# SKRIPSI

## Pengaruh Variasi Waktu dan Temperatur Nitridasi terhadap Struktur dan Sifat Fisis Baja FeCrNi

*Diajukan Sebagai Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Sains*


**OLEH :**

**NAZRA FAUZIAH**

**2009/ 12785**


**Pembimbing:**

1. **Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si**
2. **Drs. Anthonius Sitompul, MT**


**PROGRAM STUDI FISIKA**

**JURUSAN FISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS NEGERI PADANG**


**2014**

# PERSETUJUAN SKIRPSI

| | | |
|---|---|---|
| Judul | : | Pengaruh Variasi Waktu dan Temperatur Nitridasi terhadap Struktur dan Sifat Fisis Baja FeCrNi |
| Nama | : | Nazra Fauziah |
| NIM | : | 12785 |
| Program Studi | : | Fisika |
| Jurusan | : | Fisika |
| Fakultas | : | Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam |

Padang, 5 Agustus 2014

Disetujui oleh

| Pembimbing I | Pembimbing II |
|---|---|
| Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si | Drs. Anthonius Sitompul, MT |
| NIP. 19690120 199303 2 002 | NIP. 19620415 198810 1 001 |

## PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

| | |
|---|---|
| Nama | Nazra Fauziah |
| NIM | 12785 |
| Program Studi | Fisika |
| Jurusan | Fisika |
| Fakultas | Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam |

dengan judul

**Pengaruh Variasi Waktu dan Temperatur Nitridasi terhadap Struktur dan Sifat Fisis Baja FeCrNi**

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang , 5 Agustus 2014

Tim Penguji

| | Nama | Tanda Tangan |
|---|---|---|
| Ketua | Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si | |
| Sekretaris | Drs. Anthonius Sitompul, MT | |
| Anggota | Dra. Syakbaniah, M. Si | |
| | Dra. Hj. Yenni Darvina, M.Si | |
| | Drs.Gusnedi, M.Si | |

## SURAT PERNYATAAN

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

Padang, 5 Agustus 2014

Saya yang menyatakan

Nazra Fauziah

## ABSTRAK

Nazra Fauziah : Pengaruh Variasi Lama Waktu dan Temperatur Nitridasi terhadap Struktur dan Sifat Fisis Baja FeCrNi.

Baja FeCrNi merupakan baja tahan karat yang digunakan sebagai bahan implant untuk menggantikan tulang yang patah. Pemakaian baja yang lama akan menyebabkan terjadinya korosi, sehingga akan menyebabkan kerusakan jika digunakan sebagai material implant didalam tubuh manusia. Untuk lebih meningkatkan kekerasan dan ketahanan korosi baja FeCrNi dilakukan proses nitridasi *pack cementit*. Proses nitridasi *pack cementit* dilakukan dengan menggunakan urea ($(NH_2)_2CO$), karena didalam urea terkandung nitrogen yang akan berdifusi kedalam sampel jika dilakukan proses nitridasi.

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dilakukan di PTBIN-BATAN. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Mikroskop optik, SEM-EDS dan Vickers hardness tess. Variasi waktu selama 3, 5 dan 7 jam serta variasi temperatur $450^0$C, $500^0$C dan $550^0$C. Penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh waktu dan temperatur nitridasi terhadap strukturmikro dan sifat fisis dari baja FeCrNi.

Pengujian yang dilakukan meliputi uji strukturmikro dan sifat fisis baja. Dari uji struktur mikro didapatkan tebal lapisan difusi dan jumlah kandungan nitrogen yang berbeda untuk masing- masing nitridasi, tebal lapisan terdalam yaitu 24,75 μm pada temperatur $550^0$C selama 7 jam dengan kandungan nitrogen sebesar 7,56 % yang diketahui dengan menggunakan Mikroskop Optik dan SEM- EDS. Pada pengujian kekerasan didapatkan nilai uji kekerasan yang semakin meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur dan lamanya waktu yang digunakan. Angka kekerasan meningkat sebanyak 14,21 kali pada temperatur $550^0$C selama 7 jam dengan nilai kekerasan sebesar 1329,609 HVN, tetapi angka laju korosinya semakin tinggi yaitu sebesar 0,7005 $\mu A/cm^2$. Nilai laju korosi paling rendah terjadi pada temperatur $500^0$C selama 5 jam yaitu sebesar 0,0052 $\mu A/cm^2$.



Kata kunci: Nitridasi *pack cementit*, struktur mikro, kekerasan, ketahanan korosi.

# KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul "**Pengaruh Variasi Waktu dan Temperatur Nitridasi Terhadap Struktur dan Sifat Fisis Baja FeCrNi**". Selanjutnya salawat dan salam penulis persembahkan kepada nabi besar Muhamad SAW.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana sains pada Program Studi Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

Penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si. Selaku pembimbing I.
2. Bapak Drs. Anthonius Sitompul, MT. Selaku pembimbing II.
3. Ibu Dra. Syakbaniah, M.Si, ibu Dra. Hj. Yenni Darvina, M.Si, dan bapak Drs. Gusnedi, M.Si. Selaku dosen penguji.
4. Bapak Drs. Akmam, M.Si. Selaku Ketua Jurusan Fisika.
5. Ibu Dra. Hidayati, M.Si. Selaku Ketua Prodi Jurusan Fisika dan Penasehat Akademik.
6. Bapak Dr. Hudi Hastowo selaku Kepala BATAN.

7. Bapak Ir. Iman Kuntoro selaku Kepala PTBIN.
8. Bapak Drs. Sulistioso Giat S, MT selaku Penanggung jawab lab. Material.
9. Bapak Drs. Bambang Sugeng, MT selaku penanggung jawab XRD.
10. Kedua orang tua yang selama ini telah memberikan dukungan, semangat, perhatian, do'a dan kasih sayang tanpa batas dan akhir.
11. Seluruh staf pengajar Jurusan Fisika yang telah membekali penulis dengan berbagai ilmu dan pengetahuan selama masa perkuliahan.
12. Bapak dan Ibu pegawai di BATAN dan rekan- rekan mahasiswa tugas akhir yang telah bekerja sama dengan baik.
13. Selanjutnya rekan- rekan dan semua pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu saran serta kritikan yang bersifat membangun sangat penulis harapkan. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca pada umumnya.

Padang, 5 Agustus 2014

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK ..... i

KATA PENGANTAR ..... ii

DAFTAR ISI ..... iv

DAFTAR TABEL ..... viii

DAFTAR GAMBAR ..... ix

DAFTAR LAMPIRAN ..... xii

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang ..... 1

B. Rumusan Masalah ..... 5

C. Batasan Masalah ..... 5

D. Tujuan Penelitian ..... 6

E. Manfaat Penelitian ..... 6

BAB II KAJIAN PUSTAKA

A. Baja ..... 7

1. Defenisi Baja ..... 7
2. Jenis- jenis baja ..... 7
3. Baja Paduan FeCrNi ..... 10
4. Struktur Baja FeCrNi ..... 11

B. Difusi Atom..... 12

C. Nitridasi ..... 14

1. Pengertian Nitridasi ..... 14
2. Metoda Nitridasi ..... 15

D. Strukturmikro dan Sifat Fisis Baja FeCrNi ..... 18

1. Struktur Mikro dan Komposisi Kimia ..... 18

2. Korosi ..... 19
3. Kekerasan ..... 20
E. Pengaruh Variasi Waktu Nitridasi terhadap Struktur Baja FeCrNi.... 22
F. Pengaruh Variasi Waktu Nitridasi terhadap Sifat Fisis Baja FeCrNi. ..... 23
G. Pengaruh Variasi Temperatur Nitridasi terhadap Struktur Baja FeCrNi ..... 24
H. Pengaruh Variasi Temperatur Nitridasi terhadap Sifat Fisis Baja FeCrNi ..... 26
I. Cara Kerja Alat Karekteristik ..... 27
1. Mikrostruktur dan Komposisi Kimia dengan Mikroskop Optik dan SEM- EDS..... 27
2. Kekerasan dengan Vickers Hardness Tess..... 31
3. Korosi dengan Potensiostat/ Galvanostat ..... 32

BAB III METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian ..... 34
B. Tempat dan Waktu Penelitian ..... 34
C. Variabel Penelitian ..... 34
D. Alat dan Bahan Penelitian ..... 35
E. Prosedur Penelitian ..... 37
F. Teknik Pengumpulan Data ..... 45
G. Teknik Analisi Data ..... 46

BAB IV HASIL Dan PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian ..... 50
1. Deskripsi Data
a. Data Mikroskop Optik ..... 50
b. Hasil Uji SEM ..... 62

c. Hasil Uji Korosi ..... 75
d. Hasil Uji Kekerasan ..... 77
2. Analisis Data
a. Pengaruh Variasi Waktu terhadap Struktur Baja
1) Data Mikroskop Optik ..... 78
2) Data SEM- EDS ..... 80
b. Pengaruh Variasi Waktu Terhadap Sifat Fisis Baja
1) Data Uji Kekerasan ..... 81
2) Data Uji Korosi ..... 83
c. Pengaruh Variasi Temperatur terhadap Struktur Baja
1) Data Mikroskop Optik ..... 84
2) Data SEM- EDS ..... 85
d. Pengaruh Variasi Temperatur terhadap Sifat Fisis Baja
1) Data Uji Kekerasan ..... 87
2) Data Uji Korosi ..... 88
B. Pembahasan
1. Pengaruh Variasi Waktu terhadap Struktur Baja
a) Data Mikroskop Optik ..... 90
b) Data SEM- EDS ..... 91
2. Pengaruh Variasi Waktu terhadap Sifat Fisis Baja
a) Data Uji Kekerasan ..... 92
b) Data Uji Korosi ..... 93
3. Pengaruh Variasi Temperatur terhadap Struktur Baja
a) Data Mikroskop Optik..... 94
b) Data SEM- EDS..... 95
4. Pengaruh Variasi Temperatur terhadap Sifat Fisis Baja
a) Data Uji Kekerasan ..... 96
b) Data Uji Korosi ..... 97

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan ..... 99
B. Saran ..... 100

Daftar Pustaka ..... 101

Lampiran

# DAFTAR TABEL

Tabel

1. Komposisi Kimia Paduan FeCrNi ..... 11

2. Data Hasil Uji Korosi ..... 75

3. Hasil Pengukuran Diagonal Kekerasan Vickers ..... 77

4. Persentase Kedalaman Difusi Dengan Variasi Waktu ..... 81

5. Persentase Kedalaman difusi engan Variasi Temperatur ..... 86

## DAFTAR GAMBAR

Gambar


1. Struktur Atom FeCrNi ..... 12

2. Mekanisme Difusi Atom Dalam Material ..... 13

3. Struktur Mikro dan Komposisi Kimia *Stainless Steel* ..... 19

4. Hasil Pengamatan Mikrostruktur $420^0$C selama 3 dan 11 jam ..... 22

5. Hasil Pengamatan Mikrostruktur Selama 3 jam pada $420^0$C dan $500^0$C .. 25

6. Mikrostruktur Penampang Lintang ..... 26

7. Skema dan Pencahayaan Mikroskop Optik ..... 28

8. Mikroskop Optik ..... 29

9. Skema Alat Uji Vickers ..... 31

10. Bentuk Sampel (a) Awal, (b) Sampel Persegi dan (c) Sampel Silinder .. 38

11. Proses *Grinding*..... 38

12. Sampel didalam Ultrasonik ..... 39

13. Sampel Yang Akan di Nitridasi ..... 39

14. Bentuk Sampel (a) Sebelum dan (b) Setelah Nitridasi ..... 40

15. Peralatan Uji Korosi ..... 41

16. Pengujian Kekerasaan pada Sampel ..... 42

17. Pemotongan Sampel ..... 43

18. Sampel yang telah di *Mounting* ..... 44

19. Proses Poles dengan Pasta ..... 44

20. Pengetsaan ..... 45

21. Skema tahapan penelitian ..... 49

22. Bentuk Mikrostruktur Permukaan FeCrNi (a) sebelum dan (b) setelah uji korosi ..... 51

23. Bentuk Mikrostruktur Permukaan FeCrNi Nitridasi 3 jam $450^0$C (a) sebelum dan (b) setelah Uji Korosi..... 51

24. Bentuk Mikrostruktur Permukaan FeCrNi Nitridasi 3 jam $500^0$C (a) sebelum dan (b) setelah Uji Korosi..... 52

25. Bentuk Mikrostruktur Permukaan FeCrNi Nitridasi 3 jam $550^0$C (a) sebelum dan (b) setelah Uji Korosi ..... 53

26. Bentuk Mikrostruktur Permukaan FeCrNi Nitridasi 5 jam $450^0$C (a) sebelum dan (b) setelah Uji Korosi ..... 53

27. Bentuk Mikrostruktur Permukaan FeCrNi Nitridasi 5 jam $500^0$C (a) sebelum dan (b) setelah Uji Korosi ..... 54

28. Bentuk Mikrostruktur Permukaan FeCrNi Nitridasi 5 jam $550^0$C (a) sebelum dan (b) setelah Uji Korosi ..... 55

29. Bentuk Mikrostruktur Permukaan FeCrNi Nitridasi 7 jam $450^0$C (a) sebelum dan (b) setelah Uji Korosi ..... 55

30. Bentuk Mikrostruktur Permukaan FeCrNi Nitridasi 7 jam $500^0$C (a) sebelum dan (b) setelah Uji Korosi ..... 56

31. Bentuk Mikrostruktur Permukaan FeCrNi Nitridasi 7 jam $550^0$C (a) sebelum dan (b) setelah Uji Korosi ..... 57

32. Tebal Lapisan Nitridasi 3 jam $450^0$C ..... 58

33. Tebal Lapisan Nitridasi 3 jam $500^0$C ..... 58

34. Tebal Lapisan Nitridasi 3 jam $550^0$C ..... 59

35. Tebal Lapisan Nitridasi 5 jam $450^0$C ..... 59

36. Tebal Lapisan Nitridasi 5 jam $500^0$C ..... 60

37. Tebal Lapisan Nitridasi 5 jam $550^0$C ..... 60

38. Tebal Lapisan Nitridasi 7 jam 450$^0$C ..... 61
39. Tebal Lapisan Nitridasi 7 jam 500$^0$C ..... 61
40. Tebal Lapisan Nitridasi 7 jam 550$^0$C ..... 62
41. Struktur mikro dan Komposisi Kimia FeCrNi Base Metal ..... 63
42. Struktur mikro dan Komposisi Kimia FeCrNi Nitridasi 3 Jam 450$^0$C .... 64
43. Struktur mikro dan Komposisi Kimia FeCrNi Nitridasi 3 Jam 500$^0$C..... 65
44. Struktur mikro dan Komposisi Kimia FeCrNi Nitridasi 3 Jam 550$^0$C..... 66
45. Struktur mikro dan Komposisi Kimia FeCrNi Nitridasi 5 Jam 450$^0$C..... 68
46. Struktur mikro dan Komposisi Kimia FeCrNi Nitridasi 5 Jam 500$^0$C..... 69
47. Struktur mikro dan Komposisi Kimia FeCrNi Nitridasi 3 Jam 550$^0$C..... 70
48. Struktur mikro dan Komposisi Kimia FeCrNi Nitridasi 7 Jam 450$^0$C..... 72
49. Struktur mikro dan Komposisi Kimia FeCrNi Nitridasi 7 Jam 500$^0$C..... 73
50. Struktur mikro dan Komposisi Kimia FeCrNi Nitridasi 7 Jam 550$^0$C..... 74
51. Nilai Kekerasaan Dengan Variasi Waktu ..... 82
52. Nilai Laju Korosi Dengan Variasi Waktu ..... 83
53. Nilai Kekerasaan Dengan Variasi Temperatur ..... 87
54. Nilai Laju Korosi Dengan Variasi Temperatur..... 89

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran

1. Foto Bahan dan Alat ..... 104
2. Contoh Perhitungan Nilai Kekerasan ..... 107
3. Foto Penelitian ..... 109

# BAB I

# PENDAHULUAN

## A. Latar Belakang

Tingkat kecelakaan meningkat setiap tahunnya. Di antara kecelakaan tersebut tidak sedikit yang tergolong kecelakaan berat atau mengalami patah tulang. Penanganan yang telah ada saat ini adalah dengan menggunakan logam- logam yang kuat, misalnya paduan CoCrMo dan *stainless steel* untuk menggantikan tulang yang patah di dalam tubuh. Namun, penanganan ini masih menimbulkan masalah, yaitu logam yang disimpan di dalam tubuh memiliki tingkat *biokompatibilitas* atau kemampuan suatu bahan untuk menyebabkan timbulnya respon biologik dalam pemakaiannya dalam tubuh yang masih rendah sehingga menimbulkan rasa sakit dan memar pada daging di sekitar logam tersebut (Fatur, 2008).

Rasa sakit dan memar pada daging di sekitar logam disebabkan karena kerusakan material yang selalu diawali dari permukaan. Kerusakan dapat disebabkan karena lingkungan korosi atau oksidasi maupun interaksi dengan benda lain, misalnya bergesekan dengan komponen lain. Masalah kerusakan permukaan tidak dapat dihindari, namun hanya dapat dicegah (Smallman dan Bishop, 1999). Banyak cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas permukaan material sesuai keinginan. Dalam bidang rekayasa material, cara itu dikenal dengan istilah perlakuan permukaan *(surface treatment)*.

Salah satu solusi untuk mengurangi terjadinya korosi adalah dengan menggunakan baja tahan karat. Baja tahan karat adalah baja paduan yang memanfaatkan keefektifan unsur paduan Fe-Cr-Ni. Baja tahan karat dengan kadar krom 12% sampai 27% akan meningkatkan sifat ketahanan korosi karena keberadaan unsur krom dalam paduan ini akan membentuk krom oksida (Cr2O3) sebagai lapisan pelindung sehingga tidak terbentuk karat (Anthonius dkk, 2009). Baja dengan kandungan sekitar 16- 26% Cr dan 6- 22% Ni disebut sebagai baja tahan karat austenitik (Muliadi, 2009).

Baja tahan karat austenitik memiliki kandungan 18% Cr dan 8% Ni dengan ketahanan korosi yang lebih baik, baja ini lebih dikenal dengan nama *stainless steel*. *Stainless steel* merupakan suatu jenis baja yang tahan karat yang terbuat dari paduan besi dengan minimal 12% kromium. Komposisi ini membentuk lapisan pelindung anti korosi yang merupakan hasil oksidasi oksigen terhadap krom yang terjadi secara spontan (Koko, 2011). *Stainless steel* ini lebih memiliki sifat mekanis dan ketahanan korosi yang baik karena adanya lapisan Cr, sehingga baja ini memiliki keunggulan yang lebih baik dibandingkan dengan baja karbon rendah lainnya. Untuk lebih meningkatkan kekerasan dan ketahanan korosi baja ini dilakukan proses nitridasi (Wagiyo, 2010).

Nitridasi merupakan salah satu proses yang dilakukan untuk pengerasan permukaan, dengan melibatkan difusi nitrogen ke dalam suatu material pada temperatur dan jangka waktu tertentu sehingga dapat meningkatkan kekerasan,

ketahanan aus, dan ketahanan korosinya (Yusuf, 2011). Nitridasi dapat dilakukan melalui berbagai cara, misalnya melalui *pack cementit*. Nitidasi *pack cementit* adalah proses untuk membuat lapisan tipis nitrogen secara difusi pada permukaan logam dan kemudian memanaskan komponen tersebut di dalam *furnace*. Melalui proses nitridasi akan dihasilkan struktur permukaan yang mengandung senyawa nitrida, yang berpengaruh pada sifat material.

Nitridasi dapat dilakukan menggunakan gas, cair dan padat untuk diberikan kepada material target diantaranya paduan baja, *stainless steel*, atau material lain yang mengandung unsur padun aluminium, krom, tungsten, dan vanadium yang bermanfaat dalam proses nitridasi karena dapat membentuk nitrida- nitrida yang stabil pada temperatur nitridasi (Elvi, 2010). Lapisan nitrida dipermukaan sampel akan menjadi lapis lindung agar ion- ion logam tidak terlepas ke lingkungannya, dalam hal ini adalah jaringan tubuh manusia. Sehingga nitridasi dapat meningkatkan biokompatibilitas paduan FeCrNi, untuk digunakan sebagai material implant (Sulistioso dkk, 2011).

Penelitian yang sama sudah pernah dilakukan sebelumnya oleh Sulistioso, dkk pada tahun 2011 dimana, dilakukan variasi jumlah urea sebanyak 20 gram dan 60 gram selama 3 jam dengan temperatur $525^0$C. Jumlah urea sebanyak 60 gram memberikan ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan dengan jumlah urea 20 gram. Menurut Dedi (2009), Nitridasi *pack cementit* dilakukan pada temperatur antara 450°C hingga 750°C selama beberapa jam. Walaupun sudah banyak

penelitian tentang perlakuan rekayasa permukaan pada baja, namun informasi tentang pengaruh waktu dan temperatur sekaligus pada proses nitridasi masih belum di ungkap. Informasi tentang pengaruh waktu dan temperatur nitridasi terhadap sifat fisis (kekerasan dan korosi) penting karena waktu dan temperatur nitridasi mempengaruhi sifat fisis material (Yadi dkk, 2013).

Berdasarkan fakta di atas, dalam penelitian kali ini dilakukan rekayasa permukaan terhadap baja tahan karat FeCrNi yang kekerasaan dan ketahanan korosinya dapat ditingkatkan dengan menggunakan nitridasi. Nitridasi dapat dilakukan dengan berbagai cara, di antaranya nitridasi gas, nitridasi plasma/ ion dan nitridasi *pack cementit*. Nitridasi dapat dilakukan dengan cara yang mudah dan murah yaitu dengan nitridasi *pack cementit*. Nitridasi *pack cementit* perlu dilakukan sebagai salah satu teknik rekayasa permukaan material dengan variasi waktu dan temperatur. Penelitian ini dilakukan menggunakan peralatan nitridasi milik PTBIN-BATAN (Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir-Badan Tenaga Nuklir Nasional) Kawasan PUSPIPTEK (Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi) Serpong, Tangerang, sedangkan material yang dijadikan sebagai obyek nitridasi adalah baja FeCrNi tahan karat dan dilakukan uji korosi dengan menggunakan cairan tubuh tiruan *Simulated Body Fluid* (SBF). SBF adalah larutan yang mengandung ion-ion yang komposisinya mendekati cairan tubuh manusia, sehingga dapat diprediksi bagaimana respon yang terjadi pada material tersebut.

## B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dapat dirumuskan permasalahannya yaitu:

1. Bagaimana pengaruh variasi waktu nitridasi terhadap struktur baja FeCrNi?
2. Bagaimana pengaruh variasi waktu nitridasi terhadap sifat fisis baja FeCrNi?
3. Bagaimana pengaruh variasi temperatur nitridasi terhadap struktur baja FeCrNi?
4. Bagaimana pengaruh variasi temperatur nitridasi terhadap sifat fisis baja FeCrNi?

## C. Batasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Nitridasi yang dilakukan adalah nitridasi *Pack Cementit*.
2. Variasi waktu yang digunakan yaitu, 3 jam, 5 jam dan 7 jam pemanasan. Variasi ini di ambil berdasarkan penelitian sebelumnya yaitu penelitian Wagiyo (2010) yang juga sudah melakukan pengujian dengan waktu yang sama.
3. Variasi temperatur yang digunakan yaitu 450°C, 500°C dan 550°C. Variasi ini di ambil karena temperatur tersebut merupakan temperatur yang berpengaruh terhadap proses nitridasi *pack cementit*, dimana nitridasi *pack cementit* ini dapat dilakukan pada rentang temperatur 450°C- 750°C (Dedi, 2009).
4. Struktur FeCrNi yang dimaksud adalah mikrostruktur.
5. Karakteristik fisis FeCrNi yang dimaksud adalah kekerasan dan laju korosi.

## D. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui pengaruh variasi waktu nitridasi terhadap struktur baja FeCrNi.
2. Mengetahui pengaruh variasi waktu nitridasi terhadap sifat fisis baja FeCrNi.
3. Mengetahui pengaruh variasi temperatur nitridasi terhadap struktur baja FeCrNi.
4. Mengetahui pengaruh variasi temperatur nitridasi terhadap sifat fisis baja FeCrNi.

## E. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini bermanfaat bagi:

1. Peneliti lain, dapat menjadi acuan dalam melakukan penelitian- penelitian selanjutnya.
2. Pembaca, memberikan informasi tentang teknik rekayasa permukaan material dengan nitridasi *pack cementit*.
3. IPTEK, dapat memberikan sumbangan ilmu pengetahuan, terutama dibidang biomaterial dan teknik rekayasa permukaan material, khususnya pengembangan implantasi terhadap tubuh manusia.

# BAB II

# KAJIAN PUSTAKA

## A. Baja

### a. Defenisi Baja

Definisi baja menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) adalah suatu benda logam yang keras dan kuat (Departemen Pendidikan Nasional, 2005). Sedangkan menurut Setiadji, baja merupakan suatu material campuran yang terdiri dari besi (Fe) dan karbon (C), dimana unsur karbon (C) menjadi dasar penyusunnya. Disamping unsur besi (Fe) dan karbon (C), baja juga mengandung unsur campuran lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), dan mangan (Mn) yang jumlahnya dibatasi.

Baja adalah besi karbon campuran logam yang dapat berisi konsentrasi dari element campuran lainnya, yang mempunyai perlakuan bahan dan komposisi berbeda (Wahyudi, 2010). Dari beberapa pendapat ahli di stas dapat disimpulkan bahwa baja merupakan paduan besi dengan karbon serta paduan unsur lainnya. Dimana karbon merupakan elemen pengeras besi yang efektif.

### b. Jenis- jenis Baja

Menurut komposisi kimianya baja dapat dibagi menjadi 2 kelompok yaitu baja karbon dan baja paduan.

1) Baja karbon

Baja karbon adalah baja yang hanya terdiri dari besi (Fe) dan karbon (C) serta dengan sedikit Si, Mn, P, S, dan Cu. Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon, bila kadar karbon naik maka kekuatan dan kekerasan juga akan bertambah tinggi. Karena itu baja karbon dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya (Smallman dan Bishop, 1999).

a) Baja Karbon Rendah

Adalah baja yang mengandung karbon kurang dari 0,30%.

b) Baja Karbon Sedang

Adalah baja ini mengandung karbon antara 0,30% – 0,60 %.

c) Baja Karbon Tinggi

Adalah baja yang mengandung kerbon antara 0,6% – 1,5%.

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa baja karbon merupakan baja yang terdiri dari unsur besi dan karbon hingga 2% serta unsur lainnya, dan baja karbon dapat diklasifikasikan berdasarkan persentase kandungan karbon yang terdapat didalam baja tersebut.

2) Baja Paduan

Baja paduan dihasilkan dengan biaya lebih mahal dari baja karbon lainnya, karena bertambahnya biaya untuk pengerjaan khusus yang dilakukan dalam industri atau pabrik. Baja paduan dapat didefinisikan sebagai suatu baja

yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran seperti nikel, kromium, molidden, vanadium, mangan, dan wolfram yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat baja yang dikehendaki seperti sifat kekuatan, kekerasan, dan keliatannya. Jika di campurkan dengan krom dan molibdenum akan menghasilkan baja yang menghasilkan sifat keras yang baik dan sifat kenyal yang memuaskan serta tahan terhadap panas. Baja paduan dapat dikelompokkan berdasarkan paduannya (Amanto dkk, 1999).

a) Baja Paduan Rendah

   Adalah Baja paduan yang elemen paduannya kurang dari 2,5% misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P, dan lain-lain. Memiliki kadar karbon sama seperti baja karbon, tetapi ada sedikit unsur paduan.

b) Baja Paduan Menengah

   Adalah baja paduan yang elemen paduannya 2,5%-10%.

c) Baja Paduan Tinggi

   Adalah baja paduan yang elemen paduannya lebih dari 10%.

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa baja paduan merupakan baja yang terdiri dari satu atau lebih unsur paduan seperti nikel, kromium,molibden, vanadium, mangan atau wolfram yang berfungsi untuk memberikan sifat khusus pada baja. Baja paduan dapat diklasifikasikan berdasarkan persentase paduan yang terdapat didalam baja tersebut.

**c. Baja Paduan FeCrNi**

Baja paduan FeCrNi termasuk jenis baja paduan tinggi. Paduan dari beberapa unsur yang berbeda memberikan sifat khas dari baja, misalnya baja yang dipadu dengan unsur Ni dan Cr akan menghasilkan baja yang mempunyai sifat kekerasan dan kekenyalan. Ni dan Cr bersifat katodik terhadap baja dan bertindak sebagai lapisan penghalang yang melapisi permukaan baja sehingga baja tahan terhadap korosi atau karat. Bila baja ditambah dengan paduan C dan Mo maka menghasilkan baja yang mempunyai sifat keras dan kenyal yang lebih baik serta tahan terhadap panas (Amanto dkk, 1999).

Pada umumnya baja paduan memiliki sifat yang unggul dibandingkan dengan baja karbon biasa, diantaranya (Amstead, 1993):

a. Keuletan yang tinggi tanpa pengurangan kekuatan tarik.
b. Tahan terhadap korosi dan keausan yang tergantung pada jenis paduannya.
c. Tahan terhadap perubahan suhu, ini berarti sifat fisisnya tidak banyak berubah.
d. Memiliki butiran yang halus dan homogen.

Baja paduan FeCrNi merupakan baja tahan karat austenik. Tabel 1 adalah komposisi dari baja FeCrNi.

**Tabel 1.** Komposisi paduan FeCrNi PTBIN-BATAN Serpong Tangerang:

| Kandungan | Fe | Ni | Cr | Mo | Si | Mn | C | P | S |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (%) | 65.345 | 12.00 | 17.00 | 2.50 | 1.00 | 2.00 | 0.080 | 0.045 | 0.030 |

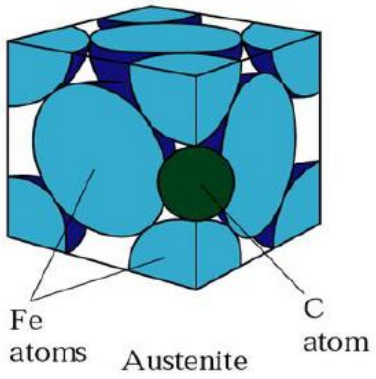
Sumber: (Sulistioso, 2011)

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa baja paduan FeCrNi terdiri dari unsur utama Fe sebanyak 65,345%, kemudian Cr sebanyak 17% yang akan meningkatkan ketahanan besi terhadap korosi dan Ni sebanyak 12% dimana Ni merupakan unsur paduan yang berfungsi untuk meningkatkan kemampuan keras dan sebagai lapisan penghalang yang melindungi permukaan baja. Selain Fe, Cr dan Ni juga terdapat unsur lain dalam baja paduan FeCrNi ini yaitu Mo, Si, Mn, C, P dan S.

**d. Struktur Baja FeCrNi**

Unsur Cr menjadi komponen utama pada baja tahan karat, Cr dapat larut dalam besi memperluas daerah α (ferit). Dalam baja dengan 12 % Cr pada temperature diatas 900 ºC terjadi fasa γ (austenit). Dalam paduan yang nyata, C dan N juga terkandung, jadi fasa γ diperluas kedaerah yang mempunyai Cr lebih tinggi.

Fasa Austenite memiliki struktur atom FCC (*Face Centered Cubic)* (Gambar 1). Dalam keadaan setimbang fasa Austenite ditemukan pada temperatur tinggi. Fasa ini bersifat non magnetik dan ulet (ductile) pada temperatur tinggi. Kelarutan atom karbon di dalam larutan padat Austenite lebih besar jika dibandingkan dengan kelarutan atom karbon pada fase Ferrite.



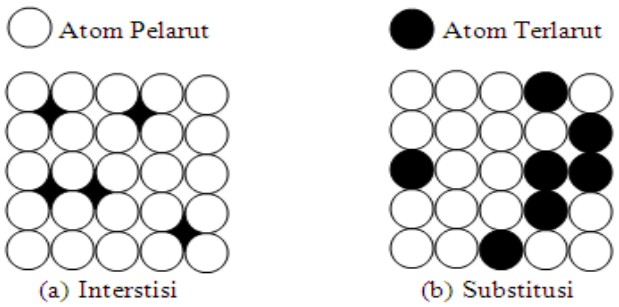

Gambar 1. Struktur atom FeCrNi
Sumber: (Rahmat, 2007)

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa baja FeCrNi merupakan baja yang memiliki struktur FCC. Pada saat dilakukan nitridasi dengan waktu dan temperatur yang telah ditetapkan pada baja FeCrNi ini tidak akan merubah struktur baja FCC hanya saja akan terjadi sedikit penambahan volume pada permukaan baja yang akan meningkatkan nilai kekerasan dan ketahanan korosinya (Bakran, 2011 ).

**B. Difusi Atom**

Difusi atom pada suatu material akan dalam keadaan diam dan stabil tidak bergerak lagi apabila berada pada temperatur 0 K (-273°C). Pada keadaan ini atom akan berada dalam keadaan energi yang terendah di antara atom-atom disekitarnya. Apabila material tersebut dinaikkan temperaturnya maka energinya pun akan meningkat dan menyebabkan atom-atom tersebut akan bergerak atau bergeser sehingga menimbulkan jarak atom yang lebih besar dan memungkinkan atom tersebut

mempunyai energi lebih tinggi dan melompat ke posisi baru. Proses pergerakan atom semacam ini dinamakan difusi.




Gambar 2. Mekanisme difusi atom dalam material (a) interstisi (b) substitusi

Sumber: (Dedi, 2009)

Mekanisme difusi atom melalui kisi berlangsung dengan berbagai cara. Istilah difusi interstisi menggambarkan situasi pergerakan atom yang tidak terletak pada kisi kristal, tetapi menempati posisi interstisi (Gambar 2a). Proses ini terjadi pada paduan interstisi dengan atom migrasi yang sangat kecil (seperti karbon, nitrogen, atau hidrogen dalam besi). Pada kasus ini, proses difusi atom dari posisi interstisi ke interstisi berikutnya dalam kisi sempurna tidak dikendalikan oleh cacat. Sedangkan untuk larutan substitusi diusulkan suatu varian dari tipe difusi ini, atom yang berdifusi untuk sementara menduduki posisi interstisi dan berada dalam kesetimbangan dinamik dengan atom lain dalam posisi substitusi (Gambar 2b). Namun demikian, energi untuk membentuk interstisi seperti ini beberapa kali nilai energi yang diperlukan untuk membentuk kekosongan sehingga mekanisme yang

paling mungkin adalah migrasi kekosongan secara terus-menerus (Smallman dan Bishop, 1999).

Sifat difusifitas untuk masing-masing atom berbeda-beda dengan naiknya temperatur akan menambah energi atom untuk bergetar dan memutuskan ikatan atomnya, sehingga sejumlah kecil atom akan berpindah dalam kisi. Energi yang diperlukan untuk pindahnya sebuah atom dikenal dengan istilah energi aktivasi. Parameter difusi yang utama meliputi temperatur dan waktu. Parameter tersebut akan mempengaruhi persentase, kedalaman maupun profil distribusi konsentrasi atom-atom gas reaktif di dalam material target.

## C. Nitridasi

### 1. Pengertian Nitridasi

Nitridasi adalah proses berdifusinya atom N (nitrogen) pada suatu logam sehingga terbentuk nitrida. Parameter difusi yang utama meliputi suhu dan waktu (Wagiyo, 2010). Nitridasi biasanya dilakukan dengan gas nitrogen ($N_2$) atau gas amoniak ($NH_3$) atau campuran keduanya (Elviyenti, 2010). Proses nitridasi tidak memerlukan perubahan fase, tidak mengubah konfigurasi struktur bahan, tidak ada perubahan ukuran molekul, dan tidak ada perubahan dimensi, hanya ada penambahan sedikit volume yang disebabkan difusi nitrogen pada permukaan bahan (Bakran, 2011).

Dari beberapa pendapat diatas dapat disimpulkan bahwa nitridasi merupakan proses pengerasan permukaan pada suatu logam dengan melibatkan atom nitrogen yang dipengaruhi oleh waktu dan temperatur, pada saat nitridasi terjadi sedikit penambahan volume pada permukaan logam.

**2. Metoda Nitridasi**

Metode nitridasi ini pertama kali digunakan pada tahun 1920-an dan aplikasinya terus berkembang pesat dan selanjutnya proses nitridasi ini terus dikembangkan dan dewasa ini sebagian besar diaplikasikan pada sebagian baja. Kelebihan metoda nitridasi adalah dapat meningkatkan kekerasan permukaan, ketahanan aus, ketahanan korosi, stabilitas dimensi, dan tahan temperatur tinggi. Nitridasi cocok digunakan untuk baja paduan, *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 (Conrad, 2003).

Beberapa metode nitridasi diantaranya:

1) Nitridasi dengan Gas Amoniak

Nitridasi dapat dilakukan dengan gas nitrogen ($N_2$) atau gas amoniak ($NH_3$) atau campuran keduanya yang mengalami proses disosiasi, namun umumnya gas yang digunakan untuk nitridasi adalah gas amoniak ($NH_3$) (Wagiyo, 2010).

Amoniak terdisosiasi berdasarkan Persamaan 1:

$$2NH_3 \rightarrow 2N + 3H_2 \qquad (1)$$

Disosiasi yang terjadi menghasilkan nitrogen dalam bentuk atom yang kemudian akan diserap oleh baja (Wagiyo, 2010). Dalam proses gas nitridasi suhu yang digunakan adalah kisaran 485℃ - 525℃ (Bakran, 2011).

2) Nitridasi plasma/ ion

Nitridasi plasma merupakan cara untuk membuat lapisan tipis nitrida dengan menggunakan lucutan pijar (*glow discharge*) pada tekanan rendah antara $10^{-3}$ – 10 torr. Pada perlakuan permukaan menggunakan plasma lucutan pijar (*glow discharge*), gas-gas seperti $N_2$ dan $NH_3$ diplasmakan/diionkan dalam tabung nitrida plasma. Nitridasi dengan teknik plasma lucutan pijar, umumnya benda uji dipanasi pada temperatur 350°C hingga 650°C untuk memperoleh lapisan gas nitrida yang lebih keras (Bakran, 2011).

3) Nitridasi *Pack Cementit*

Nitridasi *pack cementit* 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 memakai temperatur dengan range 450 °C hingga 750 °C selama beberapa jam (Dedi, 2009).

Nitridasi *pack cementit* adalah sebuah metode baru yang menghasilkan lapisan pada bahan baja dengan suhu tinggi. Ini telah dilakukan dan berhasil dalam dunia industri untuk pelapisan logam (Sari, 2011).

Beberapa kelebihan nitridasi *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.

Nitridasi memiliki beberapa keunggulan diantaranya dalam bidang biomaterial memiliki keuntungan diantaranya, meningkatkan ketahanan korosi, menahan terlepasnya partikel-partikel unsur yang terdapat dalam bahan, dan meningkatkan kekerasan bahan. Namun adapun selain itu syarat yang paling penting yang harus dipenuhi adalah sampel harus tahan korosi terhadap cairan tubuh manusia dimana dalam pengujian ini menggunakan pengganti cairan tersebut dengan cairan tubuh buatan yaitu *simulated body fluid* (SBF) (Bakran, 2011).

Dari uraian diatas dapat diketahui bahwa terdapat beberapa metode nitridasi, yaitu metode nitridasi dengan gas amoniak, nitridasi plasma/ ion dan nitridasi *pack cementit.* Ketiga metode tersebut pada dasarnya sama- sama digunakan untuk membuat lapisan pada permukaan logam, hanya saja terdapat perbedaan pada cara yang digunakan untuk membuat lapisan tersebut. Pada penelitian ini *nitridasi pack*

*cementit* merupakan metoda yang digunakan untuk membuat lapisan tersebut. Proses ini akan menghasilkan lapisan nitrida yang dapat meningkatkan kekerasan pada material dan menurunkan laju korosi.

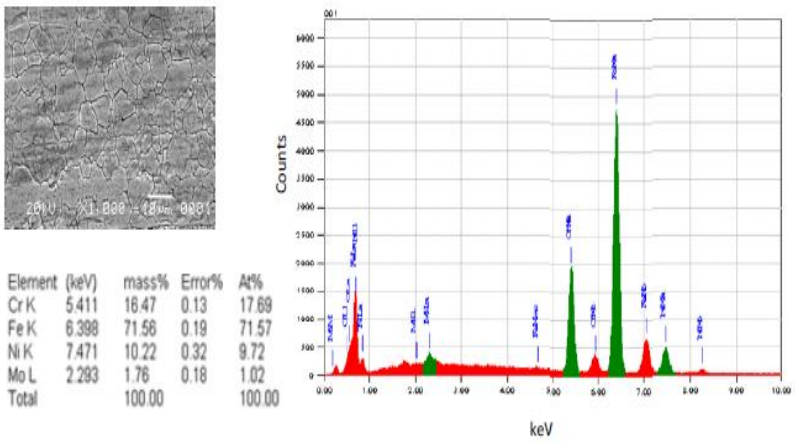
## D. Struktur mikro dan Sifat Fisis Baja FeCrNi

### 1. Struktur mikro dan Komposisi Kimia

Struktur mikro merupakan struktur bahan dalam orde kecil. Struktur mikro tidak dapat dilihat dengan mata telanjang, tetapi dapat dilihat dengan menggunakan alat pengamat struktur mikro, seperti mikroskop optik, mikroskop *elektron*, mikroskop *field ion* dan mikroskop sinar X (Mulyadi dan Eka, 2010). Manfaat pengamatan struktur mikro adalah:

a) Mempelajari hubungan antara sifat- sifat bahan dengan struktur dan cacat pada bahan.
b) Memperkirakan sifat bahan jika hubungan tersebut sudah diketahui.

Komposisi kimia merupakan kandungan internal yang terdapat didalam sampel. Pengamatan struktur mikro dan komposisi kimia sampel dilakukan dengan menggunakan SEM- EDS. Pada Gambar 3 dibawah merupakan contoh struktur mikro dan komposisi kimia dari baja FeCrNi.




Gambar 3. Struktur mikro dan komposisi kimia *stainless Steel*

Sumber : (Leli dkk, 2012)

Dari Gambar 3 dapat dilihat struktur mikro dan komposisi kimia dari *stainless steel.* Dari komposisi unsur diperoleh kandungan Fe 71,56% atom, Cr 17,69% atom, Ni 10,72% atom dan Mo 1,02% atom dan tidak ditemukan adanya unsur nitrogen pada permukaan *stainless steel*. Dari proses nitridasi hasil pengujian difraksi sinar-X menunjukkan bahwa fasa-fasa yang terbentuk adalah $Fe_3N$, CrN dan $Fe_2O_3$ ( Anthonius dkk, 2009).

**2. Korosi**

Korosi merupakan fenomena elektrokimia pada penggunaan bahan logam di berbagai macam kondisi lingkungan. Fenomena ini tentu saja tidak terhindarkan walaupun dapat dihambat dan diharapkan dapat dikendalikan untuk mengurangi dan bahkan mencegah dampak negatifnya. Dalam kehidupan sehari-hari, besi yang teroksidasi disebut dengan karat dengan rumus $Fe_2O_3.nH_2O$. Karena peristiwa korosi

merupakan suatu proses elektrokimia maka metode elektrokimia dapat digunakan untuk mempelajari dan mengukur suatu sistem terkorosi (Andi dkk, 2007).

Korosi merupakan proses dagradasi kualitas/ mutu logam akibat adanya reaksi dengan lingkungan ketika dipakai atau dioperasikan (Prameswari, 2008). Korosi menyebabkan kerusakan fisik suatu material, sehingga akan menyebabkan masalah ketika logam tersebut digunakan sebagai implant dalam tubuh.

Salah satu jenis korosi yang sering terjadi pada material implan adalah korosi lokal. Korosi ini terjadi karena adanya beban mekanik dan penurunan pH. Penurunan pH disebabkan adanya peradangan lokal karena jaringan yang rusak, atau naiknya konsentrasi ossat dan sulfat. Tingkat keasamaan (pH) darah normal terdapat pada rentang 7,35- 7,45 (Agung, 2010). Standar laju korosi untuk aplikasi medis jika mengacu pada standar Eropa yaitu kurang dari 0,457 mpy (Ali, 2007).

Ketahanan korosi ditentukan dengan menggunakan alat uji korosi untuk mengukur intensitas arus korosi ($I_{corr}$) didalam lingkungan berupa cairan tubuh tiruan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Leli dkk pada 2012 didapatkan rapat arus korosi pada stainless steel yaitu 410,38 $\mu A/cm^2$ dan laju korosinya 41,13 mpy.

### 3. Kekerasan

Kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi dan merupakan ukuran ketahanan logam terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen. Untuk para insinyur perancang, kekerasan sering diartikan sebagai ukuran kemudahan dan

kuantitas khusus yang menunjukkan sesuatu mengenai kekuatan dan perlakuan panas dari suatu logam (Dieter, 1987).

Perubahaan nilai kekerasan akibat nitridasi pada suatu logam disebabkan adanya perubahan struktur mikro dan komposisi dari logam tersebut. Dalam proses nitridasi, unsur nitrogen yang ditambahkan dapat merubah struktur mikro dan komposisi dari logam induk sehingga merubah sifat- sifat mekanisnya. Nitrida logam ini mempunyai kekerasan yang tinggi dan struktur mikro yang berbeda dibanding logam induknya. (Suprapto dkk, 2007).

Dalam melaksanakan uji kekerasan vickers, beban haruslah diberikan secara mulus tanpa tumbukan dan dijaga tetap berkontak selama 10 sampai 15 detik. Beban harus tepat hingga lebih baik dari 1 persen, kedua diagonal cetakan diukur dan nilai rata-rata digunakan untuk menghitung HV dengan persamaan 2:

$$HV = \frac{2\,L\sin(\frac{\alpha}{2})}{d^2} = \frac{1{,}8544x\,F}{d^2} \qquad (2)$$

Dengan:

d = diagonal rata-rata

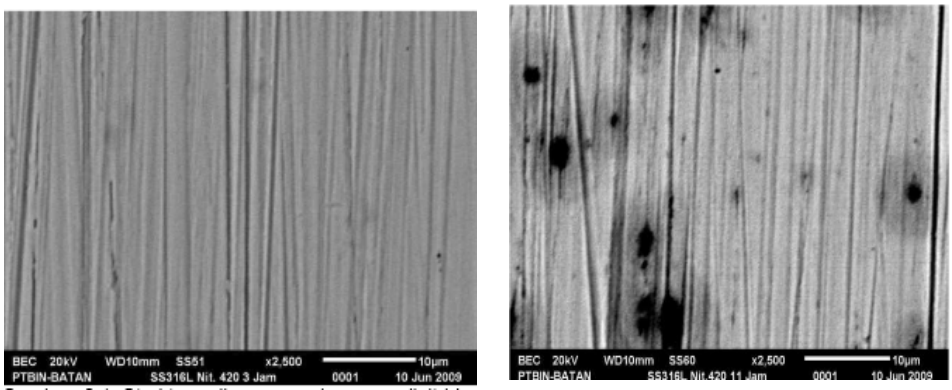
F = beban (kgf)

α = sudut sisi (136°)

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa kekerasan logam merupakan ketahanan terhadap deformasi, juga sebagai ukuran tentang kekuatan dan perlakuan logam. Pada logam yang telah dilakukan nitridasi terdapat peningkatan kekerasan dibandingkan dengan material induknya.

## E. Pengaruh Variasi Waktu Nitridasi Terhadap Struktur Baja FeCrNi

Menguji sampel menggunakan peralatan SEM untuk mengamati struktur mikro sampel dan mengambil data EDS pada beberapa titik untuk mengetahui komposisi kimianya. Variasi waktu yang diberikan mempengaruhi mikrostruktur dan komposisi sampel terutama banyaknya kandungan nitrogen yang terkandung pada sampel yang dilakukan nitridasi. Gambar 4 merupakan bentuk mikrostruktur hasil SEM yang dinitridasi pada temperatur $420^0$C selama 3 jam dan 11 jam.




Gambar 4. Hasil pengamatan mikrostruktur
temperatur$420^0$C selama 3 dan 11 jam
Sumber : Dedi dkk (2009)

Berdasarkan Gambar 4 komposisi atom N yang terdeteksi pada permukaan sekitar 1,33 massa % (3,47 % atom) untuk sampel yang dinitridasi pada temperatur $420^0$C selama 3 jam dan 4,74 % massa (11,93 % atom) selama 11 jam. Menurut Wagiyo (2005) untuk material stainless steels, umumnya akan kurang menguntungkan jika dinitridasi pada waktu lama, karena terjadinya karbida krom atau nitrida krom yang menyebabkan terjadinya defisiensi krom yang semestinya menjadi lapisan lindung dalam bentuk oksida krom.

**F. Pengaruh Variasi Waktu Nitridasi Terhadap Sifat Fisis Baja FeCrNi**

Pengaruh variasi waktu nitridasi terhadap baja FeCrNi telah pernah dilakukan oleh Sari pada tahun 2011, dimana dilakukan variasi waktu selama 3 jam, 5 jam, 8 jam dan 11 jam dengan temperatur $525^0$C. Dari penelitian yang dilkukan didapatkan hubungan antara variasi waktu terhadap struktur mikro, kekerasan serta laju korosi sampel.

Menurut Setiawan (2005), perbedaan ketahanan korosi pada sampel yang sebelum dan sesudah nitridasi dengan variasi waktu, sangat terkait dengan fasa- fasa yang hadir pada saat nitridasi yang berfungsi sebagai lapisan lindung pada permukaan sampel. Terbentuknya fasa S pada pada lapisan nitrida pada sampel dapat meningkatkan ketahanan korosi, penurunan ketahanna korosi umumnya disebabkan oleh terbentuknya fasa nitrida crom yang memiliki sifat keras.

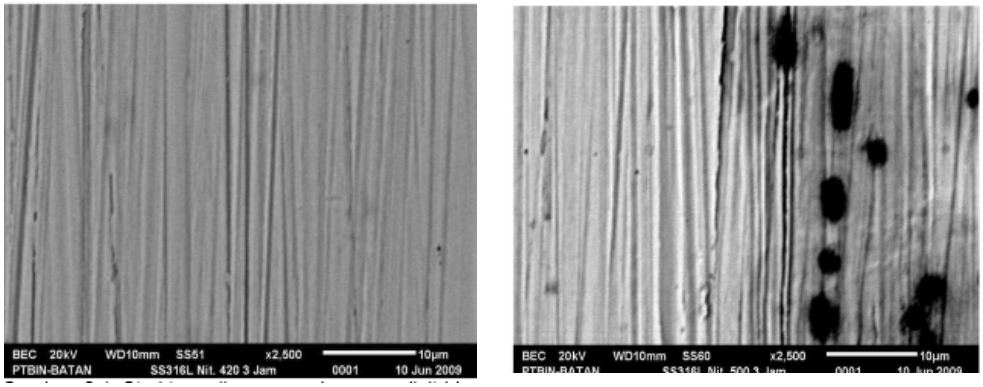
Dari hasil pengujian kekerasan sampel yang dinitridasi selama 8 jam dengan temperatur $525^0$C mempunyai nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan

yang lainny yaitu sebesar 183,868 kg/mm$^2$. Hal ini disebabkan karena pada saat nitridasi terjadi difusi nitrogen sehingga terbentuk lapisan nitrida, lapisan nitrida dapat meningkatkan kekerasan sampel.

## G. Pengaruh Variasi Temperatur Nitridasi Terhadap Struktur Baja FeCrNi

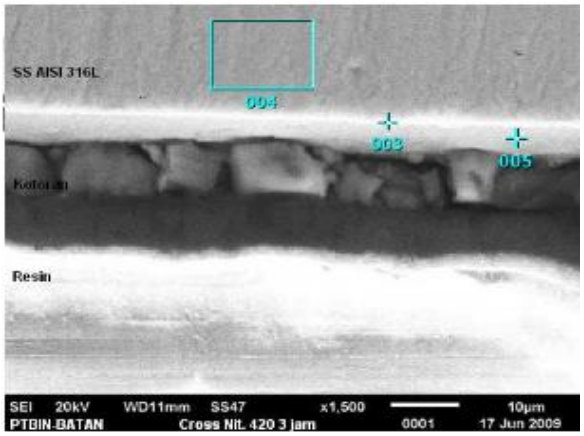
Menguji sampel menggunakan peralatan SEM untuk mengamati struktur mikro sampel dan mengambil data EDS pada beberapa titik untuk mengetahui komposisi kimianya. Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan oleh Dedi dkk (2009), nitridasi antara temperatur $400^0$C – $500^0$C umumnya efektif menghasilkan lapisan- lapisan nitrida. Jika dilihat dengan menggunakan mikroskop optik lapisan nitride tersebut semakin menebal. Menurut Oliviera (2003) dalam jurnal Dedi dkk (2009) dengan meningkatnya temperature nitridasi, lapisan nitrida yang dilihat dari penampang lintangnya menggunakan SEM akan tampak sebagai lapisan bewarna gelap yang mengindikasikan terbentuknya lapisan endap.

Hasil pengamatan struktur mikro selama 3 jam dengan menggunakan temperatur $420^0$C dan $500^0$C dapat dilihat pada Gambar 5.




Gambar 5. Hasil pengamatan mikrostruktur selama 3 jam
dengan temperatur $420^0$C dan $500^0$C
Sumber : Dedi dkk (2009)

Berdasarkan Gambar 5 komposisi atom N yang terdeteksi pada permukaan sekitar 1,33 massa % (3,47 % atom) untuk sampel yang dinitridasi pada temperatur $420^0$C selama 3 jam dan sekitar 1,78% massa (4,25 % atom) untuk sampel yang dinitridasi pada temperatur $500^0$C selama 3 jam. Komposisi ini tentunya sangat sedikit dibandingkan harapan untuk pembentukan fasa-S yang tahan korosi. Rendahnya komposisi nitrogen yang terdeteksi pada data EDS yang dilihat dari penampang lintang (Gambar 6) bisa disebabkan oleh faktor alat, tipisnya lapisan nitrida, atau tingginya tegangan yang digunakan pada SEM (20 kV) sehingga mengenai sebagian besar material induk, sehingga unsur yang terdeteksi pada permukaan sedikit.




Gambar 6. Mikrostruktur penampang lintang
Sumber: Dedi (2009)

Dari Gambar 6 dapat dilihat lapisan yang nitrida yang terbentuk dari hasil nitridasi. Umumnya lapisan ini efektif terbentuk pada temperatur $400^0$C- $500^0$C sesuai dengan pendapat Linda (2006).

## H. Pengaruh Variasi Temperatur Nitridasi Terhadap Sifat Fisis Baja FeCrNi

Proses nitridasi ini menggunakan variasi temperatur pemanasan $400^0$C, $450^0$C, dan $500^0$C dengan waktu penahanan spesimen dalam larutan garam kalium nitrat selama 8 jam telah pernah dilakukan oleh Umardhani (2010) . Adapun hasil dari proses nitridasi setelah dietsa dalam larutan garam HCL selama 60 menit, mampu meningkatkan nilai kekerasan baja ST 40 dari baja non-perlakuan nitridasi (raw material) sebesar 150.03 HV menjadi 154.8 HV untuk proses nitridasi T=

$400^0$C, 153.8 HV untuk nitridasi T = $450^0$C, dan 158.75 HV untuk nitridasi T = $500^0$C.

Untuk hasil pengamatan foto mikroskop pada struktur mikro baja ST 40 setelah dinitridasi, memperlihatkan kenaikan jumlah butiran fasa perlit pada permukaan spesimen, dimana semakin tinggi temperatur pemanasannya maka semakin banyak butiran perlit yang terbentuk, hal ini juga berbanding lurus dengan kedalaman difusi yang terbentuk.

Untuk melihat pengaruh temperatur nitridasi terhadap laju korosi mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Wagiyo (2010), dimana hasil uji korosi material implan SS316L menunjukan peningkatan ketahanan korosi sebesar 16 kali dari laju korosi 0,1358 mpy untuk sampel yang tidak dinitridasi menjadi 0,0082 mpy untuk sampel yang dinitridasi pada suhu $420^0$C selama 3 jam.

## I. Cara Kerja Alat Karakterisasi

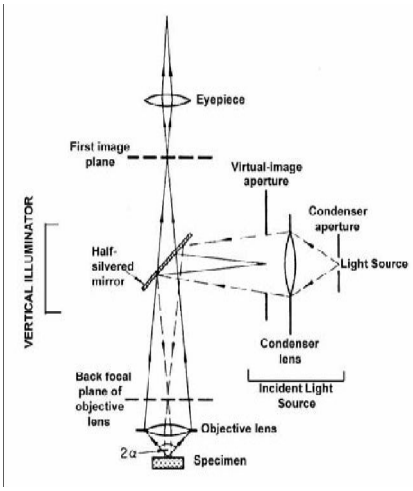
### 1. Mikrostruktur dan Komposisi Kimia dengan Mikroskop Optik dan SEM-EDS

Mikroskop adalah suatu alat yang digunakan untuk mempelajari rincian dari suatu objek baik bentuk maupun strukturnya yang dengan mata tidak mampu diamati. Mikroskop optik sangat bermanfaat dalam pengamatan struktur mikro suatu bahan. Walaupun perkembangan mikroskop elektron telah sedemikian maju, bukan berarti menggantikan peranan mikroskop optik tapi untuk saling melengkapi.

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 pencahayaan mikroskop optik. Prinsip kerja mikroskop optik dapat dijelaskan mengikuti Gambar 7.

.




Gambar 7. Skema dan pencahayaan mikroskop optik

Sumber : (Ari dkk, 2009)

Suatu benda (sampel) yang akan diamati, diletakkan pada tempanya 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, 2009).

Untuk melihat dan menyimpan data atau citra dari sampel yang diamati maka mikroskop optik dilengkapi dengan kamera dan komputer terlihat pada Gambar 8.

Gambar 8. Mikroskop Optik

Sumber (Ari dkk, 2009)

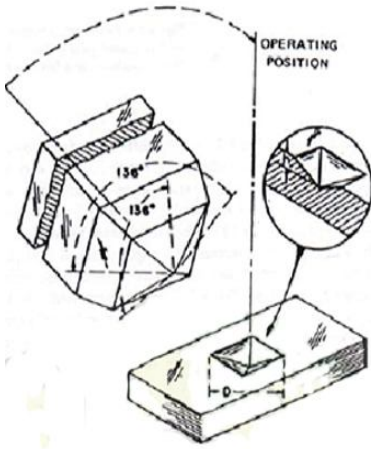
Gambar 8 menunjukkan mikroskop optik yang dilengkapi dengan kamera dan komputer yang dilengkapi dengan program (software) *Clemex*. Dengan program ini dapat dilakukan berbagai hal seperti metalografi kuantitatif untuk menghitung distribusi fasa, besar butir dan lain-lain Citra dari sampel metalografi 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 pengolah gambar.

Pengamatan mikrostruktur juga dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) sekaligus untuk melihat komposisi dari sampel. SEM adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang dapat mengamati dan menganalisis karakteristik strukturmikro dari bahan padat yang konduktif maupun yang nonkonduktif, yang sistim pencahayaannya menggunakan radiasi elektron yang mempunyai $\lambda$ = 200 – 0,1 Å, daya pisah (resolusi) yang tinggi sekitar 5 nm sehingga dapat dicapai perbesaran hingga ± 100.000 kali dan menghasilkan gambar/citra yang tampak seperti 3 dimensi (Ari dkk, 2009).

Pada prinsipnya mikroskop elektron dapat mengamati morfologi, struktur-mikro, komposisi dan distribusi unsur. Untuk menentukan komposisi unsur secara kualitatif dan kuantitatif perlu dirangkaikan satu perangkat alat EDS (*Energy Dispersive X-ray Spectrometer*) atau WDS (*Wavelength Dispersive X-ray Spectrometer*).

**2. Kekerasan dengan Vickers Hardness Tess**

Pada tahun 1925, Smith dan Sandland memperkenalkan penggunaan alat indentor berbentuk piramid (Gambar 9) yang terbuat dari intan untuk pengujian kekerasaan logam dengan menggunakan metoda Vickers.




Gambar 9. Skema alat uji vikcers
Sumber: (Studi Korosi Titanium (ASTM B 337 Gr-2) Dalam Larutan ABP (*Artificial Blood Plasma)* Pada Kondisi Dinamis Dengan Teknik Polarisasi Potensiodinamik Dan Teknik *Exposure*, skripsi Muhamad Yazdi Ali, 2007)

Dipilih piramida dengan alas bujursangkar dengan sudut 136° antara sisi-sisi yang berhadapan untuk memperoleh angka kekerasan yang besarnya serupa dengan angka Brinell .ratio d/D ideal untuk alat indentor bola adalah 0,375. Garis-garis singgung ditarik ke bola pada tepi-tepi cetakan tertentu dibawah titik pusat cetakan pada sudut 136°. Alat indentor piramida dengan alas bujur sangkar dengan sudut 136° antara sisi-sisi yang berhadapan akan menghasilkan nilai kekerasan vikers (HV) yang kira-kira sama dengan nilai HB atas tentang test Brinell.

Kelebihan yang menonjol dari test kekerasan piramida intan Vickers adalah bahwa digunakan satu skala kontinu untuk mengetest semua bahan terlepas dari kekerasannya. Karena dibentuk cetakan yang serupa secara geometrik, terlepas dari beban yang diberikan, nilai HV cukup konstan atas rentang beban yang biasa diberikan (kecuali untuk beban yang sangat rendah pada pengujian kekerasan mikro), asalka beban homogen.

**3. Korosi dengan Potensiostat/ Galvanostat**

Potensiostat merupakan alat elektronik yang mengatur perbedaan potensial antara elektroda kerja dan elektroda pembanding. Kedua elektroda tersebut terdapat dalam sel elektrokimia. Alat potensiostat ini diatur dengan memasukan arus ke dalam sel melalui elektroda pembantu. Hampir dalam semua penerapanny, potensiostat mengukur aliran arus antara elektroda kerja dan elektroda pembantu. Variabel yang diatur dalam potensiostat adalah potensial sel dan varibel yang diukur adalah arus sel (Hezti, 2011).

Potensiostat terdiri dari tiga elektroda utama, yaitu:

a) Elektroda kerja (*working electrode*)

Sebutan untuk elektroda kerja diberikan pada elektroda (sebagai anoda) yang berperan sebagai benda uji yang dicelupkan ke dalam medium sel korosi.

b) Elektroda pembantu (*counter/auxiliary electrode)*

Sebutan ini diberikan pada elektroda (sebagai katoda) yang dimaksudkan khusus untuk mengangkut arus dalam rangkaian yang timbul sebagai akibat dari reaksi korosi. Elektroda ini tidak diperlukan untuk pengukuran potensial. Elektroda ini biasanya terbuat dari batang karbon, tapi bahan lain pun boleh asalkan tidak menimbulkan kontaminasi ion-ion ke dalam elektrolit.

c) Elektroda acuan (*reference electrode*)

Elektroda ini dipasang pada jembatan garam (*salt bridge*) dan berjarak sedekat mungkin dengan elektroda kerja. Elektroda ini dimaksudkan sebagai titik dasar untuk mengacukan pengukuran-pengukuran potensial elektroda kerja serta potensiostat sebagai sumber potensial elektrokimia yang diberikan pada elektroda kerja. Arus yang mengalir melalui elektroda ini harus sekecil-kecilnya sehingga dapat diabaikan. Bila tidak demikian, elektroda ini akan ikut dalam reaksi sel dan potensialnya tidak lagi konstan. Oleh karena itulah elektroda pembantu dibutuhkan. Sejauh ini, alektroda acuan yang paling praktis adalah elektroda kolomel jenuh (SCE). Untuk menghubungkan antara elektroda acuan dan elektroda kerja digunakan jembatan berisi elektrolit berkehantaran tinggi, yaitu garam kalium klorida (KCl) jenuh yang menghubungkan secara ionic antara elektroda acuan dan elektroda kerja agar pengukuran potensial elektroda kerja dapat berlangsung dengan baik.

# BAB V

# PENUTUP

## A. Kesimpulan

Telah dilakukan penelitian terhadap baja FeCrNi dengan variasi waktu 3, 5 dan 7 jam serta variasi temperatur $450^0$C, $500^0$C dan $550^0$C. Berdasarkan hasil penelitian tersebut didapatkan kesimpulan, yaitu:

1. Dari variasi waktu yang diberikan selama proses nitridasi terlihat adanya pengaruh struktur baja FeCrNi. Dimana semakin lama waktu nitridasi yang diberikan menyebabkan lapisan nitridasi yang terbentuk pada baja FeCrNi juga semakin tebal.
2. Variasi waktu yang diberikan ikut mempengaruhi sifat fisis dari baja FeCrNi, dimana semakin lama waktu nitridasinya semakin tinggi kekerasan yang dihasilkan. Nilai laju korosi paling rendah terjadi pada temperatur $500^0$C selama 5 jam dan nilai laju korosi paling tinggi pada temperatur $550^0$C selama 7 jam.
3. Dari variasi temperatur yang diberikan selama proses nitridasi terlihat adanya pengaruh struktur baja FeCrNi. Dimana semakin temperatur nitridasi yang diberikan menyebabkan lapisan nitridasi yang terbentuk pada baja FeCrNi juga semakin tebal.

4. Variasi temperatur yang diberikan ikut mempengaruhi sifat fisis dari baja FeCrNi, dimana semakin tinggi temperatur nitridasinya semakin tinggi kekerasan yang dihasilkan. Nilai laju korosi paling rendah terjadi pada temperatur $500^0$C selama 5 jam dan nilai laju korosi paling tinggi pada temperatur $550^0$C selama 7 jam.

**B. Saran**

1. Untuk penelitian selanjutnya disrankan agar nitridasi dilakukan pada waktu dan temperatur lain.
2. Pada saat melakukan uji korosi, cairan SBF yang dgunakan sebaiknya diganti setiap pergantian pengujian sampel.