

**PENGARUH VARIASI WAKTU NITRIDASI PADA PADUAN COBALT
CHROMIUM MOLYBDENUM (CoCrMo) DENGAN MENGGUNAKAN
TEKNIK *PACK CEMENTIT* TERHADAP HASIL KARAKTERISASINYA**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains



SESMITA

NIM. 12754

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2014**

PERSETUJUAN SKRIPSI

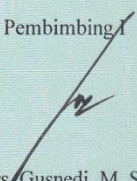
PENGARUH VARIASI WAKTU NITRIDASI PADA PADUAN COBALT
CHROMIUM MOLYBDENUM (CoCrMo) DENGAN MENGGUNAKAN
TEKNIK *PACK CEMENTIT* TERHADAP HASIL KARAKTERISASINYA

Nama : Sesmita
NIM : 12754
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

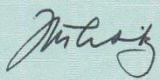
Padang, 6 Agustus 2014

Disetujui Oleh

Pembimbing I


Drs. Gusnedi, M. Si.
NIP. 19620810 198703 1 024

Pembimbing II


Drs. Anthonius Sitompul, MT
NIP. 19620415 198810 1 001

PENGESAHAN

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi

Program Studi Fisika Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Padang

Judul : Pengaruh Variasi Waktu Nitridasi pada Paduan Cobalt
Chromium Molybdenum (CoCrMo) dengan Menggunakan
Teknik *Pack Cementit* terhadap Hasil Karakterisasinya

Nama : Sesmita

NIM : 12754

Program Studi : Fisika

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 6 Agustus 2014

Tim Penguji

Nama

Tanda Tangan

1. Ketua : Drs. Gusnedi, M.Si

1.

2. Sekretaris : Drs. Anthonius Sitompul, MT

2.

3. Anggota : Dra. Syakbaniah, M.Si

3.

4. Anggota : Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si

4.

5. Anggota : Dra. Hj. Yenni Darvina, M.Si

5.

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim.

Padang, 6 Agustus 2014

Yang menyatakan,


Sesmita

ABSTRAK

SESMITA : Pengaruh Variasi Waktu Nitridasi pada Paduan Cobalt Chromium Molybdenum (CoCrMo) dengan Menggunakan Teknik *Pack Cementit* terhadap Hasil Karakterisasinya

Paduan Cobalt Chromium Molybdenum (CoCrMo) merupakan salah satu varian logam paduan Co-Cr yang sering digunakan sebagai bahan implan untuk menggantikan tulang yang patah. Paduan ini memiliki sifat mekanik dan ketahanan korosi cukup baik. Namun pada saat uji *in vivo* pada paduan CoCrMo, menunjukkan bahwa ion Co, Cr, dan Mo terlepas dari paduannya ke dalam tubuh karena tidak adanya lapisan pelindung pada permukaan logam, sehingga mengakibatkan pembengkakan dan rasa sakit di sekitar tulang. Mengatasi permasalahan tersebut, maka dilakukan nitridasi *pack cementit* pada paduan CoCrMo dengan menggunakan urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$), karena di dalam urea terkandung nitrogen yang akan berdifusi ke dalam sampel. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh waktu nitridasi pada paduan CoCrMo terhadap hasil karakterisasinya.

Penelitian ini merupakan penelitian yang bersifat eksperimental dilakukan di PTBIN – BATAN. Pada penelitian ini dilakukan dengan variasi waktu nitridasi selama 3, 5 dan 7 jam pada temperatur 550°C . Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah XRD, Potensiostat, Vickers Hardness Test dan Mikroskop Optik.

Hasil karakterisasi XRD menunjukkan paduan CoCrMo terdiri dari dua fasa, yaitu fasa γ dan fasa ϵ . Setelah dinitridasi fasa-fasa yang terbentuk adalah fasa γ , CrN dan CoO. Hilangnya fasa ϵ disebabkan karena terbentuknya fasa CrN. Hasil uji korosi menunjukkan bahwa nitridasi mengakibatkan tingkat ketahanan korosi yang semakin rendah bila dibandingkan sebelum dinitridasi, tetapi keseluruhan sampel yang dinitridasi masih memenuhi standar aplikasi untuk alat implan yaitu kurang dari 0,457 mpy. Nilai kekerasan mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya waktu nitridasi. Nilai kekerasan minimum 291 kg/mm^2 dan maksimum 515 kg/mm^2 . Pengamatan pada permukaan menunjukkan bahwa nitridasi yang dilakukan pada paduan CoCrMo efektif menghasilkan lapisan nitrida (CrN), ditandai dengan terjadinya perubahan warna dari warna kuning keemasan menjadi warna gelap dan menebal. Perubahan warna terjadi seiring dengan meningkatnya waktu nitridasi. Ketebalan lapisan nitrida yang terbentuk pada sampel yang telah dinitridasi adalah 4,234, 7,072 dan $11,43 \mu\text{m}$.

Kata kunci: Paduan CoCrMo, Nitridasi *pack cementit*, ketahanan korosi, kekerasan.

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kehadiran Allah SWT karena dengan berkat dan rahmatnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Pengaruh Variasi Waktu Nitridasi pada Paduan Cobalt Chromium Molybdenum (CoCrMo) dengan Menggunakan Teknik *Pack Cementit* terhadap Hasil Karakterisasinya”**.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan program Strata Satu di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang. Selama mengerjakan tugas akhir ini, penulis banyak mengalami kendala dan hambatan. Namun, berkat bantuan dari berbagai pihak akhirnya penulis dapat menyelesaikannya. Untuk itu, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan penulis kepada:

1. Bapak Drs. Gusnedi, M.Si sebagai pembimbing I.
2. Bapak Drs. Anthonius Sitompul, MT sebagai pembimbing II.
3. Ibu Dra. Syakbaniah, M.Si, Ibu Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si dan Ibu Dra. Hj. Yenni Darvina, M.Si selaku tim penguji.
4. Bapak Drs. Akmam, M.Si sebagai Penasehat Akademis dan selaku ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
5. Ibu Dra. Hidayati, M.Si selaku ketua prodi Fisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

6. Bapak/Ibu staf pengajar Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
7. Bapak Drs. Sulistioso Giat Sukaryo, MT yang telah banyak membantu penulis selama penelitian.
8. Bapak/Ibu staf pegawai Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), kawasan Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi (PUSPITEK) Serpong, Tangerang Selatan.
9. Staf administrasi dan laboran di Laboratorium Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
10. Rekan-rekan seperjuangan mahasiswa Fisika FMIPA UNP, khususnya ‘Fisika 2009’ atas motivasi dan kritikan dalam penyusunan tugas akhir ini.
11. Kedua Orang Tua, keluarga besar, atas doa dan dorongan yang telah diberikan kepada penulis.

Semoga semua bantuan, bimbingan dan arahan yang telah diberikan kepada penulis dapat menjadi amal ibadah dan mendapat balasan dari Allah SWT, Amin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna yang disebabkan oleh keterbatasan pengetahuan dan kemampuan dari penulis. Untuk itu, kritik dan saran sangat penulis harapkan demi kesempurnaan tugas akhir ini. Akhirnya, penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak dan bagi penulis sendiri.

Padang , September 2014

SESMITA
12754/2009

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Batasan Masalah.....	5
C. Rumusan Masalah	6
D. Tujuan Penelitian.....	6
E. Manfaat Penelitian.....	7
BAB II KAJIAN PUSTAKA	
A. Nitridasi.....	8
1. Metoda Nitridasi.....	8
2. Difusi Atom.....	11
B. Oksidasi.....	12
C. Paduan CoCrMo.....	13
D. Karakterisasi Material	15
1. Identifikasi Fasa dengan Alat XRD	15
2. Uji Korosi dengan Alat Potensiostat	19

3. Uji Kekerasan Menggunakan Alat Vickers Hardness	
Test	22
4. Pengamatan Mikroskop Optik.....	24
E. Pengaruh Variasi Waktu Nitridasi terhadap Hasil	
Karakterisasi.....	26

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Jenis Penelitian	28
B. Tempat dan Waktu Penelitian	28
C. Variabel Penelitian	28
D. Alat dan Bahan Penelitian	29
E. Prosedur Penelitian.....	32
F. Teknik Pengumpulan Data	41
G. Teknik Analisa dan Pengolahan Data	42

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian	45
1. Deskripsi Data	45
a. Hasil Karakterisasi XRD	45
b. Hasil Uji Korosi	50
c. Hasil Uji Kekerasan	51
d. Hasil Pengamatan Mikroskop Optik	52
2. Analisa Data	54
a. Pengaruh Variasi Waktu Nitridasi terhadap Fasa	
yang Terbentuk.....	54
b. Pengaruh Variasi Waktu Nitridasi terhadap Nilai	
Laju Korosi.....	59
c. Pengaruh Variasi Waktu Nitridasi terhadap Nilai	
Kekerasan	60
d. Pengaruh Variasi Waktu Nitridasi terhadap Hasil	
Pengamatan Mikroskop Optik.....	61

B. Pembahasan.....	64
1. Pengaruh Variasi Waktu Nitridasi terhadap Fasa yang Terbentuk.....	64
2. Pengaruh Variasi Waktu Nitridasi terhadap Nilai Laju Korosi.....	65
3. Pengaruh Variasi Waktu Nitridasi terhadap Nilai Kekerasan.....	66
4. Pengaruh Variasi Waktu Nitridasi terhadap Hasil Pengamatan Mikroskop Optik.....	66

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan.....	67
B. Saran.....	68

DAFTAR PUSTAKA.....	69
----------------------------	-----------

LAMPIRAN.....	71
----------------------	-----------

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Endoprostetik lutut	1
2. Difusi nitrogen	9
3. Mekanisme difusi intertisi atom dalam material	12
4. Difraktogram CoCrMo	16
5. Difraksi sinar-X oleh bidang kristal	16
6. Posisi elektroda kerja dan elektroda pembanding pada kapiler luggin sel elektrokimia	21
7. Ilustrasi proses indentasi pada uji kekerasan <i>Vickers</i>	22
8. Skema alat dan pembentukan bayangan pada mikroskop optik.....	24
9. Mikroskop optik	25
10. Sampel dipotong	32
11. Potongan sampel dibentuk menjadi silinder	33
12. Permukaan sampel yang diratakan	33
13. Membersihkan sampel menggunakan ultrasonik	34
14. Sampel dikeringkan dan disimpan dalam plastik klip	34
15. Sampel dinitridasi	35
16. Sampel setelah dinitridasi	35
17. Posisi sampel pada alat XRD	36
18. Rangkaian peralatan potensiostat	37
19. Sampel dimounting	39
20. Proses pemolesan sampel	40
21. Bagan prosedur penelitian	44
22. Pola difraksi sampel yang tidak dinitridasi	45
23. Pola difraksi sampel yang dinitridasi selama 3 jam pada temperatur 550°C	47

24. Pola difraksi sampel yang dinitridasi selama 5 jam pada temperatur 550°C	48
25. Pola difraksi sampel yang dinitridasi selama 7 jam pada temperatur 550°C	49
26. Foto permukaan sampel sebelum dan setelah nitridasi	52
27. Foto penampang lintang sampel sebelum dan setelah nitridasi	53
28. Pengaruh variasi waktu nitridasi terhadap fasa yang terbentuk	57
29. Perbandingan nilai laju korosi sampel sebelum dan setelah nitridasi.....	59
30. Perbandingan nilai kekerasan sampel sebelum dan setelah nitridasi.....	61
31. Ketebalan lapisan nitridasi	63

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi paduan CoCrMo (ASTM F75).....	14
2. Komposisi paduan CoCrMo impor Jepang.....	31
3. Sampel yang digunakan dalam penelitian.....	33
4. Puncak-puncak tertinggi pada pola difraksi sampel yang tidak dinitridasi	46
5. Puncak tertinggi pada pola difraksi sampel yang dinitridasi selama 3 jam pada temperatur 550°C.....	47
6. Puncak tertinggi pada pola difraksi sampel yang dinitridasi selama 5 jam pada temperatur 550°C.....	49
7. Puncak tertinggi pada pola difraksi sampel yang dinitridasi selama 7 jam pada temperatur 550°C.....	50
8. Data hasil uji korosi	50
9. Panjang diagonal terukur (d_1 dan d_2)	51
10. Tebal lapisan nitridasi	54
11. Identifikasi fasa sebelum dan setelah nitridasi.....	56
12. Laju korosi sebelum dan setelah nitridasi	59
13. Kekerasan sebelum dan setelah nitridasi	60

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Data pola difraksi	71
2. Pola XRD CoCrMo fasa γ dan fasa ϵ pada software PCW	107
3. Database JCPDS fasa CrN dan CoO	108
4. Data hasil uji korosi	109
5. Tabel data hasil uji kekerasan <i>Vickers</i>	109
6. Gambar alat dan bahan.....	111
7. Foto Kegiatan.....	114

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pada perkembangan zaman saat ini, kemajuan teknologi di bidang ilmu material sudah sangat maju, salah satu contohnya yaitu biomaterial. Biomaterial merupakan suatu bahan yang digunakan untuk mengganti bagian atau fungsi tubuh secara aman, dapat diandalkan, ekonomis dan diterima secara fisiologis. Biomaterial diklasifikasikan menjadi dua kelompok besar yaitu biomaterial sintetik (keramik, polimer buatan dan paduan logam) dan biomaterial alami yang dihasilkan dari tanaman, hewan atau manusia (Nasab & Hassan : 2010).

Biomaterial diaplikasikan untuk endoprostetik, yaitu alat gerak yang ditanam (implan) dalam tubuh terbuat dari logam atau polimer (Gambar1). Endoprostetik dapat bertahan di dalam tubuh selama 15-20 tahun hingga tiba masa revisi (penyesuaian kembali) (Permanasari : 2011).



Gambar 1. Endoprostetik lutut
Sumber : (Hezti : 2011)

Material logam endoprostetik dapat dibuat dari tiga kelompok besar yaitu *stainless steel*, paduan Titanium (Ti) dan paduan Cobalt-Chromium (Co-Cr). *Stainless steel* mudah dibuat dan biaya produksinya cukup rendah, namun bahan ini mudah terserang korosi yang bersifat lokal seperti korosi batas butir atau perlubangan (*pitting*), dan efek samping akibat terlepasnya ion Nikel (Ni) ke dalam tubuh (Junaidi : 2009). Material endoprostetik yang terbuat dari paduan Ti memiliki ketahanan korosi dan biokompatibilitas paling baik, namun harganya yang mahal mengakibatkan bahan ini jarang digunakan pada pasien dengan kemampuan ekonomi rendah. Sebagai alternatif digunakan paduan Co-Cr yang menjadi bahan implan (Goaenharto & Sjafei : 2005 ; Bombac *et al* : 2007). Paduan Co-Cr selain harganya murah juga memiliki sifat mekanik dan biokompatibilitas yang lebih baik dibandingkan *stainless steel* namun setingkat lebih rendah dari paduan titanium.

Salah satu varian dari paduan Co-Cr yang cukup dikenal di dunia kedokteran adalah paduan Cobalt Chromium Molybdenum (CoCrMo). Paduan ini memiliki sifat mekanik dan ketahanan korosi cukup baik sehingga dapat digunakan sebagai bahan implan. Namun pada saat uji *in vivo* pada paduan CoCrMo, menunjukkan bahwa ion Co, Cr, dan Mo terlepas dari paduannya ke dalam tubuh karena tidak adanya lapisan pelindung pada permukaan logam, sehingga mengakibatkan pembengkakan dan rasa sakit di sekitar tulang (Turkan *et al.* : 2006).

Untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan suatu cara yang dapat mencegah terlepasnya ion-ion penyusun CoCrMo dari paduannya, biasanya

dilakukan dengan cara penambahan ion nitrogen yang bersifat sebagai lapisan pelindung pada permukaan paduan logam, sehingga dapat meningkatkan kualitas pada permukaan logam. Dalam bidang rekayasa material, cara ini dikenal dengan istilah “*surface treatment* (perlakuan permukaan)”, salah satunya dilakukan dengan cara nitridasi (*nitriding*).

Nitridasi merupakan perlakuan pengerasan permukaan dengan melibatkan difusi nitrogen ke dalam suatu logam pada temperatur dan jangka waktu tertentu. Nitridasi dapat dilakukan menggunakan gas dan padat untuk memberikan efek transfer nitrogen ke dalam material target, diantaranya paduan baja, *stainless steel*, atau material lain yang mengandung unsur paduan seperti aluminium, kromium, molybdenum, tungsten dan vanadium (Elviyenti:2010). Nitridasi gas dan nitridasi padat memiliki keuntungan yang sama yaitu dapat meningkatkan kekerasan pada permukaan sampel, tetapi nitridasi gas memiliki kelemahan pada saat proses pelapisannya. Peralatan dan bahan yang digunakan saat proses nitridasi gas sangat sulit didapatkan dan harganya juga relatif mahal, karena nitridasi gas menggunakan gas amoniak yang dialirkan dari tabung gas, sedangkan pada nitridasi padat proses pelapisan dan peralatan yang digunakan sangat sederhana dan mudah didapatkan (Fachmi:2011).

Nitridasi padat atau yang lebih dikenal dengan nitridasi *pack cementit* merupakan proses untuk membuat lapisan tipis nitrogen yang dihasilkan oleh bahan padat secara difusi pada permukaan logam dan kemudian memanaskan komponen tersebut di dalam *furnace* selama selang waktu tertentu. Bahan padat yang digunakan harus memiliki unsur amoniak dan nitrogen saat dipanaskan di

dalam *furnace*, seperti pupuk urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) dan pupuk *Zwafel Amonium* (ZA). Untuk nitridasi dengan *pack cementit* lebih baik menggunakan urea karena unsur nitrogen yang terkandung di dalam urea lebih banyak (46%) dibandingkan ZA (21%). Nitridasi *pack cementit* akan meningkatkan kekerasan dan juga menjadi lapisan pelindung pada permukaan logam (Fransisca:2011).

Nitridasi *pack cementit* telah banyak dilakukan pada penelitian-penelitian sebelumnya, diantaranya yang pernah dilakukan oleh Fachmi HB dan Fransisca H. Penelitian Fachmi HB yaitu nitridasi *pack cementit* pada logam *Krakatau Steel* 01 (KS01) dilakukan menggunakan urea sebanyak 17 gram pada temperatur yang disamakan dengan temperatur nitridasi gas, yaitu 485°C dan 525°C selama 5 jam. Hasil yang didapatkan adalah pada saat karakterisasi XRD terbentuk lapisan nitrida yang bersifat sebagai lapisan pelindung pada permukaan logam (Fachmi:2011). Berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Fransisca H pada paduan FeCrNi dengan teknik *pack cementit* dilakukan dengan variasi urea 20, 30, 40 dan 60 gram pada temperatur 525°C selama 3 jam. Hasilnya menyatakan bahwa semakin banyak urea yang digunakan maka kekerasan pada permukaan logam akan semakin meningkat (Fransisca:2011).

Berdasarkan uraian diatas penulis mencoba melakukan penelitian pada sampel paduan CoCrMo dengan menggunakan teknik yang sama yaitu *pack cementit* dengan bervariasi waktu nitridasi Variasi waktu yang efektif menghasilkan lapisan nitrida adalah 3, 5 dan 7 jam. Temperatur yang digunakan adalah 550°C. Penulis mencoba menggunakan temperatur tersebut karena pada penelitian sebelumnya yaitu penelitian Annafiyah yang juga sudah melakukan

pengujian dengan temperatur yang sama. Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah paduan CoCrMo yang diimpor dari Jepang. Nitridasi menggunakan bahan padat (urea) yang lebih banyak dari pada penelitian sebelumnya yaitu sebanyak 80 gram. Selanjutnya, dilakukan karakterisasi untuk melihat pengaruh nitridasi terhadap fasa yang terbentuk, nilai laju korosi, nilai kekerasan dan pengamatan pada permukaan dan penampang lintang sampel sebelum dan setelah nitridasi.

Proses nitridasi dengan teknik *pack cementit* ini diharapkan memberikan hasil yang baik karena biayanya yang relatif murah dan secara praktikal lebih mudah dibandingkan nitridasi dengan teknik lain, serta dapat digunakan dalam jumlah yang banyak. Oleh karena itu, penulis melakukan penelitian dengan judul **“Pengaruh Variasi Waktu Nitridasi pada Paduan Cobalt Chromium Molybdenum (CoCrMo) dengan Menggunakan Teknik *Pack Cementit* terhadap Hasil Karakterisasinya”**.

B. Batasan Masalah

Agar penelitian yang dilakukan lebih terfokus dan terarah, perlu adanya pembatasan masalah, yaitu :

1. Variasi waktu nitridasi yaitu selama 3, 5 dan 7 jam.
2. Temperatur yang digunakan untuk nitridasi adalah 550°C.
3. Karakterisasi ditinjau dari :
 - a. Fasa yang terbentuk
 - b. Laju korosi

- c. Kekerasan
 - d. Pengamatan pada permukaan dan penampang lintang
4. Nitridasi dilakukan dengan teknik *pack cementit* menggunakan urea $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ sebagai sumber nitrogen.

C. Rumusan Penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi waktu nitridasi terhadap fasa yang terbentuk?
2. Bagaimana pengaruh variasi waktu nitridasi terhadap nilai laju korosi?
3. Bagaimana pengaruh variasi waktu nitridasi terhadap nilai kekerasan?
4. Bagaimana pengaruh variasi waktu nitridasi terhadap hasil pengamatan pada permukaan dan penampang lintang?

D. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui pengaruh variasi waktu nitridasi terhadap fasa yang terbentuk.
2. Mengetahui pengaruh variasi waktu nitridasi terhadap nilai laju korosi.
3. Mengetahui pengaruh variasi waktu nitridasi terhadap nilai kekerasan.
4. Mengamati pengaruh variasi waktu nitridasi terhadap hasil pengamatan pada permukaan dan penampang lintang.

E. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan bermanfaat untuk :

1. Paduan CoCrMo yang dinitridasi dapat direkomendasikan untuk diproses lebih lanjut sebagai bahan material implan.
2. Pembaca, memberikan informasi tentang teknik rekayasa permukaan material dengan cara nitridasi *pack cementit*.
3. Kelompok bidang kajian fisika material dan biofisika dapat memberikan sumbangan ilmu pengetahuan, terutama di bidang biomaterial dan teknik karakterisasi material untuk memperkaya wawasan pengetahuan.
4. Peneliti lain, dapat menjadi acuan dalam melakukan penelitian-penelitian lanjutan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Nitridasi

Nitridasi merupakan perlakuan pengerasan permukaan dengan melibatkan difusi nitrogen ke dalam suatu logam pada temperatur dan jangka waktu tertentu (Elviyenti:2010). Nitridasi biasanya dilakukan dengan gas nitrogen (N_2) atau gas amoniak (NH_3) atau campuran keduanya yang mengalami proses disosiasi. Nitridasi didefinisikan secara umum sebagai perlakuan pengerasan permukaan dengan melibatkan difusi nitrogen ke dalam suatu material sehingga dapat meningkatkan kekerasan, ketahanan aus dan ketahanan korosinya (Novi : 2011).

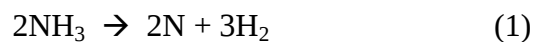
1. Metoda Nitridasi

Metoda nitridasi ini pertama kali digunakan pada tahun 1920-an dan aplikasinya terus berkembang pesat. Kelebihan metoda nitridasi adalah dapat meningkatkan kekerasan permukaan, ketahanan aus, ketahanan fatik, ketahanan korosi, stabilitas dimensi, dan tahan temperatur tinggi. Nitridasi cocok digunakan untuk paduan baja, *stainless steel* atau material yang mengandung unsur paduan seperti aluminium, kromium, molybdenum, tungsten, dan vanadium yang bermanfaat dalam proses nitridasi karena dapat membentuk nitrida-nitrida yang stabil pada temperatur nitridasi (Elviyenti : 2010).

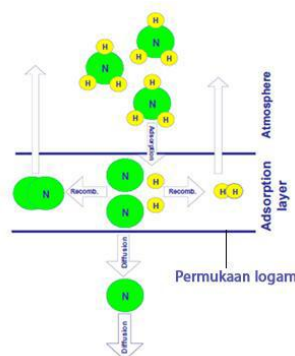
Beberapa metode nitridasi diantaranya :

a. Nitridasi Gas (*gas nitriding*)

Nitridasi gas umumnya menggunakan gas amoniak (NH_3) Amoniak terdisosiasi berdasarkan persamaan berikut : (Elviyenti : 2010).



Amoniak terdisosiasi membentuk gas nitrogen dan hidrogen, pada akhirnya nitrogen akan berdifusi pada permukaan logam. Dalam proses nitridasi gas, suhu yang digunakan berkisar 485°C - 525°C (Fachmi: 2009). Prosesnya adalah ketika gas amonia dialirkan ke dalam *furnace* maka amonia akan terurai karena dipanaskan. Proses difusi N ke dalam permukaan logam dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Difusi nitrogen
Sumber : (Fachmi: 2009)

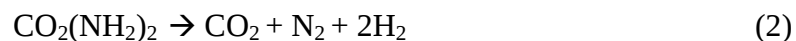
Dari Gambar 2, NH_3 yang dipanaskan akan terurai menjadi N dan H. Atom H akan menguap di udara, sedangkan atom N sebagian akan menguap di udara dan sebagian lainnya akan berdifusi ke dalam logam.

Tahapan yang perlu diperhatikan pada nitridasi gas adalah :

- 1) Temperatur *furnace*
- 2) Waktu
- 3) Aliran gas
- 4) Pengendalian aktivitas gas
- 5) Proses penyimpanan

b. Nitridasi padat

Metode nitridasi padat salah satunya dapat dilakukan dengan teknik *pack cementit*. Nitridasi menggunakan teknik ini merupakan cara untuk membuat lapisan secara difusi yang dibentuk dengan mendeposisikan sebuah lapisan nitrogen pada permukaan logam dan kemudian memanaskan komponen tersebut di dalam *furnace* selama selang waktu tertentu. Pelapisan ini menggunakan unsur nitrogen yang terdapat dalam serbuk urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) yang dipanaskan bersama dengan sampel di dalam *furnace* (Fachmi:2009). Proses ini memakai temperatur dengan range 450°C hingga 750°C (Dedi:2009). Di bawah ini merupakan skema dari nitridasi *pack cementit* (urea) : (Fachmi:2009)



Urea yang dipanaskan akan melepaskan molekul menjadi CO_2 , N_2 , dan H. Reaksi selanjutnya adalah sama seperti proses difusi N_2 ke dalam permukaan logam pada pembakaran gas NH_3 (Gambar 2), dan molekul lainnya akan menguap di udara.

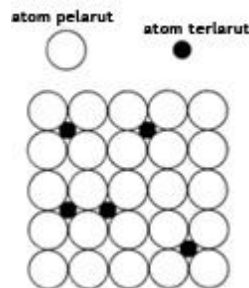
Keunggulan teknik *pack cementit* adalah :

- 1) Proses pelapisan yang dapat melapisi bagian logam secara bersamaan.
- 2) Peralatan yang digunakan sangat sederhana dan mudah didapatkan.
- 3) Penggunaan alatnya dapat dengan mudah dipakai dan dipahami cara kerjanya.

Kerugian teknik *pack cementit* adalah pada saat pelapisan kita tidak dapat melihat langsung proses difusinya karena semua proses terjadi di dalam *furnace* dan penggunaan urea pada proses nitridasi ini dapat meningkatkan nilai laju korosinya (Fransisca:2011).

2. Difusi Atom

Atom pada suatu material akan dalam keadaan diam dan stabil tidak bergerak apabila berada pada temperatur 0°K (-273°C). Pada keadaan ini atom akan berada dalam keadaan energi yang terendah. Apabila temperatur material tersebut dinaikkan maka energi kinetik atom-atomnya akan meningkat dan menyebabkan atom-atom tersebut akan bergerak atau bergeser sehingga menimbulkan jarak atom yang lebih besar dan memungkinkan atom yang mempunyai energi lebih tinggi melompat ke posisi baru. Proses pergerakan atom semacam ini dapat menyebabkan difusi. Gambar 3 berikut memperlihatkan mekanisme difusi atom dalam suatu material (Fachmi:2009).



Gambar 3. Mekanisme difusi interstisi atom dalam material
Sumber : (Fachmi:2009)

Mekanisme difusi atom melalui kisi berlangsung dengan berbagai cara. Difusi interstisi menggambarkan situasi pergerakan atom yang tidak terletak pada kisi kristal, tetapi menempati posisi interstisi (Gambar 3). Proses ini terjadi pada paduan interstisi dengan atom migrasi yang sangat kecil seperti karbon dan nitrogen (Fachmi : 2009).

B. Oksidasi

Oksidasi didefinisikan sebagai interaksi antara molekul oksigen dengan zat lain seperti logam hingga jaringan hidup. Secara lebih teknis, oksidasi terjadi karena hilangnya setidaknya satu elektron ketika dua atau lebih zat berinteraksi. Zat-zat yang berinteraksi tersebut bisa saja melibatkan oksigen, namun bisa pula tidak. oksidasi dapat merusak, seperti karat (Anonim:2014).

Dalam kasus besi, oksigen memicu proses pembakaran lambat yang menghasilkan zat coklat rapuh yang disebut karat. Logam itu sendiri tidak dilemahkan oleh oksidasi. Yang terjadi pada oksidasi adalah munculnya permukaan karat yang pada akhirnya melemahkan struktur logam. Ketika

melibatkan oksigen, proses oksidasi tergantung pada jumlah oksigen yang hadir di udara dan sifat bahan yang dipengaruhi (Anonim:2014).

Oksidasi dapat terjadi jika suatu zat mengandung unsur oksigen seperti halnya nitridasi dengan menggunakan bahan urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$). Urea memiliki unsur O sehingga oksidasi dapat dengan mudah terjadi, akibatnya permukaan sampel yang dinitridasi akan berkarat. Salah satu cara mencegah oksidasi yang disebabkan oleh oksigen adalah dengan memberikan lapisan pelindung antara material dan udara.

C. Paduan CoCrMo

Paduan CoCrMo merupakan bahan yang biokompatibel dan secara luas digunakan sebagai bahan implan ortopedi seperti sendi pinggul dan penggantian lutut. Paduan ini bersifat unggul karena memiliki tingkat biokompatibilitas, sifat mekanik, ketahanan aus dan korosi yang baik. Biokompatibilitas paduan CoCrMo terkait erat dengan ketahanan korosi yang sangat baik karena kehadiran dari film oksida tipis yang secara spontan terbentuk pada permukaan paduan. Film oksida tipis berfungsi sebagai penghalang untuk proses korosi dalam sistem paduan yang akan mengalami tingkat korosi (Turkan *et al* : 2006). Film oksida pasif ini secara spontan terbentuk pada permukaan paduan berupa Cr_2O_3 dengan beberapa kontribusi kecil dari Co dan Mo oksida (Bombac *et al* : 2007).

Tiga elemen dasar paduan kobalt menggunakan unsur kobalt, kromium dan molibdenum. Material kobalt merupakan material utama pada komposisi CoCrMo. Material ini berwarna perak keabu – abuan, tahan korosi serta tahan aus

(Bombac *et al* : 2007). Kromium ditambahkan untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan korosi, khususnya ketahanan terhadap korosi lokal. Kromium membentuk lapisan oksida yang kuat, berfungsi sebagai lapisan pasif untuk membentengi material utama di bawahnya dari lingkungan sekitar (Turkan *et al* : 2006). Molibdenum sangat berperan aktif dalam ketahanan korosif terutama korosi sumuran (*pitting*) dan korosi celah (*crevice*). Molibdenum merupakan penstabil lapisan pasif yang telah terbentuk oleh Cr sehingga lapisan pasif akan lebih tahan terhadap serangan dari senyawaan yang menyerang lapisan pasif (Suharno : 2005). Komposisi paduan CoCrMo komersial merujuk pada klasifikasi ASTM F75 (*American Society for Testing and Materials F75*) berikut ini :

Tabel 1. Komposisi CoCrMo (ASTM F75)

Unsur	Komposisi (%)
Chromium, Cr	27 - 30
Molybdenum, Mo	5 - 7
Nickel, Ni	< 2,5
Iron, Fe	< 0,75
Carbon, C	< 0,35
Silicone, Si	< 1
Manganase, Mn	< 1
Nitrogen, N	< 0,25
Cobalt, Co	63 - 65

Sumber : (Hezti : 2011)

Pada Tabel 1 terlihat bahwa paduan CoCrMo terdiri dari tiga unsur utama yaitu Cobalt (Co), Chromium (Cr) dan Molybdenum (Mo). Material Cobalt menjadi material utama pada paduan ini dengan komposisi (63–65)%, selanjutnya material Chromium dengan komposisi (27–30)% dan Molybdenum dengan komposisi (5–7)%. Unsur lain penyusun paduan CoCrMo ditambahkan untuk menghasilkan paduan yang baik (Agung:2010).

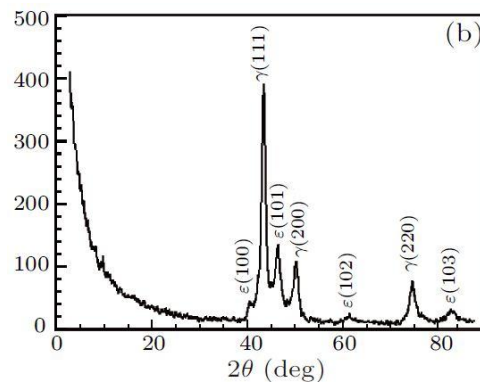
D. Karakterisasi Material

Karakterisasi merupakan suatu cara untuk menentukan sifat suatu material yang terdiri dari sifat mekanik, optik, listrik, magnetik dan lain-lain. Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi pada suatu material yang berupa paduan logam CoCrMo ditinjau dari identifikasi fasa, nilai laju korosi, nilai kekerasan dan pengamatan pada permukaan dan penampang lintang paduan CoCrMo sebelum dan setelah proses nitridasi menggunakan alat XRD, potensiostat, Vickers Hardness Tess dan mikroskop optik.

1. Identifikasi Fasa dengan Alat XRD (Difraksi Sinar-X)

Istilah “fasa” berkaitan dengan keadaan materi yang terpisah dan dapat diidentifikasi. Istilah ini dapat diterapkan baik pada material kristalin maupun non kristalin, dan merupakan cara yang mudah untuk menyatakan struktur materi (Smallman:1999). Paduan kobalt mempunyai dua struktur kristal yang berbeda yaitu *face centered cubic* (fcc) dan *hexagonal close packed* (hcp). Fasa ϵ Co mempunyai struktur kristal fcc sedangkan fasa γ Co berstruktur kristal hcp (Agung:2010).

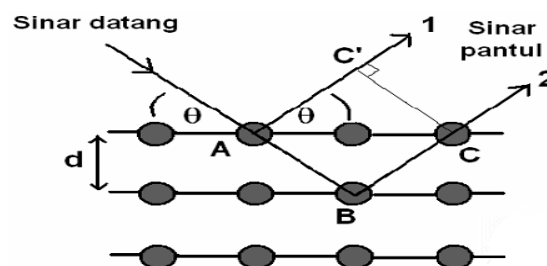
Fasa dari suatu paduan dapat diidentifikasi apabila paduan tersebut dikarakterisasi menggunakan XRD. Hasil dari karakterisasi ini berupa difraktogram. Berdasarkan literatur, difraktogram CoCrMo dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Difraktogram CoCrMo
Sumber : (Sahin *et al*:2011)

Pada Gambar 4 menunjukkan paduan CoCrMo terdiri dari fasa γ dan fasa ϵ yang terbentuk pada sudut $40-100^\circ$, dengan puncak tertinggi pada sudut $40-60^\circ$. Untuk mendapatkan grafik seperti Gambar 4 maka terlebih dahulu sampel yang ingin diidentifikasi fasanya harus dikarakterisasi menggunakan XRD.

Metode XRD berdasarkan sifat difraksi sinar X, yakni hamburan cahaya dengan panjang gelombang λ saat melewati kisi kristal dengan sudut datang θ dan jarak antar kristal sebesar d (Gambar 5). Data yang diperoleh dari metode karakterisasi XRD adalah sudut hamburan (sudut Bragg) dan intensitas.



Gambar 5. Difraksi sinar-X oleh bidang kristal
Sumber : (Fachmi : 2009)

Pola difraksi sinar-X tertentu dapat digunakan dalam analisis kualitatif (identifikasi fasa) dan kuantitatif material. Pada waktu suatu material dikenai

sinar-X, maka intensitas sinar yang ditransmisikan lebih rendah dari intensitas sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh material dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar-X yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasanya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas sinar-X yang saling menguatkan itulah yang disebut sebagai berkas difraksi.

Hukum Bragg merupakan rumusan matematika tentang persyaratan yang harus dipenuhi agar berkas sinar-X yang dihamburkan tersebut merupakan berkas difraksi. Berkas sinar-X monokromatik yang datang pada permukaan kristal akan dipantulkan, dan pantulan terjadi hanya jika sudut datangnya mempunyai sudut tertentu (Gambar 3). Syarat terjadinya difraksi harus memenuhi hukum Bragg, yaitu : (Elviyenti : 2010)

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (3)$$

dengan :

d = jarak bidang kristal

θ = sudut difraksi

n = orde difraksi ($n = 1, 2, 3, \dots$)

λ = panjang gelombang sinar-X ($\lambda \approx 0,1 \text{ nm}$)

Berdasarkan persamaan Bragg, jika seberkas sinar-X di jatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Makin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel,

makin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi.

Prinsip kerja XRD secara umum adalah sebagai berikut : XRD terdiri dari tiga bagian utama, yaitu tabung sinar-X, tempat objek yang diteliti, dan detektor sinar X. Sinar X dihasilkan di tabung sinar X yang berisi katoda memanaskan filamen, sehingga menghasilkan elektron. Perbedaan tegangan menyebabkan percepatan elektron akan menembaki objek. Ketika elektron mempunyai tingkat energi yang tinggi dan menabrak elektron dalam objek sehingga dihasilkan pancaran sinar X. Objek dan detektor berputar untuk menangkap dan merekam intensitas refleksi sinar X. Detektor merekam dan memproses sinyal sinar X dan mengolahnya dalam bentuk grafik.

Kegunaan XRD, antara lain adalah:

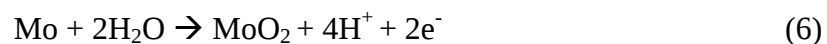
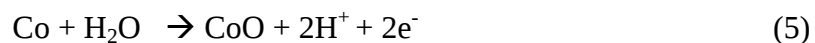
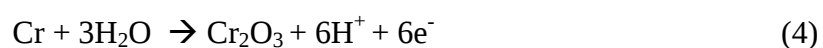
- 1) Membedakan antara material yang bersifat kristal dan amorf.
- 2) Mengukur macam-macam kecacakan dan penyimpangan kristal.
- 3) Karakterisasi material kristal.
- 4) Identifikasi mineral-mineral yang berbutir halus.

Kelebihan penggunaan sinar-X dalam karakterisasi material adalah kemampuan penetrasinya, sebab sinar-X memiliki energi sangat tinggi akibat panjang gelombangnya yang pendek. Sedangkan kekurangannya adalah untuk objek berupa kristal tunggal sangat sulit mendapatkan senyawa dalam bentuk kristalnya.

Informasi yang bisa didapatkan dari hasil pola difraksi sinar-X yaitu posisi puncak dan intensitas. Posisi puncak mengindikasikan struktur kristal dan identifikasi fasa yang ada di dalam bahan tersebut, sedangkan intensitas menunjukkan total hamburan balik dari masing-masing bidang dan struktur kristal (Hezti : 2011).

2. Uji Korosi Menggunakan Alat Potensiostat

Kata “korosi” berasal dari bahasa latin “corrade” yang artinya karat (*rust*). Korosi merupakan salah satu penyebab utama yang dapat menimbulkan masalah ketika paduan logam digunakan sebagai implan dalam tubuh. Korosi material implan dalam cairan tubuh terjadi melalui reaksi elektrokimia (Agung:2010). Ketahanan korosi dari logam implan tergantung dari formasi lapisan oksida pasif yang terbentuk (Mudali *et al* : 2003). Lapisan pasif mayoritas yang terbentuk pada permukaan paduan cobalt-chromium-molybdenum adalah oksida chromium (Cr_2O_3), sedangkan minoritas tersusun atas oksida kobalt (CoO) dan molybdenum (MoO). Reaksi elektrokimia yang terbentuk : (Agung : 2010).



Lapisan pasif yang terbentuk pada permukaan material menunjukkan perilaku pasifasi yang sangat baik dalam larutan *Simulated Body Fluid* (SBF). Larutan SBF memiliki konsentrasi ion menyerupai konsentrasi ion plasma darah manusia (Hezti : 2011).

Salah satu jenis korosi yang sering terjadi pada material implan diantaranya adalah korosi lokal. Korosi jenis ini dapat terjadi karena adanya beban mekanik (friksi) dan penurunan pH. Penurunan pH disebabkan adanya peradangan lokal karena jaringan yang rusak, atau naiknya konsentrasi fosfat dan sulfat. Tingkat keasaman (pH) darah normal terdapat pada rentang 7,35-7,45 (Agung : 2010). Standar laju korosi untuk aplikasi medis jika mengacu kepada standar Eropa yaitu kurang dari 0,457 mpy (Ali : 2007). Untuk mengetahui nilai laju korosi maka perlu dilakukan pengujian menggunakan alat potensiostat.

Potensiostat merupakan alat yang digunakan untuk mengukur nilai laju korosi suatu material. Laju korosi adalah pengaruh korosi pada sebuah logam (kerusakan atau perubahan) per satuan waktu. Dengan kata lain, laju korosi menunjukkan mudah atau tidaknya suatu material bereaksi dengan lingkungannya (Elviyenti:2010).

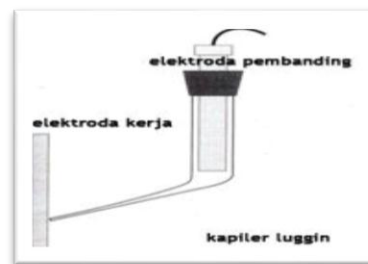
Potensiostat merupakan alat elektronik yang mengatur perbedaan potensial antara elektroda kerja dan elektroda pembanding. Kedua elektroda terdapat dalam sel elektrokimia. Alat potensiostat ini diatur dengan memasukkan arus ke dalam sel melalui elektroda pembantu. Hampir dalam semua penerapannya, potensiostat mengukur aliran arus antara elektroda kerja dan elektroda pembantu. Variabel yang diatur dalam potensiostat adalah potensial sel dan variabel yang diukur adalah arus sel (Hezti : 2011). Potensiostat hanya dapat bekerja untuk sel elektrokimia yang terdiri dari tiga elektroda yaitu:

a. Elektroda Kerja

Dalam pengujian elektroda kerja adalah sampel dari logam yang terkorosi. Elektroda kerja dapat berupa logam yang terbuka atau dilapis.

b. Elektroda Pembanding

Elektroda pembanding digunakan dalam mengukur potensial elektroda kerja. Elektroda pembanding seharusnya memiliki potensial elektrokimia yang konstan selama tidak ada aliran arus yang melewatinya. Elektroda pembanding laboratorium yang sering digunakan adalah elektroda kalomel jenuh (SCE) dan elektroda perak/perak klorida (Ag/AgCl). Salah satu elektroda standar yang biasa digunakan sebagai elektroda pembanding adalah elektroda kalomel.



Gambar 6. Posisi elektroda pembanding dan elektroda kerja pada kapiler luggin sel elektrokimia
Sumber : (Hezti : 2011)

Pipa kapiler luggin memungkinkan untuk mendeteksi potensial larutan yang dekat dengan elektroda kerja tanpa mempengaruhi kejadian yang berlangsung ketika elektroda pembanding yang besar ditempatkan dekat dengan elektroda kerja.

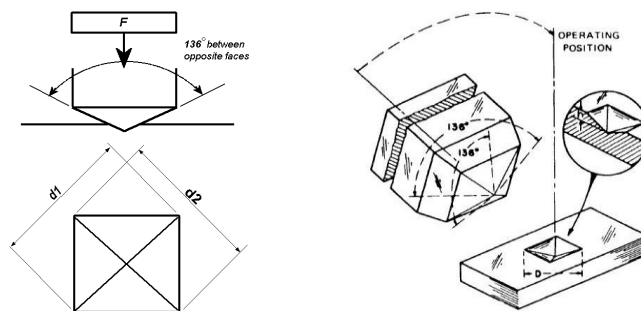
c. Elektroda Pembantu

Elektroda pembantu merupakan konduktor yang melengkapi rangkaian sel. Elektroda pembantu dalam sel laboratorium secara umum adalah konduktor inert seperti platina atau grafit. Arus yang mengalir di dalam larutan melalui elektroda kerja meninggalkan larutan melalui elektroda pembantu.

3. Uji Kekerasan Menggunakan Alat Vickers Hardness Test

Kekerasan suatu logam didefinisikan sebagai ketahanan terhadap penetrasi, memberikan indikasi sifat-sifat deformasinya. Kekerasan merupakan suatu sifat dari bahan yang sebagian besar dipengaruhi oleh unsur-unsur paduannya. Faktor-faktor yang mempengaruhi hasil kekerasan dalam perlakuan panas adalah komposisi kimia, langkah perlakuan panas, cairan pendingin, temperatur pemanas dan lain-lain (Novi:2011). Untuk mengetahui nilai kekerasan dapat dilakukan dengan berbagai pengujian, salah satunya menggunakan uji kekerasan vickers.

Pada tahun 1925, Smith dan Sandland memperkenalkan penggunaan alat indentor berbentuk piramida (Gambar 7) yang terbuat dari intan untuk menguji kekerasan logam.



Gambar 7. Ilustrasi proses indentasi pada uji kekerasan Vickers
Sumber : (Habibie : 2013)

Uji kekerasan Vickers merupakan salah satu metode mengukur tingkat kekerasan suatu material berdasarkan panjang diagonal jejak indentasi yang dihasilkan indenter intan berbentuk piramida. Prinsip kerjanya adalah pembentukan jejak segiempat pada sampel akibat ditekan menggunakan indenter intan dengan beban tertentu (Gambar 7). Panjang diagonal ini dimasukkan ke rumus sehingga diperoleh nilai kekerasan Vickersnya (dalam kg/mm^2 atau HV *number*) (Habibie : 2013). Rumus penentuan nilai kekerasan Vickers dinyatakan pada persamaan (7) : (Hezti : 2011)

$$HV = \frac{1,8544 F}{d^2} \quad (7)$$

dengan :

HV = nilai kekerasan Vickers (kg/mm^2)

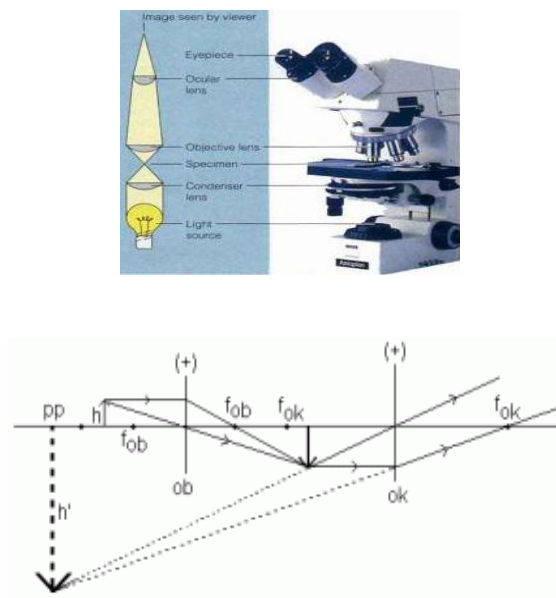
F = beban yang digunakan pada alat (kg)

d^2 = diagonal rata-rata jejak indentasi (mm^2)

Untuk melakukan uji kekerasan Vickers, sampel diletakkan pada landasan yang memiliki basis ulir sekrup untuk dinaikan mendekati titik indenter, beban perlahan-lahan diterapkan pada indenter tersebut kemudian ditahan ± 10 detik untuk selanjutnya beban dilepaskan. Jejak diagonal indenter diukur menggunakan mikroskop. Pengukuran diambil diseluruh diagonal untuk menentukan kekerasan material tersebut yang kemudian dirata-ratakan. Keuntungan dari uji kekerasan Vickers adalah hanya satu jenis indenter yang digunakan untuk semua jenis logam (Hezti : 2011).

4. Pengamatan Mikroskop Optik

Mikroskop optik merupakan suatu alat yang digunakan untuk mempelajari rincian dari suatu objek baik bentuk maupun strukturnya yang tidak mampu diamati oleh mata. Mikroskop optik terdiri dari beberapa bagian atau komponen yaitu: lensa objektif, lensa okuler, lensa kondenser, sumber cahaya, dan filter cahaya. Lensa objektif (dekat benda uji/sampel) untuk memperbesar bayangan pertama dari sampel. Lensa okuler (ke mata) memperbesar bayangan dari lensa objektif, sedang lensa kondenser memfokuskan cahaya dari sumber cahaya. Lensa objektif dan lensa okuler masing-masing mempunyai perbesaran tertentu (Ari, dkk : 2007). Skema alat dan pembentukan bayangan pada mikroskop optik ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Skema alat dan pembentukan bayangan mikroskop optik
Sumber : (Hezti : 2011)

Suatu benda (sampel) yang akan diamati, diletakkan pada tempatnya dibawah lensa objektif. Dengan adanya cahaya, maka oleh lensa objektif akan dibentuk bayangan nyata yang diperbesar. Lensa okuler menangkap bayangan tersebut sebagai suatu benda dan memperbesarnya dan keluarannya dapat dilihat oleh mata yang berada di atas lensa okuler. Pada mikroskop optik terjadi perbesaran yang bertingkat, yaitu perbesaran bayangan pertama oleh lensa objektif dan bayangan tersebut diperbesar lagi oleh lensa okuler. Hasil akhir perbesaran adalah perkalian perbesaran oleh lensa objektif dan lensa okuler. Misalnya lensa objektif mempunyai perbesaran 10X dan lensa okuler 20X, maka hasil yang terlihat oleh mata adalah perbesaran 200X (Ari, dkk : 2007).

Untuk melihat dan menyimpan data atau citra dari sampel yang diamati maka mikroskop optik harus dilengkapi dengan kamera dan komputer seperti terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Mikroskop Optik
Sumber : (Fransisca : 2011)

Gambar 9 menunjukkan mikroskop optik yang dilengkapi dengan kamera dan komputer yang dilengkapi dengan program (software) Clemex. Citra dari sampel akan ditampilkan pada monitor, setelah citra yang diinginkan sesuai maka dapat disimpan dan ditampilkan kembali atau dicetak. Citra tersebut juga dapat diolah

(diedit) untuk keperluan tertentu secara langsung dengan program pengolahan gambar (Ari, dkk : 2007).

E. Pengaruh Variasi Waktu Nitridasi terhadap Hasil Karakterisasi

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, nitridasi yang dilakukan selama 3, 5, 7 dan 11 jam pada temperatur 525°C, umumnya efektif menghasilkan lapisan-lapisan nitrida. Pengaruh variasi waktu yang digunakan selama proses nitridasi terhadap fasa yang terbentuk adalah berdasarkan hasil karakterisasi XRD. Adapun hasil karakterisasi tersebut berupa pola difraksi yang kemudian diidentifikasi fasanya menggunakan *database* JCPDS. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan paduan CoCrMo bersifat *allotropic* (memiliki lebih dari 1 fasa). Difraktogram CoCrMo memperlihatkan bahwa sebagian besar fasa yang terbentuk pada paduan CoCrMo adalah fasa γ dan fasa ϵ . Fasa γ menjadi semakin stabil ditandai dengan peningkatan intensitasnya seiring dengan penambahan unsur nitrogen. Disamping menstabilkan fasa γ , penambahan nitrogen juga dapat mengurangi intensitas fasa ϵ seiring dengan meningkatnya intensitas fasa γ (Hezti:2012). Fasa ϵ dapat berkurang ataupun hilang karena penambahan unsur N yang berikatan dengan unsur Cr membentuk fasa baru yaitu CrN dan Cr₂N (Danang:2011). Dengan meningkatnya waktu nitridasi, persentase fasa γ yang terletak pada sudut 40 - 60° meningkat pada masing-masing paduan dengan waktu nitridasi yang berbeda (Annafiyah:2011).

Untuk nilai laju korosi berdasarkan pada penelitian sebelumnya yaitu ukuran ketahanan korosi sampel dapat dilihat dari harga rapat arus korosi selama

pengujian berlangsung. Semakin besar rapat arus korosi maka semakin besar pula kemungkinan terjadinya korosi pada sampel, dan begitu juga sebaliknya. Penurunan ketahanan korosi umumnya disebabkan oleh terbentuknya fasa CrN atau Cr₂N selama nitridasi, fasa ini memiliki sifat keras sehingga meningkatkan nilai kekerasan sampel (Dedi:2009). Sampel masih dapat digunakan sebagai bahan implan apabila masih berada pada batas nilai standarnya. Standar laju korosi untuk aplikasi medis jika mengacu kepada standar Eropa yaitu kurang dari 0,457 mpy (Ali : 2007).

Berdasarkan nilai kekerasan pada penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa nitridasi meningkatkan kekerasan pada permukaan sampel. Penambahan unsur N pada paduan CoCrMo selain sebagai lapis lindung agar ion-ion logam tidak terlepas ke jaringan tubuh, juga menekan pertumbuhan fasa ϵ sehingga meningkatkan nilai kekerasannya (Sulistioso:2012). Hasil pada penelitian sebelumnya menunjukkan kekerasan paduan CoCrMo meningkat seiring meningkatnya suhu nitridasi. Kekerasan meningkat tajam dari suhu nitridasi 420°C sampai 550°C (Annafiyah:2011).

Hasil pengamatan menggunakan mikroskop optik pada penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa nitridasi yang dilakukan pada temperatur di atas 500°C akan membentuk lapisan nitrida yang gelap pada permukaan sampel (Dedi:2009). Semakin lama waktu nitridasi maka lapisan nitrida akan semakin menebal sehingga warnanya akan tampak lebih gelap lagi. Semakin gelap warna pada permukaan maka tebal lapisannya juga akan semakin besar, begitupun sebaliknya (Novi:2011).

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengolahan data yang telah dilakukan, dapat dikemukakan beberapa kesimpulan dari penelitian yaitu :

1. Pengaruh variasi waktu nitridasi terhadap fasa pada paduan CoCrMo adalah terbentuknya fasa γ dan CrN dan menghilangkan fasa ϵ yang terbentuk pada paduan CoCrMo sebelum dinitridasi.
2. Pengaruh variasi waktu nitridasi terhadap nilai laju korosi adalah semakin lama waktu nitridasi maka akan semakin rendah nilai laju korosinya. Nitridasi mengakibatkan tingkat ketahanan korosinya semakin rendah bila dibandingkan sebelum dinitridasi, tetapi seluruh sampel paduan CoCrMo yang dinitridasi ini masih memenuhi standar aplikasi untuk alat implan yaitu kurang dari 0,457 mpy.
3. Pengaruh variasi waktu nitridasi terhadap nilai kekerasan adalah semakin lama waktu nitridasi maka nilai kekerasannya akan semakin meningkat, begitu juga sebaliknya.
4. Pengaruh variasi waktu nitridasi terhadap hasil pengamatan mikroskop optik adalah perubahan warna dari kuning keemasan menjadi warna yang lebih gelap dan menebal seiring dengan lamanya waktu nitridasi. Ketebalan lapisan nitridasi yang dihasilkan adalah semakin lama waktu nitridasi maka akan semakin tebal lapisan yang nitrida terbentuk.

B. Saran

Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan variasi waktu dan temperatur yang berbeda tentunya, untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal. Perlu dilakukan uji in vivo untuk mengetahui biokompatibilitasnya (kesesuaian dengan makhluk hidup). Untuk mendapatkan hasil nilai laju korosi yang lebih baik lagi, maka harus diusahakan nitridasi menggunakan bahan yang tidak mengandung unsur *Oxide* (O).