

STUDI KETAHANAN KOROSI BAJA TAHAN KARAT AUSTENITIK UNTUK MATERIAL ORTOPEDI

Aan Sulistyawan¹, Mochamad Ichwan² dan Djoko HP³

¹ Fakultas Teknik Metalurgi – Universitas Jenderal Achmad Yani
Jl. Jend. Gatot Subroto PO Box 807, Bandung

² Pusat Penelitian dan Pengembangan - Telimek LIPI
Jl. Cisit 21/154D, Bandung 40135

³ Puslitbang Teknik Nuklir (P3TKN) - BATAN
Jl. Taman Sari 71, Bandung 40132

ABSTRAK

STUDI KETAHANAN KOROSI BAJA TAHAN KARAT AUSTENITIK UNTUK MATERIAL ORTOPEDI. Dalam upaya mencari bahan alternatif untuk material *implant* dalam bedah ortopedi, telah dilakukan penelitian ketahanan korosi pada tiga varian baja tahan karat austenitik non standar Al-6X (*Alleghenyludlum*) dengan kandungan Mo masing-masing: 4%, 5%, dan 6%. Pengujian dilakukan dengan metode CMS (*Corrosion Measurement System*) dalam media larutan garam NaCl. Logam contoh uji terlebih dahulu dipanaskan didalam tungku pada suhu 1150 °C agar terjadi proses pelarutan unsur-unsur (*Solution Treatment*), selanjutnya dicelup cepat (*Quenching*) dalam air pada suhu kamar. Sebagai pembanding digunakan baja standar AISI 316L yang sudah banyak digunakan dipasaran sebagai *implant* dalam bedah ortopedi. Hasil pengujian pada suhu kamar menunjukkan bahwa laju korosi ketiga varian baja Al-6X masih lebih tinggi dari pada baja AISI 316L. Ketahanan korosi baja Al-6X paling tinggi dicapai pada varian baja dengan kandungan 4% Mo.

Kata kunci : Uji korosi, baja tahan karat austenitik, *implant*, ortopedi, Molibdenum

ABSTRACT

STUDY OF CORROSION RESISTANCE OF AUSTENITIC STAINLESS STEEL FOR ORTHOPEDICS MATERIAL. In the aim to find an alternative implant material for orthopedics surgery, some corrosion test on austenitic corrosion resistance steel Al-6X (*Alleghenyludlum*) with three variant Mo content (4%, 5%, and 6%) have been conducted. The observation was carried out in NaCl solution medium with CMS (*Corrosion Measurement System*) method. The tested materials were heat treated with *Solution Treatment* in temperature of 1150⁰ C, followed by quenching in water at room temperature. Standard austenitic steel AISI 316L, which extensively used in orthopedics surgery, was used as comparative material. The result of investigation shows that the corrosion rate of the three variants still higher than that of steel AISI 316L. The highest corrosion resistance of Al-6X was found in the steel variant with Mo = 4%.

Key words : Corrosion test, austenitic corrosion resistance steel, implant, orthopedic, Molibdenum.

PENDAHULUAN

Dalam dunia medis dikenal adanya implantasi dalam ilmu bedah tulang atau biasa disebut ortopedi, dimana digunakan baja tahan karat atau material logam lainnya untuk membantu dan menggantikan fungsi bagian tubuh tertentu. Diantara alat bantu yang dipergunakan untuk penyambungan tulang patah antara lain: sekrup dan tulang (*bone screw*), plat tulang (*bone plate*), *nail plate*, *total hip prosthesis* sesuai dengan fungsi dan kebutuhannya masing-masing.

Bagi tubuh manusia, alat-alat bantu penyambung tulang tersebut merupakan benda asing yang harus menyesuaikan diri dengan lingkungannya berupa cairan darah. Telah diketahui bahwa darah mengandung 355-376 mg klorida per 100 mL cairan darah [1,2].

Salah satu logam yang banyak digunakan dalam dunia bedah ortopedi adalah baja tahan karat austenitik AISI 316L [3,4]. Didalam baja AISI 316L terkandung 2,5% Mo yang sengaja ditambahkan untuk meningkatkan ketahanan korosi dalam lingkungan yang mengandung klorida (Cl).

Dalam upaya mencari bahan alternatif lain pengganti baja AISI 316L, telah didapatkan dipasaran baja tahan karat austenitik non standar Al-6X (*Alleghenyludlum*) [5,6] yang memiliki komposisi kimia mendekati baja AISI 316L. Namun demikian belum diketahui seberapa jauh ketahanan korosi dari baja tahan karat austenitik Al-6X tersebut didalam lingkungan yang mengandung klorida (Cl) seperti halnya dalam darah. Telah

diketahui bahwa bersama Chrom (Cr), Molibdenum (Mo) sangat efektif sebagai penstabil lapisan pasif terhadap kehadiran ion klorida (Cl⁻). Akan tetapi penambahan unsur Mo tidak selalu efektif untuk meningkatkan ketahanan korosi baja tahan karat austenitik, karena Mo merupakan salah satu unsur pembentuk karbida yang dapat menurunkan ketahanan korosi.

Karena besarnya pengaruh Mo pada ketahanan korosi baja tahan karat austenitik didalam lingkungan yang mengandung klorida (Cl), maka perlu dicari berapa besarnya kadar Mo yang tepat agar baja Al-6X dapat memiliki sifat ketahanan korosi setara atau bahkan lebih baik bila dibandingkan dengan baja AISI 316L.

Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh Mo pada ketahanan korosi dari baja tahan karat austenitik Al-6X dalam tubuh manusia, dilakukan uji ketahanan korosi dari baja tersebut yang telah dimodifikasi kadar Mo-nya. Uji korosi dilakukan dalam media larutan garam NaCl, karena komposisinya mendekati komposisi cairan darah manusia. Hasil pengujian tersebut kemudian dibandingkan dengan ketahanan korosi baja AISI 316L.

BAHAN DAN METODE

Contoh uji baja tahan karat austenitik Al-6X yang diteliti adalah hasil peleburan dari tungku busur listrik. Setelah dilakukan pelarutan unsur (*Solution Treatment*) didalam tungku (kecuali AISI 316L) pada suhu 1150 °C, kemudian contoh uji dicelup cepat dalam air (*Quenching*) pada suhu kamar. Variasi kadar Molibdenum (Mo) masing-masing adalah: 2,5% Mo (AISI 316L), 4% Mo, 5% Mo dan 6% Mo (Tabel 1).

Tabel 1. Komposisi kimia baja tahan karat

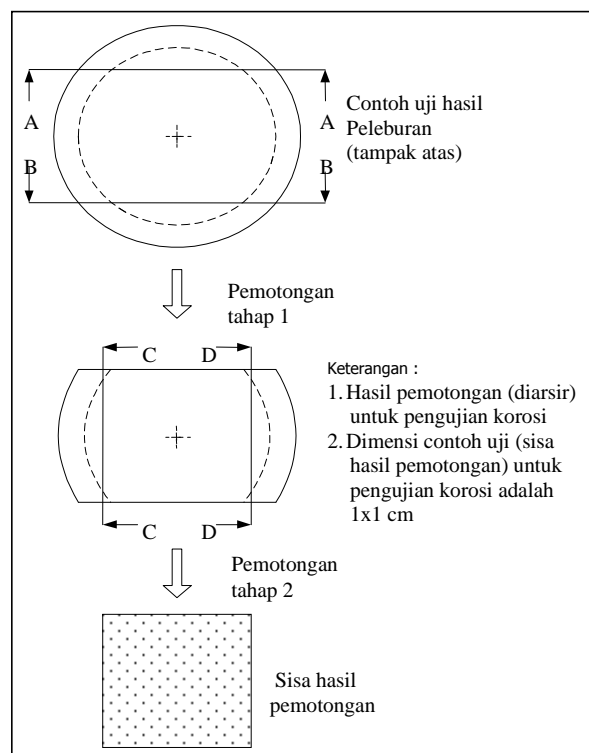
Contoh Uji	AISI 316L	Al-6X 4%Mo	Al-6X 5%Mo	Al-6X 6%Mo	
Komposisi (%)	C	0,03	0,032	0,067	0,068
	Si	0,54	0,39	0,47	0,30
	Cr	18	20,98	20,46	20,11
	Ni	10	24,35	25,48	25,70
	Mo	2	3,952	5,795	6,137
	Mn	1,3	1,05	1,03	1,05
	Nb	-	0,012	0,013	0,014
	P	0,045	-	-	-
	S	0,030	-	-	-
	Fe	68,055	49,234	46,685	53,379

Data spesifikasi fisik dari contoh uji dapat dilihat pada Tabel 2.

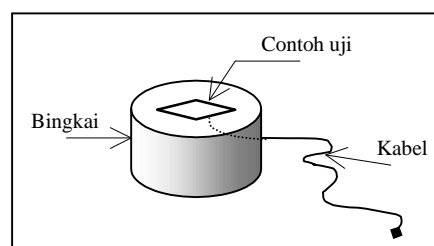
Tabel 2. Spesifikasi fisik baja Al-6X (hasil peleburan & hasil perlakuan panas)

Contoh uji	4% Mo	5% Mo	6% Mo
Massa jenis(g/cm ³)	8,8086		
Berat equivalent	13,0757	14,1958	14,357

Material dibagi menjadi tiga jenis, yakni contoh uji hasil peleburan (*as cast*), material hasil perlakuan panas (*as heat treated*) pada suhu 1150 °C melalui tahap pelarutan unsur (*solution treatment*) yang dilakukan didalam tungku dan dicelup cepat (*quenching*) dalam air, yang telah dipotong dengan luas penampang 1 cm² (Gambar 1), dan spesimen AISI 316L (hasil pabrikan). Kemudian, ketiga jenis contoh uji ini dibingkai (*mounting*), dipasang kabel (Gambar 2) dan diampelas bertahap.



Gambar 1. Skematis pemotongan contoh uji untuk uji korosi



Gambar 2. Skematis contoh uji yang telah siap diuji korosi

Selanjutnya dilakukan pasivasi pada permukaan setiap contoh uji dengan HNO₃ 30%, selama 30 menit pada suhu kamar (ASTM F86). Larutan yang digunakan sebagai media selama proses berlangsung adalah larutan garam dengan komposisi yang dipilih 365,5 mg NaCl dalam 100 mL aquades.

Adapun dasar pemilihan larutan, komposisi, suhu dan pH larutan dipilih berdasarkan komposisi dominan cairan darah yang terdiri dari 355-376 mg NaCl

per- 100 mL aquades [1,2] (dipilih nilai tengah, yaitu 365,5 mg NaCl per-100 mL aquades) dan pH netral cairan darah berkisar antara 7,35-7,45 (dari hasil pengukuran, didapat pH = 7,37), sedangkan suhu larutan dipilih suhu kamar, sebelum dilakukan penelitian lanjutan pada suhu tubuh sebenarnya.

Pengujian korosi, dilakukan berdasarkan ASTM G8 dengan alat uji CMS 100 (*Corrosion Measurement System*) versi 2.03 dengan program Tafel, bermerek *Bi-Link* buatan Taiwan. Dari hasil pengujian korosi dengan media larutan garam didapatkan data potensial korosi, laju korosi dan arus korosi.

Adapun kondisi pengujiannya adalah sebagai berikut :

- Suhu pengujian adalah suhu kamar (27 °C)
- Elektroda pembanding adalah Ag/AgCl
- Massa jenis baja tahan karat austenitik adalah 8,8086 g/cm³

HASIL DAN PEMBAHASAN

Apabila kita plot data hasil pengukuran potensial (lihat Tabel 3) pada diagram Pourbaix. Baja Al-6X dengan 4%Mo, 5%Mo, dan 6%Mo terletak pada daerah pasif Fe(OH)₃. Akan tetapi pada kenyataannya, untuk baja dengan 5%Mo dan 6%Mo, terkorosi lebih cepat bila dibandingkan baja dengan 4%Mo. Fenomena ini dibahas pada kajian berikut.

Tabel 3. Potensial korosi Al-6X (hasil peleburan & hasil perlakuan panas)

Contoh uji	Potensial korosi (mV)	
	Hasil peleburan	Hasil perlakuan panas
4% Mo	372,3	282,0
5% Mo	180,3	184,0
6% Mo	204,8	160,5

Korosi pada Baja Tahan Karat Austenitik 316L

Pada baja tahan karat AISI 316L, data yang diperoleh adalah hasil pengukuran potensiodinamik. Sehingga tidak dapat mengetahui laju korosi, arus korosi dan potensial korosi material secara langsung. Laju korosi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1).

$$R_{mpy} = 0,13i_{corr} \frac{e}{\rho} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana ;

- R = Laju korosi (mpy)
- I_{corr} = Arus korosi (mA)
- ρ = Berat jenis (g/cm³)
- e = Berat ekuivalen

Dengan menggunakan persamaan (1) pada baja AISI 316L yang memiliki potensial korosi 1,98E⁻¹ mV, didapatkan

- Arus korosi = 4, 130E⁻⁸ A/cm²
- Laju korosi = 0,004 mpy

Dari data diatas, laju korosi AISI 316L lebih rendah dibandingkan dengan material Al-6X [Tabel 4]. Hal ini dapat dikaitkan dengan keadaan awal material AISI 316L, yang merupakan produk hasil olahan pabrik yang pembuatannya melewati kontrol kualitas (*QC*) yang relatif sempurna, nyaris tanpa kehadiran inklusi yang dapat mempengaruhi ketahanan korosi material, dan dengan perlakuan panas yang tepat dan komposisi kimia target sesuai dengan yang diinginkan. Tetapi material ini tidak tahan terhadap serangan ion klorida (Cl⁻) yang menyebabkan terjadinya korosi sumur.

Tabel 4. Laju korosi Al-6X (hasil peleburan & hasil perlakuan panas)

Contoh uji	Laju Korosi			
	Hasil peleburan		Hasil Perlakuan panas	
	Mpy	mdd	Mpy	mdd
4% Mo	0,014	0,0022	0,005	0,00081
5% Mo	0,03	0,0049	0,036	0,0058
6% Mo	0,035	0,0057	0,054	0,0088

Korosi Pada Baja Tahan Karat Austenitik Al-6X

Dari data hasil pengukuran polarisasi anodik dan katodik, harga ekstrapolasi pada tabel potensial korosi akan menghasilkan arus korosi dan laju korosi seperti terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Arus korosi dan laju korosi contoh Uji AL-6X

Contoh uji	Hasil peleburan		Hasil perlakuan panas	
	I _{corr} (A/cm ²)	CorrRate (mpy)	I _{corr} (A/cm ²)	CorrRate (mpy)
4% Mo	7,369E ⁻⁸	0,014	2,588E ⁻⁸	0,005
5% Mo	1,467E ⁻⁷	0,03	1,713E ⁻⁷	0,036
6% Mo	1,652E ⁻⁷	0,035	2,551E ⁻⁷	0,054

Angka kecepatan korosi (*CorrRate*) baja tahan karat austenitik Al-6X dalam Tabel 5 bersesuaian dengan hasil perhitungan kecepatan korosi dengan menggunakan persamaan (1). Sebagai contoh, kecepatan korosi (*CorrRate*) untuk baja Al-6X dengan 4% Mo dapat diperoleh dengan memasukan harga-harga I_{corr} (Tabel 5), e dan ρ (Tabel 2) kedalam persamaan (1) sebagai berikut:

$$R_{mpy} = \frac{0,13(0,02588 \frac{\mu A}{cm^2})13,0757}{8,8086 \frac{g}{cm^3}} = 4,994E^{-3} mpy \gg 0,005 mpy.$$

Pengaruh Mo pada Baja Tahan Karat Austenitik Al-6X

Dalam suatu paduan, ada hubungan ketergantungan antara satu unsur dengan unsur yang lain dan ikut mempengaruhi sifat atau karakter paduan. Demikian pula dengan unsur Mo. Bersama karbon, molibdenum merupakan salah satu unsur pembentuk karbida yang meningkatkan kekuatan logam, tetapi adanya karbida justru akan menurunkan ketahanan korosi paduan. Hal ini jelas terlihat pada Tabel 4, material Al-6X hasil peleburan. Dari Tabel 4 terlihat bahwa semakin besar komposisi Mo, ketahanan korosi material semakin menurun.

Fenomena ini dapat dijelaskan dengan teori pengendapan karbida. Bila dilihat dari kadar komposisi kimia masing-masing material (Tabel 1), terdapat keragaman komposisi kimia material (pembentuk karbida). Bersama Mo, dalam jumlah yang cukup akan membentuk Molibdenum karbida. Karena material tersebut adalah merupakan hasil peleburan, maka kemungkinan terbentuknya karbida $M_{23}C_6$ sangat besar, yang dapat ditemukan pada besi dengan paduan dasar austenitik. Bila terdapat unsur pembentuk karbida misalnya Mo, maka karbida yang terbentuk adalah $Mo_{23}C_6$ atau bila dengan unsur pembentuk karbida lain, akan membentuk $(Cr,Fe)_{23}C_6$ atau $(Cr,Fe,Mo,Ni)_{23}C_6$. Pengendapan karbida $M_{23}C_6$ dapat terjadi pada suhu sekitar 500-950 °C (932-1742 °F), yang terbentuk pada batas butir [3,6].

Karenanya perlakuan panas sangat diperlukan agar sejumlah karbon dapat larut sempurna dalam paduan. Perlakuan panas dan pelarutan unsur dilakukan pada suhu 1150 °C, kemudian dilakukan pendinginan cepat dengan jalan celup cepat dalam air agar tidak terjadi fenomena pengendapan karbida, yang dapat menurunkan ketahanan korosi material.

Pengaruh Perlakuan Panas pada Baja Tahan Karat Austenitik Al-6X

Setelah material baja tahan karat dipanaskan didalam tungku pada suhu 1150 °C selama 12 menit dimana terjadi pelarutan unsur (*Solution Treatment*) dan dicelup cepat dalam air, terjadi perubahan sifat korosi pada material seperti ditunjukkan pada Tabel 4 (hasil perlakuan panas). Jelas terlihat bahwa dengan perlakuan panas pada Al-6X dengan 4% Mo terjadi penurunan laju korosi, dengan kata lain adanya perlakuan panas tersebut akan menaikkan ketahanan korosi pada baja Al-6X dengan 4% Mo. Hal ini sesuai dengan tujuan perlakuan panas yang dilakukan, yaitu untuk melarutkan karbon atau menghindari proses pembentukan karbida pada baja tahan karat, sehingga ketahanan korosinya menjadi lebih baik dari proses pasca peleburan.

Lain halnya dengan material 5% Mo dan 6% Mo. Setelah kedua material baja tahan karat austenitik tersebut diberi perlakuan panas (*Solution Treatment*) selama

12 menit didalam tungku dan dicelup cepat dalam air, kedua material tersebut mengalami kenaikan laju korosi atau dengan kata lain ketahanan korosinya menurun. Salah satu penyebab utama ketahanan korosi kedua material tersebut menjadi turun adalah akibat dari kurang sempurnanya pelarutan karbon dalam paduan, sehingga masih memungkinkan terjadinya proses pembentukan karbida.

Mengingat kandungan karbon kedua material tersebut adalah 0,067% C dan 0,068% C (Tabel 1), nampaknya suhu pemanasan 1150 °C dan pelarutan unsur (*Solution Treatment*) selama 12 menit didalam tungku, belum cukup untuk melarutkan sebagian besar karbida dalam paduan. Ini membuktikan bahwa parameter waktu dan suhu pemanasan sangat menentukan untuk memperbaiki ketahanan korosi material baja tahan karat austenitik. Pada saat makalah ini disusun, penelitian dengan menggunakan parameter waktu dan suhu pemanasan yang lain masih sedang berjalan.

KESIMPULAN

Dari pembahasan sebelumnya dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Material baja tahan karat Al-6X dengan 5% Mo dan 6% Mo terkorosi lebih cepat dibandingkan Al-6X dengan 4% Mo.
2. Laju korosi baja tahan karat austenitik AISI 316L lebih rendah dibanding dengan material baja tahan karat austenitik Al-6X.
3. Untuk menurunkan laju korosi baja Al-6X, penambahan unsur Molibdenum yang efektif adalah maksimal 4% Mo.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dilaksanakan mulai tahun anggaran 2001. Penulis mengucapkan terimakasih kepada staf dan teknisi Puslitbang TELIMEK-LIPI Bandung, Divisi Metalurgi Nuklir BATAN Bandung, demikian juga kepada Puslitbang Metalurgi LIPI Serpong, yang telah membiayai, dan memberi izin untuk menggunakan peralatan, baik untuk mempersiapkan bahan dan contoh uji, maupun untuk uji korosi. Terimakasih juga disampaikan kepada rekan Hendra Yudistira yang telah mempersiapkan bahan dan contoh uji untuk percobaan ini.

DAFTAR ACUAN

- [1]. GROLLMAN, SIGMUND, *The Human Body: Its Structure and Physiology*, third Edition, Macmillan Publishing Co. Inc., New York, Collier Macmillan Publishers, London (1974)
- [2]. PEARCE, EVELYN, *Anatomy & Physiology for Nurses*, Evelyn Pearce (1973), alih bahasa Gramedia Pustaka Utama, PT., *Anatomi & Fisiologi untuk Paramedis*, Jakarta (1991)

- [3]. PECKNER, DONALD and BERSTEIN, I.M, *Handbook of Stainless Steel*, McGraw Hill Book Co., USA (1977)
- [4]. FONTANA, MARS. G, *Corrosion Engineering*, third Edition, McGraw-Hill Book Company, Singapore (1987).
- [5]. ASM Handbook, *Dialog on Disc Books 3.11.0*, ASM International, Metal Park, Ohio (1998)
- [6]. SEDRICKS, A. JOHN, *Corrosion of Stainless Steels*, John Wiley & Sons, Inc., New York (1979)