



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH VARIASI KANDUNGAN SILIKON
TERHADAP KOROSI PADUAN KOBALT (ASTM F 75)
HASIL METALURGI SERBUK
DALAM LARUTAN *ARTIFICIAL BLOOD PLASMA*
DENGAN TEKNIK POLARISASI POTENSIODINAMIK
DAN TEKNIK *EXPOSURE***

TESIS

**AGUNG PRASETYO
0806422864**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JUNI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH VARIASI KANDUNGAN SILIKON
TERHADAP KOROSI PADUAN KOBALT (ASTM F 75)
HASIL METALURGI SERBUK
DALAM LARUTAN *ARTIFICIAL BLOOD PLASMA*
DENGAN TEKNIK POLARISASI POTENSIODINAMIK
DAN TEKNIK *EXPOSURE***

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik

**AGUNG PRASETYO
0806422864**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JUNI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis dengan judul:

**PENGARUH VARIASI KANDUNGAN SILIKON
TERHADAP KOROSI PADUAN KOBALT (ASTM F 75)
HASIL METALURGI SERBUK
DALAM LARUTAN *ARTIFICIAL BLOOD PLASMA*
DENGAN TEKNIK POLARISASI POTENSIODINAMIK
DAN TEKNIK *EXPOSURE***

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Agung Prasetyo

NPM : 0806422864

Tanda Tangan :

Tanggal : 24 Juni 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Agung Prasetyo

NPM : 0806422864

Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material

Judul Tesis : Pengaruh Variasi Kandungan Silikon terhadap Korosi Paduan Kobalt (ASTM F 75) Hasil Metalurgi Serbuk dalam Larutan *Artificial Blood Plasma* dengan Teknik Polarisasi Potensiodinamik dan Teknik *Exposure*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Prof. Dr. Ir. Johnny Wahyuadi S., DEA ()

Pembimbing 2 : Ir. Yuswono, M.Eng. ()

Penguji 1 : Ir. Andi Rustandi, MT. ()

Penguji 2 : Deni Ferdian, ST. M.Sc. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 24 Juni 2010

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah S.W.T, karena atas tolong dan karunia-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Jurusan Teknik Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Prof. Dr. Ir. Johnny Wahyuadi Soedarsono, DEA, dan Ir. Yuswono, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
- (2) Orang tua, istri, dan anak-anak saya yang telah memberikan bantuan dan dukungan moral serta material;
- (3) Lusiana, Anton, Aduy, Sari, Andre dan sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan tesis ini juga Syarif, Rico, Udin dan lain – lain yang berada di Laboratorium Korosi maupun SEM.

Akhir kata, saya berharap Allah S.W.T. berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 24 Juni 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Agung Prasetyo

NPM : 0806422864

Program Studi : Korosi dan Proteksi

Departemen : Teknik Metalurgi dan Material

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Tesis

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Pengaruh Variasi Kandungan Silikon terhadap Korosi Paduan Kobalt (ASTM F 75) Hasil Metalurgi Serbuk dalam Larutan *Artificial Blood Plasma* dengan Teknik Polarisisasi Potensiodinamik dan Teknik *Exposure*

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 24 Juni 2010

Yang menyatakan

(Agung Prasetyo)

ABSTRAK

Nama : Agung Prasetyo
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul : Pengaruh Variasi Kandungan Silikon terhadap Korosi Paduan Kobalt (ASTM F 75) Hasil Metalurgi Serbuk dalam Larutan *Artificial Blood Plasma* dengan Teknik Polarisasi Potensiodinamik dan Teknik *Exposure*

Sebagai biomaterial implan, salah satu sifat penting yang harus dimiliki paduan kobalt adalah ketahanan korosi dan biokompatibilitas yang sangat baik terhadap lingkungan biologis seperti *Artificial Blood Plasma* (ABP)

Dalam penelitian ini digunakan spesimen paduan kobalt ASTM F 75 hasil metalurgi serbuk dalam bentuk kepingan (*tablet*) dengan variasi kandungan Si 0 - 1%. Untuk mengetahui kinetika korosi, dilakukan pengujian polarisasi potensiodinamik dan *exposure* (*immersion*) pada pH 7,4 dan temperatur 37 °C dalam lingkungan *Artificial Blood Plasma* (ABP) dengan beberapa kondisi yang dipertahankan konstan. Pengujian dilakukan dengan mengikuti standar ASTM. Kenaikan potensial pengujian 3 mV/detik dengan rentang pemindaian mulai dari -0,25 Volt hingga 0,25 Volt. Elektroda bantu yang digunakan karbon dan elektroda acuan dipilih Kalomel jenuh (SCE). Untuk mengamati produk korosi, jenis korosi dan biokompatibilitas spesimen uji, dilakukan serangkaian penelitian lanjutan menggunakan SEM/EDX, foto penampang melintang dan AAS (*Atomic Absorb Spectrometry*).

Hasil yang diperoleh dari pengujian polarisasi potensiodinamik dan *exposure* mengindikasikan ketahanan korosi yang berada pada level paling baik dengan laju korosi < 1 mpy dan memenuhi standar aplikasi medis untuk Eropa, yaitu dibawah 0,457 mpy. Laju korosi yang baik diperoleh melalui hadirnya lapisan pasif dalam lingkungan *Artificial Blood Plasma* (ABP). Spesimen yang memenuhi standar pengujian tersebut adalah spesimen uji nomor 6 berupa paduan kobalt ASTM F 75 hasil metalurgi serbuk dengan kandungan 1% Si.

Untuk aspek biokompatibilitas, material ini masih memiliki kelemahan jika digunakan sebagai implan permanen. Pengujian dengan teknik exposure selama 1 minggu mengindikasikan jumlah ion Co dan Ni terlarut yang mendekati ambang batas maksimum, mengacu kepada standar aplikasi medis bahwa ambang batas maksimum ion Co adalah $< 3,50$ ppm sedangkan ion Ni adalah $< 1,10$ ppm.

Peningkatan kandungan Si hingga 1% dalam spesimen paduan kobalt ASTM F 75 hasil metalurgi serbuk dapat memperbaiki ketahanan korosi dan biokompatibilitasnya.

Kata kunci:

Biomaterial implan, biokompatibilitas, *Artificial Blood Plasma*, polarisasi potensiodinamik, *exposure (immersion)*, ASTM F75 metalurgi serbuk.



close to maximum limit. These referred to medical application standard that the maximum limit of dissolved Co and Ni were $< 3,50$ and < 1.10 ppm.

Increasing silicon content till 1% on powder metallurgy cobalt alloy ASTM F 75 enhanced corrosion resistance and biocompatibility of material.

Key words:

Implant biomaterial, biocompatibility, Artificial Blood Plasma, potentiodynamic polarization, exposure (immersion), powder metallurgy ASTM F 75.



DAFTAR ISI

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS..... | i |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | iii |
| KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH | iv |
| LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH..... | v |
| ABSTRAK..... | vi |
| <i>ABSTRACT</i> | viii |
| DAFTAR ISI..... | x |
| DAFTAR GAMBAR..... | xii |
| DAFTAR TABEL..... | xiv |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xv |
| BAB 1 PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang penelitian | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Ruang Lingkup Penelitian..... | 3 |
| 1.3.1 Variabel Pengujian..... | 4 |
| 1.3.1.1 Material Uji..... | 4 |
| 1.3.1.2 Media (Larutan Uji)..... | 4 |
| 1.3.2. Jenis Pengujian..... | 4 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 5 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 5 |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA..... | 6 |
| 2.1 Paduan Co-Cr-Mo | 6 |
| 2.2 Paduan Kobalt Untuk Aplikasi Medis..... | 10 |
| 2.2.1 Ketahanan Korosi..... | 13 |
| 2.2.2 Biokompatibilitas..... | 14 |
| 2.2.3 Ketahanan Aus..... | 15 |
| 2.2.4 Paduan Kobalt ASTM F 75..... | 15 |
| 2.3 <i>Aqueous Corrosion</i> | 16 |
| 2.3.1 Polarisasi..... | 17 |
| 2.3.2 Lingkungan Biologis Darah..... | 19 |
| 2.3.3 Korosi Paduan Kobalt dalam Larutan <i>Artificial Blood Plasma</i> | 20 |
| BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN..... | 22 |
| 3.1 Alur Proses Penelitian | 22 |
| 3.2 Material (spesimen uji) | 22 |
| 3.3 Fluida (Larutan Uji) | 23 |
| 3.4 Pengujian Polarisasi Potensiodinamik | 24 |
| 3.5 Pengujian <i>Exposure (Immersion)</i> | 25 |
| 3.6 Data Yang Akan Diperoleh..... | 27 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| BAB 4 HASIL DAN ANALISA | 30 |
| 4.1 Hasil Pengujian Polarisasi Potensiodinamik..... | 30 |
| 4.1.1 Data Laju Korosi | 30 |
| 4.1.2 Foto Pola Permukaan (SEM) dan Analisa produk Korosi (EDX)..... | 33 |
| 4.2 Hasil Uji <i>Exposure (Immersion)</i> | 39 |
| 4.2.1 Data Hilang Massa Vs. Satuan Waktu..... | 39 |
| 4.2.2 Foto Pola Permukaan (SEM) dan Analisa Produk Korosi (EDX)..... | 41 |
| 4.2.3 Foto Penampang Melintang (<i>Cross Section</i>)..... | 44 |
| 4.2.4 Data Kelayakan Biokompatibilitas..... | 46 |
| BAB V KESIMPULAN..... | 47 |
| DAFTAR REFERENSI..... | 48 |



DAFTAR GAMBAR

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2. 1 Diagram Fasa Biner Co-Cr..... | 6 |
| Gambar 2. 2 Diagram Fasa Terner Co-Cr-Mo a.Suhu 900 °C b.Suhu 1100 °C c.Suhu 1300 °C..... | 7 |
| Gambar 2. 3 Ilustrasi Skema Proses Fabrikasi Paduan Co-Cr-Mo Hasil Forging yang Bebas Kandungan Ni dan C | 9 |
| Gambar 2. 4 Ilustrasi Skema Proses Pengerjaan Panas Paduan Co-Cr-Mo yang Bebas Kandungan Ni dan C | 9 |
| Gambar 2. 5 Penggunaan Klinis dari Biomaterial Inorganik..... | 11 |
| Gambar 2. 6 a.Sambungan Alami b. dan c.Dua Jenis Sambungan Buatan dari paduan Co-Cr Mo..... | 12 |
| Gambar 2. 7 Mikrostruktur Paduan Co-Cr-Mo Hasil HIP..... | 13 |
| Gambar 2. 8 Mikrostruktur Paduan Co-Cr-Mo Hasil <i>Sinter Porous Coating</i> | 13 |
| Gambar 2. 9 Skema Kurva Polarisasi dengan Ekstrapolasi Tafel..... | 17 |
| Gambar 2.10 Kurva Polarisasi Pasivasi..... | 19 |
| | |
| Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian | 22 |
| Gambar 3. 2 Spesimen Uji Hasil Metalurgi Serbuk..... | 23 |
| Gambar 3. 3 Pengujian Polarisasi dengan CMS 100 | 24 |
| Gambar 3. 4 Spesimen Polarisasi Potensiodinamik..... | 24 |
| Gambar 3. 5 Skema Polarisasi Potensiodinamik..... | 25 |
| Gambar 3. 6 Pengujian <i>Exposure (Immersion)</i> | 26 |
| Gambar 3. 7 Rancangan Sistem Pengujian Korosi Metode <i>Exposure</i> | 26 |
| | |
| Gambar 4. 1 Kurva Polarisasi Potensiodinamik dengan Variasi Kandungan Silikon Hasil Metalurgi Serbuk dan <i>Casting</i> Paduan Kobalt ASTM F 75 | 30 |
| Gambar 4. 2 Ilustrasi Skematik dari Rekonstruksi Lapisan Oksida pada Permukaan Paduan Kobalt-Khromium-Molibdenum | 31 |
| Gambar 4. 3 Kurva Pengaruh Kandungan Silikon Terhadap Laju Korosi Paduan Kobalt ASTM F 75 Hasil Metalurgi Serbuk..... | 33 |
| Gambar 4. 4 Hasil Pengamatan SEM untuk Spesimen no.1 (0% Si) Setelah Uji Polarisasi | 33 |
| Gambar 4. 5 Hasil Analisa Komposisi Elemen Kimia Permukaan dengan EDX pada Spesimen no. 1 (0% Si) | 35 |
| Gambar 4. 6 Hasil Pengamatan SEM untuk Spesimen no. 6 (1% Si) Setelah Uji Polarisasi | 36 |
| Gambar 4. 7 Hasil Analisa Komposisi Elemen Kimia Permukaan dengan EDX pada Spesimen no. 6 (1% Si)..... | 37 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4. 8 Hasil Pengamatan SEM untuk Spesimen no. 7 (<i>casting</i>) Setelah Uji Polarisasi..... | 38 |
| Gambar 4. 9 Hasil Analisa Komposisi Elemen Kimia Permukaan dengan EDX pada Sampel no. 7 (<i>Casting</i>)..... | 39 |
| Gambar 4.10 Perbandingan Laju Korosi dari 7 Buah Spesimen Setelah Mengalami Uji Polarisasi dan <i>Exposure (Immersion)</i> Dalam <i>Larutan Artificial Blood Plasma (ABP)</i> pada pH 7,4 dan temperatur 37 °C..... | 40 |
| Gambar 4.11 Hasil Pengamatan SEM Setelah Uji <i>Exposure</i> Selama 1 minggu pada Spesimen no. 1 (0% Si)..... | 41 |
| Gambar 4.12 Hasil Analisa Komposisi Elemen Kimia Permukaan dengan EDX pada Spesimen no. 1 (0% Si)..... | 42 |
| Gambar 4.13 Hasil Pengamatan SEM Setelah Uji <i>Exposure</i> Selama 4 Minggu pada Sspesimen no. 6 (1% Si)..... | 43 |
| Gambar 4.14 Hasil Analisa Komposisi Elemen Kimia Permukaan dengan EDX pada Spesimen no. 6 (1% Si)..... | 44 |
| Gambar 4.15 Penampang Melintang Spesimen Minggu Pertama (Spesimen no. 2, 0,2% Si, Perbesaran 200X)..... | 44 |
| Gambar 4.16 Penampang Melintang Spesimen Minggu Kedua (Spesimen no. 3, 0,4% SI, Perbesaran 200X)..... | 45 |
| Gambar 4.17 Penampang Melintang Spesimen Minggu Ketiga (Spesimen no. 5, 0,8% Si, Perbesaran 200X)..... | 45 |

DAFTAR TABEL

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2. 1 Ambang Batas <i>Toxicity</i> CCR ₅₀ dari Logam-Logam | 15 |
| Tabel 2. 2 Komposisi Paduan Kobalt ASTM F 75 | 15 |
| Tabel 2. 3 Spesifikasi Minimum Sifat Mekanik ASTM F 75..... | 16 |
| Tabel 2. 4 Kekuatan Lelah ASTM F 75..... | 16 |
| Tabel 2. 5 Komposisi Kimia (g/L) <i>Artificial Blood Plasma</i> , pH 7,4..... | 20 |
| | |
| Tabel 3. 1 Komposisi Paduan Kobalt ASTM F 75 Metalurgi Serbuk..... | 23 |
| Tabel 3. 2 <i>Immersion Plan Interval Test</i> | 25 |
| Tabel 3. 3 Data Pengujian Polarisasi dan Data atau Pengujian Pendukung..... | 27 |
| Tabel 3. 4 Data Pengujian <i>Exposure</i> dan Data atau Pengujian Pendukung..... | 28 |
| | |
| Tabel 4. 1 Pengaruh Kandungan Si Terhadap Laju Korosi Pada Paduan Kobalt Hasil Metalurgi Serbuk..... | 32 |
| Tabel 4. 2 Perhitungan Laju Korosi Spesimen yang di- <i>exposed</i> Dalam Larutan <i>Artificial Blood Plasma</i> pada pH 7,4 dan 37 °C..... | 40 |
| Tabel 4. 3 Kadar Ion-Ion Terlarut dari Spesimen Paduan Kobalt ASTM F 75 Hasil Metalurgi Serbuk yang Mengalami <i>Exposure</i> Dalam Larutan <i>Artificial Blood Plasma</i> pada pH 7,4 dan 37 °C..... | 46 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|-------------------------------------------------------------|----|
| Lampiran 1. Polarisasi potensiodinamik 0% Si | 51 |
| Lampiran 2. Polarisasi potensiodinamik 0,2% Si | 52 |
| Lampiran 3. Polarisasi potensiodinamik 0,4% Si | 53 |
| Lampiran 4. Polarisasi potensiodinamik 0,6% Si | 54 |
| Lampiran 5. Polarisasi potensiodinamik 0,8% Si | 55 |
| Lampiran 6. Polarisasi potensiodinamik 1% Si | 56 |
| Lampiran 7. Polarisasi potensiodinamik <i>casting</i> | 57 |



ABSTRACT

Name : Agung Prasetyo
Study Program: Metallurgy and Materials Engineering
Title : Influence of Silicon Content Variation on Corrosion Powder Metallurgy Cobalt Alloy (ASTM F 75) in Artificial Blood Plasma Solution by Potentiodynamic Polarization and Exposure methods.

As a biomaterial implant, one of important properties that must be possessed by cobalt alloys is an outstanding corrosion resistant and good value of biocompatibility in biological environment such as Artificial Blood Plasma (ABP).

The specimen used on this experiment was powder metallurgy cobalt alloy ASTM F 75 tablet shape with silicon content variation 0 – 1%. To observe the corrosion kinetics of powder metallurgy cobalt alloy ASTM F 75, this experiment were carried out in Artificial Blood Plasma (ABP) by potentiodynamic polarization and exposure (immersion) test at pH 7,4 and 37 °C under several constant conditions maintained. The experiment data processing was accorded to ASTM standard. Potential scan rate was 3mV/sec with range -0,25 Volt to 0,25 Volt. The counter electrode was carbon, while reference electrode was Saturated Calomel (SCE). Product corrosion, form corrosion and biocompatibility follow observed by SEM/EDX, cross sectional area and AAS (Atomic Absorb Spectrometry).

The observation data achieved from potentiodynamic polarization and exposure test indicated an outstanding corrosion resistance by less than 1 mpy and less than 0,457 refer to Europe medical application standard. Outstanding corrosion resistance from the material have correlated by present of passive film in Artificial Blood Plasma . The specimen have passed standard requirements was specimen number 6 (1% silicon content).

On biocompatibility aspect, this material still had weaknesses for permanent medical uses. Exposure test on 1 week period indicated that dissolved Co and Ni