULIS

Ika Kartika, lahir di Bandung. Menamatkan S1 di Jurusan Teknik Metalurgi UNJANI Bandung tahun 1996. Menamatkan S2 di Jurusan Teknik Material ITB pada tahun 2006 dan S3 di Jurusan Material Processing, Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai, Japan lulus pada tahun 2010. Bekerja sebagai Peneliti di Puslit Metalurgi-LIPI sejak Maret 1998.

