

**PENGARUH TEKANAN GAS NITROGEN
PROSES *NITRIDING* DALAM *FLUIDIZED BED*
TERHADAP KETAHANAN AUS
BAJA PADUAN RENDAH**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun Oleh :

LUKY FERIHARDIANTO

NIM. 0410622017-62

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN MESIN

MALANG

2007

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH TEKANAN GAS NITROGEN
PROSES *NITRIDING* DALAM *FLUIDIZED BED*
TERHADAP KETAHANAN AUS
BAJA PADUAN RENDAH**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun oleh :

LUKY FERIHARDIANTO

NIM. 0410622017-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Winarno Yahdi Atmodjo, MT.

NIP. 131 280 655

Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc.

NIP. 132 048 453

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH TEKANAN GAS NITROGEN
PROSES NITRIDING DALAM FLUIDIZED BED
TERHADAP KETAHANAN AUS
BAJA PADUAN RENDAH**

Disusun oleh :

**LUKY FERIHARDIANTO
NIM. 0410622017-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus
pada tanggal 25 Januari 2007

Dosen Penguji

Skripsi I

Skripsi II

Ir. Handono Sasmito, MEng.Sc.
NIP. 130 818 811

Ir. Wardi Kasim, MT.
NIP. 130 531 844

Komprehensif

Ir. Sentanu
NIP. 130 518 937

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ir. Bambang Indrayadi, MT.
NIP. 131 653 469

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Puji syukur Penulis panjatkan ke hadirat Allah Swt. Berkat rahmat serta hidayah-Nya juga Penulis dapat menyelesaikan penulisan Skripsi ini. Sholawat serta salam, semoga tetap dilimpahkan oleh Allah Swt kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad Saw, beserta segenap keluarga dan sahabatnya. Beliau telah mewariskan ilmunya sampai ke generasi penulis sekarang ini bahkan insya Allah sampai ke generasi mendatang.

Penulisan Skripsi yang berjudul "**Pengaruh Tekanan Gas Nitrogen Proses Nitriding dalam Fluidized Bed Terhadap Ketahanan Aus Baja Paduan Rendah**" dimaksudkan untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Terselesainya penulisan Skripsi ini tidak terlepas dari usaha, bantuan, bimbingan, dan motivasi dari berbagai pihak. Untuk itu sepantasnya pada kesempatan kali ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tulus kepada :

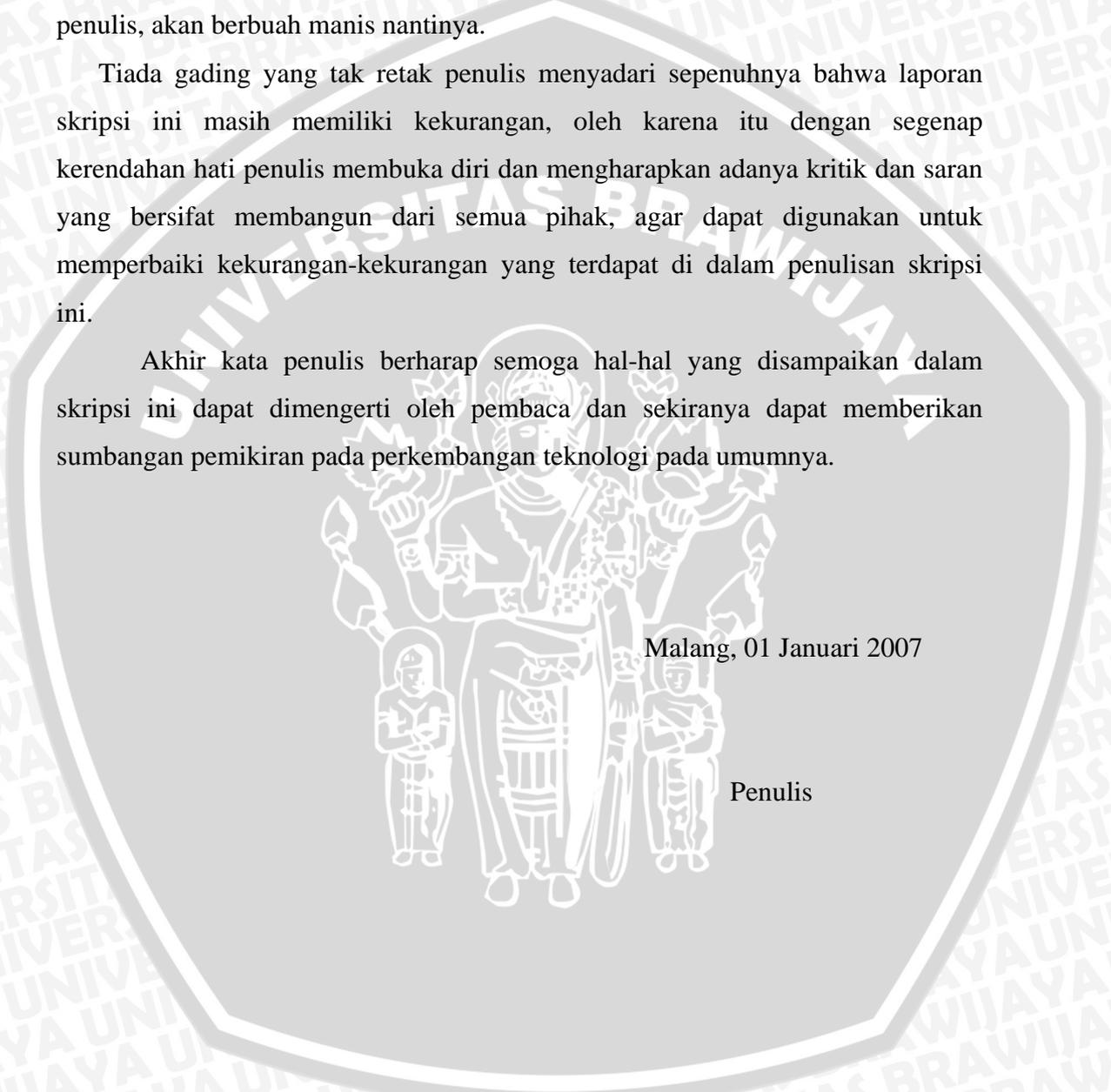
1. Ir. Bambang Indrayadi, M.T, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Ir. Djoko Sutikno, M. Eng, selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Ir. Djarot B Darmadji, MT selaku Ketua Kelompok Dosen Konsentrasi Teknik Produksi.
4. Ir. Winarno Yahdi Atmodjo, MT, selaku pembimbing I, yang penuh dengan kesabaran telah membantu dan membimbing dalam penyelesaian Skripsi ini.
5. Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc, selaku pembimbing II, yang banyak memberikan pengarahan, petunjuk, dan tuntunan yang sangat berharga kepada Penulis.
6. Ir. Samsudin, selaku Penanggung Jawab Pengujian Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada yang memberikan fasilitas di Lab. Material pada Penulis untuk menyelesaikan penelitian ini.
7. Keluarga tercinta yang banyak memberikan pengorbanan baik berupa moril maupun spirituil demi terciptanya cita-cita Penulis dalam menuntut ilmu.

8. Rekan-rekan mahasiswa SAP Mesin angkatan 2004 yang ikut memberikan semangat, dukungan dan bantuannya selama mengerjakan Skripsi ini.

Terima kasih juga Penulis sampaikan kepada berbagai pihak yang menunjang terselesainya penulisan Skripsi ini, baik secara langsung maupun tidak langsung. Semoga semua bantuan, doa dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis, akan berbuah manis nantinya.

Tiada gading yang tak retak penulis menyadari sepenuhnya bahwa laporan skripsi ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu dengan segenap kerendahan hati penulis membuka diri dan mengharapkan adanya kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak, agar dapat digunakan untuk memperbaiki kekurangan-kekurangan yang terdapat di dalam penulisan skripsi ini.

Akhir kata penulis berharap semoga hal-hal yang disampaikan dalam skripsi ini dapat dimengerti oleh pembaca dan sekiranya dapat memberikan sumbangan pemikiran pada perkembangan teknologi pada umumnya.



Malang, 01 Januari 2007

Penulis

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|----------------|
| LEMBAR PERSETUJUAN | i |
| LEMBAR PENGESAHAN | ii |
| KATA PENGANTAR | iii |
| DAFTAR ISI | v |
| DAFTAR TABEL | viii |
| DAFTAR GAMBAR | ix |
| DAFTAR LAMPIRAN | x |
| DAFTAR SIMBOL | xi |
| RINGKASAN | xii |
| | |
| BAB I. PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 3 |
| | |
| BAB II. TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1 Penelitian Sebelumnya | 4 |
| 2.2 Dapur <i>Fluidized Bed</i> | 4 |
| 2.3 <i>Nitriding</i> | 6 |
| 2.3.1 <i>Gas Nitriding</i> | 8 |
| 2.3.2 <i>Pack Nitriding</i> | 8 |
| 2.3.3 <i>Plasma Nitriding</i> | 8 |
| 2.4 Difusi | |
| 2.4.1 Difusi Substitusi | 9 |
| 2.4.2 Difusi Intersisi | 10 |
| 2.4.3 Parameter Difusi | 10 |
| 2.4.4 Pengaruh Tekanan terhadap Difusi | 11 |



| | |
|---|----|
| 2.5 Baja Paduan (<i>Alloy Steel</i>)..... | 12 |
| 2.6 Ketahanan Aus | 12 |
| 2.6.1 Jenis Keausan | 13 |
| 2.6.2 Macam-macam Uji Ketahanan Aus | 16 |
| 2.6.3 Metode Ogoshi | 18 |
| 2.7 Hipotesa | 20 |

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

| | |
|--|----|
| 3.1 Metode Penelitian | 21 |
| 3.2 Tempat Penelitian | 21 |
| 3.3 Variabel Penelitian | 21 |
| 3.4 Alat dan Bahan yang Digunakan | 22 |
| 3.4.1 Alat yang Digunakan | 22 |
| 3.4.2 Bahan yang Digunakan..... | 23 |
| 3.5 Prosedur Penelitian..... | 23 |
| 3.6 Pengujian Ketahanan Aus Hasil <i>Nitriding</i> | 25 |
| 3.7 Rancangan Penelitian | |
| 3.7.1 Analisa Statistik | 27 |
| 3.7.2 Analisa Regresi | 30 |
| 3.8. Diagram Alir Penelitian | 31 |

BAB IV. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

| | |
|---|----|
| 4.1 Data Hasil Pengujian..... | 32 |
| 4.1.1 Hasil Pengujian Ketahanan Aus..... | 32 |
| 4.1.2 Hasil Pengujian Kandungan Nitrad..... | 33 |
| 4.2 Analisa Varian Laju Keausan Baja Paduan Rendah | 34 |
| 4.3 Analisa Regresi | 38 |
| 4.4 Analisa Grafik | 39 |
| 4.4.1 Grafik Hubungan Kandungan Nitrad dan Tekanan gas N ₂ | 39 |
| 4.4.2 Grafik Hubungan Laju keausan dan Tekanan gas N ₂ | 40 |

BAB V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan 42

5.2 Saran..... 42

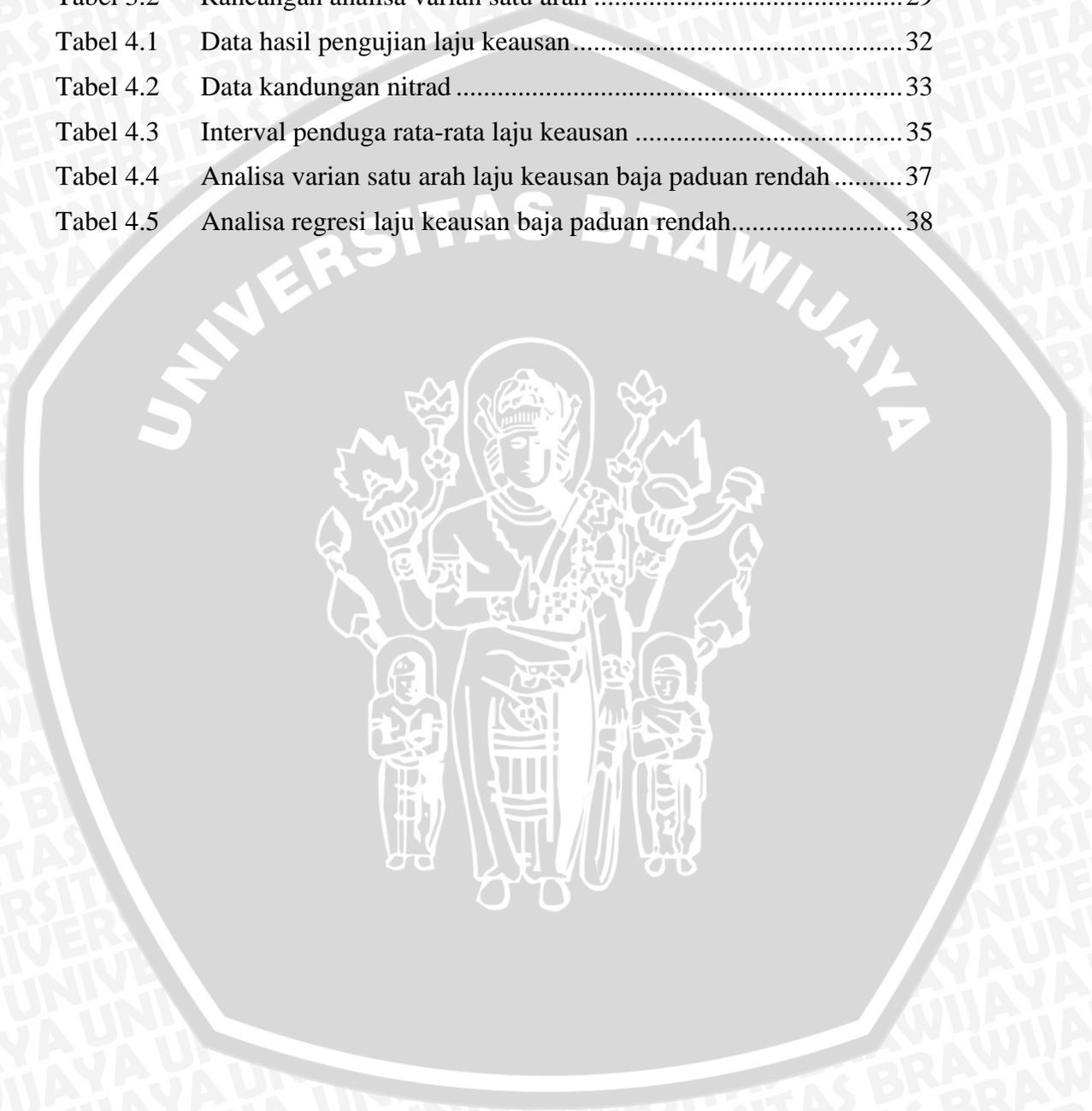
DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

| No. | Judul | Halaman |
|------------|---|----------------|
| Tabel 3.1 | Data pengujian laju keausan | 27 |
| Tabel 3.2 | Rancangan analisa varian satu arah | 29 |
| Tabel 4.1 | Data hasil pengujian laju keausan..... | 32 |
| Tabel 4.2 | Data kandungan nitrad | 33 |
| Tabel 4.3 | Interval penduga rata-rata laju keausan | 35 |
| Tabel 4.4 | Analisa varian satu arah laju keausan baja paduan rendah..... | 37 |
| Tabel 4.5 | Analisa regresi laju keausan baja paduan rendah..... | 38 |

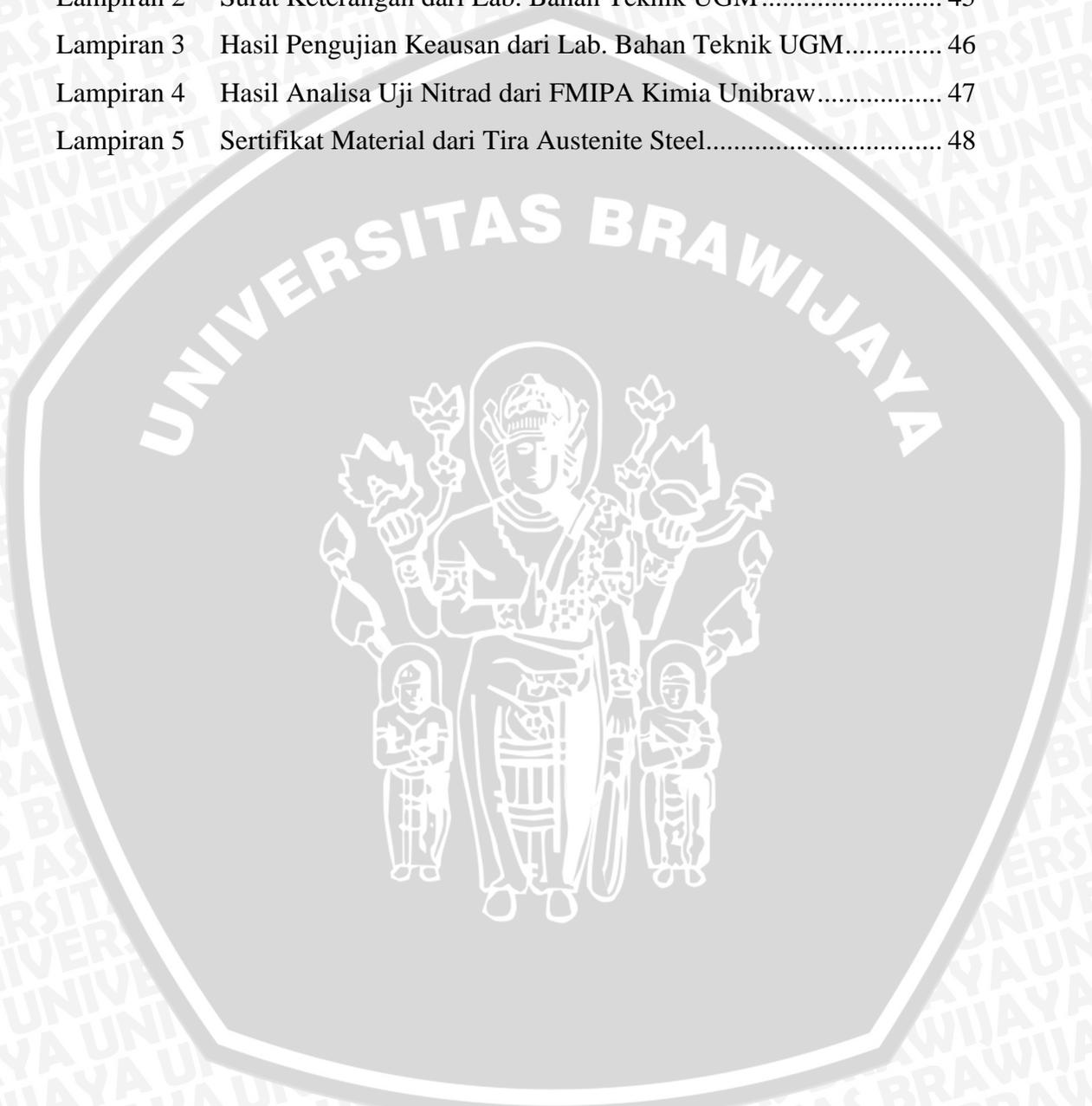


DAFTAR GAMBAR

| No. | Judul | Halaman |
|-------------|---|---------|
| Gambar 1.1 | Grafik perbandingan <i>heat transfer</i> antara <i>fluidized bed</i> dengan <i>conventional furnace</i> | 2 |
| Gambar 2.1 | Dapur pemanas <i>fluidized bed</i> | 5 |
| Gambar 2.2 | Perbandingan dapur pemanas..... | 6 |
| Gambar 2.3 | Proses difusi nitrogen pada permukaan logam..... | 7 |
| Gambar 2.4 | Pengaruh unsur paduan proses <i>nitriding</i> | 7 |
| Gambar 2.5 | Terjadinya proses difusi substitusi..... | 9 |
| Gambar 2.6 | Terjadinya proses difusi intersisi..... | 10 |
| Gambar 2.7 | Keausan <i>adhesive</i> | 13 |
| Gambar 2.8 | Keausan <i>abrasive</i> | 14 |
| Gambar 2.9 | Keausan <i>fatigue</i> | 14 |
| Gambar 2.10 | Keausan <i>fretting</i> | 15 |
| Gambar 2.11 | Keausan <i>corrosive</i> | 15 |
| Gambar 2.12 | Keausan <i>erosive</i> | 16 |
| Gambar 2.13 | Macam-macam uji ketahanan aus | 18 |
| Gambar 2.14 | Skema uji ketahanan aus | 19 |
| Gambar 3.1 | Dapur pemanas <i>fluidized bed</i> | 22 |
| Gambar 3.2 | Skema dapur pemanas <i>fluidized bed</i> | 23 |
| Gambar 3.3 | Bentuk dan ukuran benda uji..... | 23 |
| Gambar 3.4 | Indikator temperatur..... | 24 |
| Gambar 3.5 | Tabung dapur pemanas <i>fluidized bed</i> | 24 |
| Gambar 3.6 | Mesin uji ketahanan aus | 25 |
| Gambar 3.7 | Mikroskop pengukur jejak | 26 |
| Gambar 4.1 | Grafik hubungan kandungan nitrida dan tekanan pada baja paduan | 39 |
| Gambar 4.2 | Grafik hubungan laju keausan dan tekanan pada baja paduan | 40 |

DAFTAR LAMPIRAN

| No. | Judul | Halaman |
|------------|---|---------|
| Lampiran 1 | Tabel F untuk $\alpha = 5\%$ | 44 |
| Lampiran 2 | Surat Keterangan dari Lab. Bahan Teknik UGM..... | 45 |
| Lampiran 3 | Hasil Pengujian Keausan dari Lab. Bahan Teknik UGM..... | 46 |
| Lampiran 4 | Hasil Analisa Uji Nitrad dari FMIPA Kimia Unibraw..... | 47 |
| Lampiran 5 | Sertifikat Material dari Tira Austenite Steel..... | 48 |



DAFTAR SIMBOL

| | | |
|-----------|---|---|
| B | = | Tebal piringan pengaus (mm) |
| b | = | Lebar jejak keausan (mm) |
| D | = | Koefisien difusi / <i>diffusivity</i> ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) |
| Do | = | Konstanta kesetimbangan difusi ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) |
| D (2r) | = | Diameter piringan pengaus (mm) |
| e | = | Exponensial |
| FK | = | Faktor Koreksi |
| h | = | Kedalaman jejak keausan (mm) |
| J | = | Fluks atom ($\text{atom} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) |
| JKG | = | Jumlah kuadrat Galat |
| JSP | = | Jumlah Seluruh Perlakuan |
| JKP | = | Jumlah Kuadrat Perlakuan |
| JKSP | = | Jumlah Kuadrat Seluruh Perlakuan |
| JKT | = | Jumlah Kuadrat Total |
| k | = | Konstanta keseimbangan ($\text{m}^3 \text{ gas STP} \cdot \text{m}^{-3} \text{ solid atm}$) |
| KTG | = | Kuadrat Tengah Galat |
| KTP | = | Kuadrat Tengah Perlakuan |
| Lo | = | Jarak pengausan (m) |
| P | = | Beban (Kg) |
| P_{dif} | = | Tekanan difusi gas (atm) |
| Q | = | Energi aktivasi ($\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$) |
| R | = | Konstanta gas ($8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}$) |
| T | = | Temperatur ($^{\circ} \text{K}$) |
| V | = | Volume Keausan (mm^3) |
| W | = | Laju Keausan ($\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-1}$) |
| x | = | jarak difusi (m) |

RINGKASAN

Luky Ferihardianto, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2007, Pengaruh Tekanan Gas Nitrogen Proses Nitriding Dalam Fluidized Bed Terhadap Ketahanan Aus Baja Paduan Rendah, Dosen Pembimbing: Ir. Winarno Yahdi Atmodjo, MT dan Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc.

Suatu perlakuan (*treatment*) yang diterapkan pada logam tidak lepas dari tujuan dan aplikasi yang ingin dicapai oleh perancang. Ketahanan aus merupakan salah satu sifat mekanis dari logam yang sangat berpengaruh terhadap umur (*life time*) komponen permesinan yang bergesekan.

Salah satu metode yang dipilih untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan perlakuan panas permukaan (*heat surface treatment*) secara *thermochemical* yaitu proses *nitriding*. *Nitriding* sangat cocok diterapkan pada baja paduan yang mengandung unsur pembentuk nitrida (*nitride forming element*). Dalam penelitian ini dipilih baja paduan rendah AISI 4140 (ASSAB 709) karena sering digunakan pada komponen permesinan dan mudah didapat dipasaran.

Pada penelitian ini proses *nitriding* dilakukan pada dapur pemanas *fluidized bed* yang didalamnya terdapat media partikel padat yang bergerak menyerupai fluida cair. Dilakukan lima variasi tekanan gas N₂ untuk mengetahui pengaruh laju keausan pada baja paduan rendah.

Hasil proses *nitriding* pada baja paduan rendah menunjukkan bahwa Laju keausan semakin menurun dengan adanya peningkatan tekanan gas N₂ dengan variasi tekanan mulai 0.5 sampai dengan 2.5 *bar gauge*. Laju keausan tertinggi sebesar $0.02209 \times 10^{-2} \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-1}$ pada tekanan 0.5 *bar gauge*. Sedangkan laju keausan terendah sebesar $0.01622 \times 10^{-2} \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-1}$ pada tekanan 2.5 *bar gauge*.

Kata kunci : *nitriding*, *fluidized bed*, tekanan gas, ketahanan aus, baja paduan rendah





BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

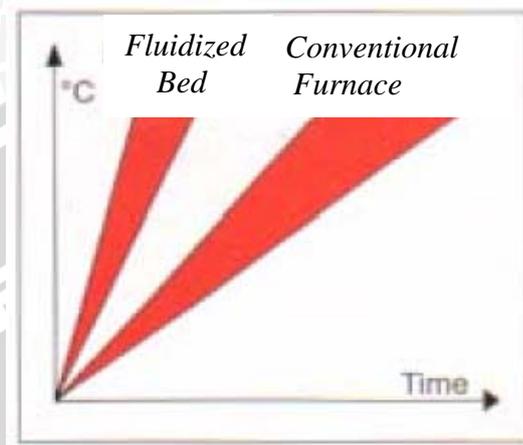
Dalam konstruksi permesinan salah satu faktor penting dalam mempertahankan umur (*life time*) dari suatu komponen adalah ketahanan aus. Keausan merupakan hilangnya bagian material yang terjadi karena adanya kontak dari dua material atau lebih yang saling bergesekan dan biasanya terjadi pada waktu yang cukup lama dan berlangsung secara terus menerus (Bhushan, 2.2). Oleh karena itu agar kinerja dari suatu komponen bisa dipertahankan pada waktu yang cukup lama maka perancang harus melakukan pemilihan material yang tepat dan melakukan proses pengerasan permukaan yang sesuai.

Dalam penelitian ini dipilih baja paduan rendah AISI 4140 (ASSAB 709) yang merupakan salah satu bahan logam yang banyak digunakan pada industri manufaktur, konstruksi permesinan maupun peralatan produksi seperti roda gigi, poros, cetakan ekstruksi, dies dan lain-lain. Selain itu juga memiliki sifat mampu bentuk yang baik sehingga mudah dalam proses permesinan (*machinability*). Tetapi baja paduan ini selama penggunaannya sering mengalami gesekan dan pembebanan yang besar sehingga diperlukan perbaikan kualitas pada permukaan.

Upaya yang sering dilakukan dalam memperbaiki kualitas permukaan logam adalah dengan melakukan perlakuan panas secara mekanik maupun kimia dengan menggunakan dapur pemanas konvensional. Namun pada metode tersebut masih ditemukan beberapa kerugian-kerugian di antaranya adalah mahalnya biaya produksi dan hasil perlakuan panas yang kurang memuaskan seperti tidak meratanya kekerasan pada logam.

Melihat permasalahan tersebut perlu dilakukan perbaikan metode perlakuan panas secara inovatif yaitu perlakuan panas dengan proses *nitriding* dalam dapur pemanas *fluidized bed*. *External Resistance Heated – Fluidized Bed* merupakan dapur pemanas yang sering digunakan untuk proses *thermochemical treatment*. Konstruksi dari *External Resistance Heated – Fluidized Bed* berisi partikel padat seperti alumina, silikon karbida atau pasir silika yang bergerak menyerupai aliran fluida cair (fluidisasi) karena adanya tekanan antara gas dengan partikel pada sehingga distribusi panas pada permukaan benda kerja lebih merata. Berdasarkan

penelitian yang dilakukan oleh Reynoldson R.W. bahwa penggunaan dapur pemanas *fluidized bed* dapat meningkatkan kualitas produk dan mengurangi biaya produksi, dimana pengurangan tersebut berasal dari waktu proses yang lebih pendek (*short cycle time*).



Gambar 1.1 Grafik perbandingan *heat transfer* antara *fluidized bed* dengan *conventional furnace*

Sumber : www.getottenassociates.com

Hal ini dapat dilihat pada gambar 1.1, menunjukkan bahwa waktu proses yang terjadi pada dapur pemanas *fluidized bed* lebih cepat dibandingkan pada dapur pemanas *conventional*.

Proses *nitriding* adalah proses perlakuan panas secara kimia pada permukaan logam dengan menggunakan gas ammonia (NH_3) atau nitrogen murni (N_2) pada temperatur kerja antara ($500 \sim 590$) $^{\circ}\text{C}$ yang bertujuan untuk memperbaiki sifat mekanik pada logam seperti kekerasan, ketahanan aus dan ketahanan korosi (Billard et, 1990).

Dalam perlakuan panas permukaan dengan menggunakan metode *nitriding* terdapat beberapa parameter yang akan berpengaruh terhadap kualitas permukaan logam, salah satu parameter tersebut adalah rata-rata difusi. Rata-rata difusi akan meningkatkan atom N_2 yang terlarut pada logam paduan sehingga akan membentuk nitrida yang bersifat keras dan stabil. Rata-rata difusi dapat ditingkatkan dengan memvariasikan tekanan gas nitrogen. Diharapkan dengan memvariasikan tekanan gas nitrogen sebagai variabel bebas didapatkan kualitas

ketahanan aus yang maksimal pada permukaan baja paduan rendah. Sehingga memenuhi persyaratan yang dikehendaki untuk aplikasinya sebagai komponen permesinan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka dapat ditarik suatu rumusan masalah yaitu :

Bagaimanakah pengaruh tekanan gas nitrogen proses *nitriding* dalam *fluidized bed* terhadap ketahanan aus baja paduan rendah ?

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak terlalu luas, maka perlu adanya batasan masalah sebagai berikut :

- a. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kandungan nitrida dan ketahanan aus.
- b. Bahan penelitian yang digunakan adalah baja paduan rendah AISI 4140 (ASSAB 709).
- c. Pengujian dilakukan pada proses *nitriding* dalam dapur *fluidized bed*.
- d. Media gas yang dialirkan ke dalam dapur *fluidized bed* adalah N_2 .
- e. Temperatur proses adalah $550\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- f. Tekanan yang digunakan adalah 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 dan 2.5 *bar gauge*.
- g. Waktu penahanan (*holding time*) adalah 3 jam.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan tugas ini adalah :

Mengetahui bagaimanakah pengaruh tekanan gas nitrogen proses *nitriding* dalam *fluidized bed* terhadap ketahanan aus baja paduan rendah.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberi manfaat bagi pengembangan metode perlakuan panas inovatif khususnya proses *nitriding* dalam *fluidized bed furnace* pada industri komponen otomotif maupun industri komponen lainnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

I Komang Astana Widi (2003), meneliti proses nitrokarburisasi austenitik pada temperatur 600, 650 dan 700 °C dengan lamanya perlakuan 1, 3 dan 5 jam menggunakan dapur *fluidised bed* dengan komposisi gas 64 % m³/jam NH₃, 20 % m³/jam N₂, dan 16 % m³/jam LPG, telah dilakukan pada penelitian ini terhadap dua jenis baja yaitu : baja karbon tipe AISI 1013 dan baja paduan tipe AISI P20. Melalui penelitian ini disimpulkan, perlakuan nitrokarburisasi austenitik pada temperatur proses 700 °C dengan waktu proses 1 jam merupakan parameter proses optimum yang menunjukkan belum terbentuknya porositas, tetapi lapisan senyawa ε Fe₂₋₃N,C dengan *deep case depth* sudah tercapai.

Satrio Avrianto (2000), meneliti pengaruh proses gas *carburizing* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada baja ASSAB 705 M. Penelitian yang dilakukan adalah dengan melakukan variasi waktu proses untuk karburisasi yakni 1.5, 2, dan 2.5 jam pada suhu 930°C pada dapur *fluidized bed*. Hasil penelitiannya bahwa lamanya waktu difusi (proses) akan berpengaruh pada peningkatan kekerasan permukaan dan ketahan aus baja ASSAB 705 M.

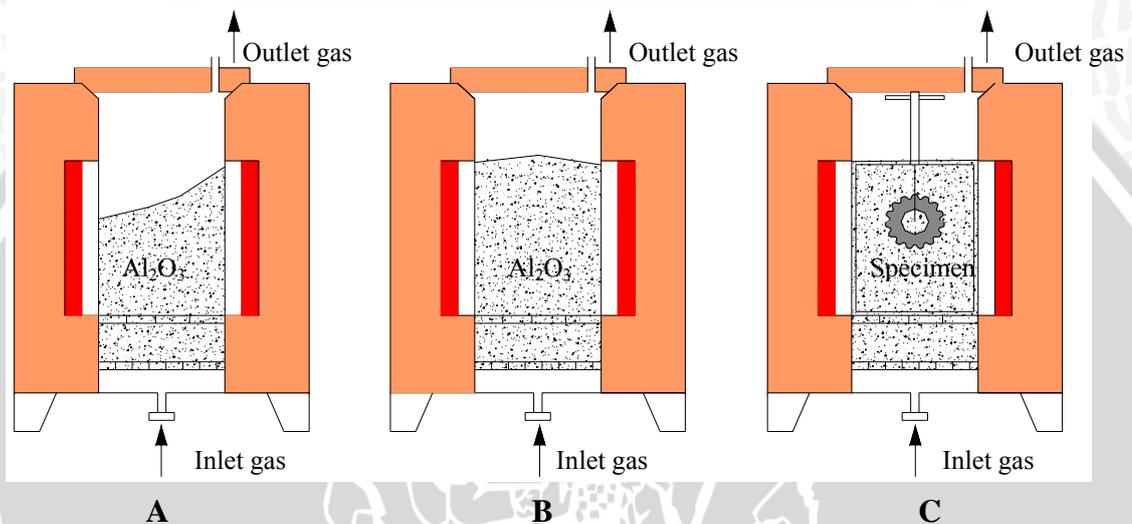
Yudi Hermawan (2006), meneliti pengaruh waktu penahanan (*holding time*) pada proses karburisasi terhadap kekerasan dan ketahanan aus baja karbon rendah pada dapur pemanas *fluidized bed*. Melalui penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu penahanan maka kekerasan dan ketahanan aus akan semakin meningkat seiring dengan terbentuknya karbida, dengan variasi *holding time* 2, 4, 6, 8 dan 10 jam.

2.2 Dapur *Fluidized Bed*

Dapur Fluidized bed merupakan salah satu dapur pemanas modern yang didalamnya berisi partikel padat yang bergerak menyerupai fluida cair. Teknologinya dikembangkan pertama kali oleh *Institute of Precision Mechanics* di Polandia. Didalam dapur *fluidized bed* tersebut udara atau gas akan melewati media partikel yang bisa berupa pasir kuarsa, *alumina oxide* atau *silicon carbide*.

Kemudian partikel tersebut akan kehilangan kontak satu sama lainnya dan mendidih seperti fluida cair (*Getottenassociate.com*) seperti terlihat pada gambar 2.1. Fungsi dari partikel tersebut adalah sebagai pendistribusi panas dari medium *fluidized bed* ke permukaan benda kerja.

Dapur pemanas *fluidized bed* terdiri atas retort, pemanas, partikel padat dan insulasi yang bekerja pada temperatur yang rendah, hal ini sangat cocok jika digunakan pada proses *thermochemical surface treatment* seperti *carburizing*, *nitriding* dan *cyaniding*.



Gambar 2.1 Dapur pemanas *fluidized bed*

Sumber : www.Getottenassociate.com

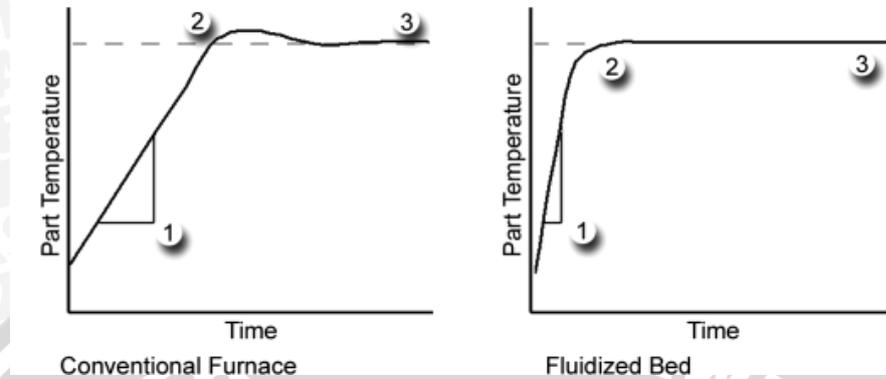
Keterangan :

- A. Dapur pemanas pada saat gas belum dialirkan.
- B. Media partikel bergerak pada saat gas dialirkan kedalam dapur pemanas.
- C. Proses *heat treatment* pada benda kerja dalam wadah (keranjang terendam).

Adapun keuntungan dari dapur *fluidized bed* adalah :

1. Biaya oprasional rendah karena laju perpindahan panas yang tinggi dapat mempercepat siklus proses.
2. Keseragaman laju perpindahan panas pada permukaan benda kerja menghasilkan kualitas kekerasan permukaan lebih merata.
3. Dapat digunakan sebagai media pendingin (*quenching media*).

Selain itu laju pada dapur pemanas *fluidized bed* waktu siklus proses sangat cepat bila dibandingkan dengan dapur pemanas konvensional, seperti terlihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Perbandingan dapur pemanas

Sumber : R. Reynoldson, 1993

Keterangan :

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| 1. Laju Pemanasan lambat | 1. Laju Pemanasan cepat |
| 2. Kontrol temperatur sulit | 2. Kontrol temperatur mudah |
| 3. Pemanasan tidak stabil | 3. Pemanasan stabil |

2.3 Nitriding

Nitriding merupakan proses perlakuan permukaan logam secara *thermochemical* dimana atom nitrogen aktif akan berdifusi kedalam baja membentuk nitrida lihat gambar 2.3. Nitrida yang terbentuk ini sangat keras dan stabil . Nitrogen aktif ini bisa diperoleh dari gas nitrogen murni atau gas *ammonia* dan bila dipanaskan pada temperatur *nitriding* antara (500 ~ 590)°C akan berdisosiasi menjadi nitrogen aktif :

- Gas *nitriding* menggunakan gas *ammonia* (Stickels et al, 1981) :

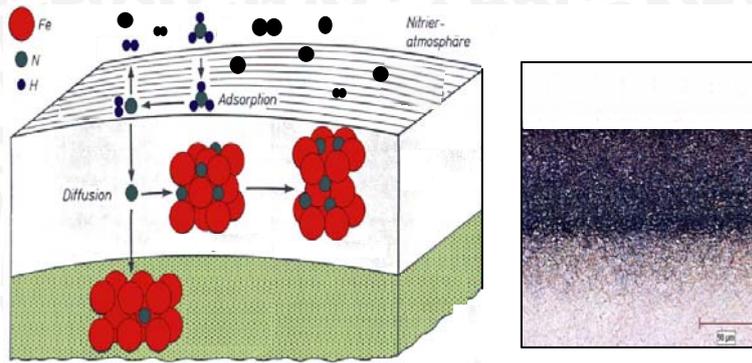


- Gas *nitriding* menggunakan gas nitrogen (Moraes, 2001) :



N_{aktif} akan mengikat unsur paduan membentuk nitrida



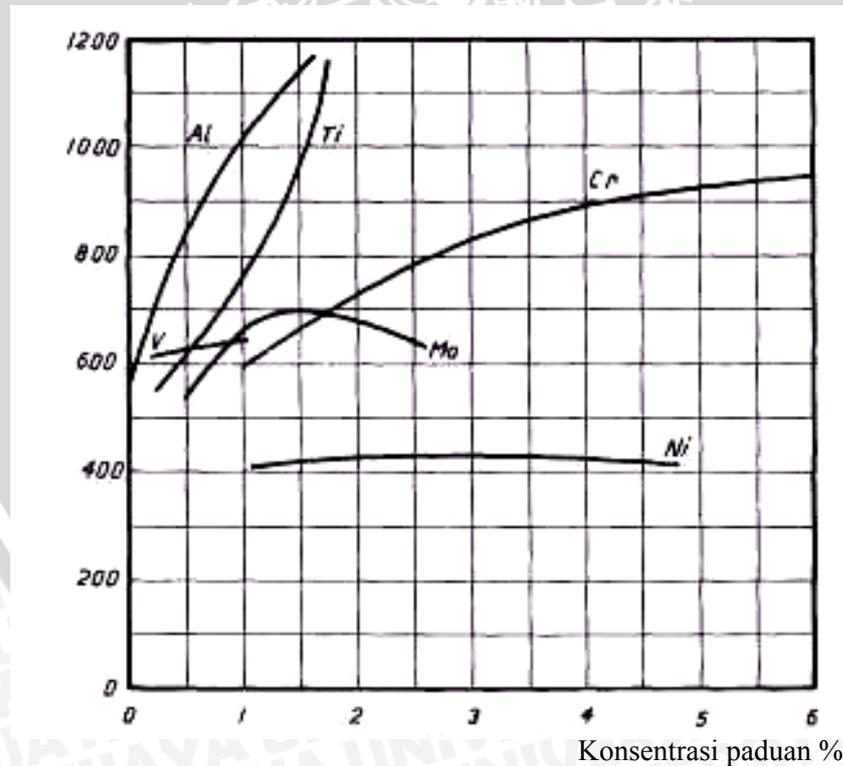


Gambar 2.3 Proses difusi nitrogen pada permukaan logam

Sumber : www.Getottenassociate.com

Pada dasarnya semua baja dapat di *nitriding* tetapi hasil yang optimal dapat diperoleh bila baja memiliki unsur paduan yang membentuk nitrida (*Nitride Forming Element*) seperti *aluminium (Al)*, *titanium (Ti)*, *chrom (Cr)*, *vanadium (V)*, *molybdenum (Mo)* dan *nikel (Ni)*.

Kekerasan HVN



Gambar 2.4 Pengaruh unsur paduan proses *nitriding*

Sumber : GF. Carter, 1979 : 513

Seperti terlihat pada gambar 2.4 bahwa konsentrasi unsur paduan seperti *aluminium (Al)*, *titanium (Ti)* dan *chrom (Cr)* memberikan pengaruh yang cukup tinggi terhadap nilai kekerasan setelah *nitriding*, kemudian diikuti oleh *vanadium (V)* dan *molybdenum (Mo)*. Sedangkan untuk *nikel (Ni)* hampir tidak berpengaruh terhadap peningkatan kekerasan. Hal ini dipengaruhi oleh energi afinitas yaitu kemampuan atom nitrogen mengikat unsur pembentuk nitrida.

2.3.1 Gas Nitriding

Proses perlakuan panas permukaan logam dengan gas *nitriding* dilakukan dengan pemanasan antara temperatur (500 ~ 590)°C dalam dapur pemanas dengan komposisi atmosfer yang banyak mengandung atom nitrogen. Atom tersebut dapat diperoleh dari gas nitrogen murni atau gas NH_3 (*ammonia*) yang mudah berdisosiasi pada temperatur *nitriding* sehingga atom nitrogen aktif akan berdifusi kedalam permukaan benda kerja.

2.3.2 Pack Nitriding

Pack nitriding atau serbuk (*solid*) *nitriding* mempunyai kesamaan pada proses *pack karburising*. *Pack nitriding* dilakukan dengan memanaskan benda kerja didalam kotak tertutup rapat yang berisi *nitriding layer*. *Nitriding layer* ini biasanya sebagai sumber nitrogen aktif. Pemanasan proses *nitriding* dilakukan dengan waktu pemanasan yang cukup lama.

2.3.3 Plasma Nitriding

Plasma nitriding biasanya juga dikenal sebagai *ion nitriding* atau *glow-discharge nitriding*. *Plasma nitriding* merupakan pengembangan dari konvensional *gas nitriding* dimana sumber gas bisa diperoleh dari *ammonia* atau campuran antara nitrogen dan hidrogen. Proses tersebut berlangsung pada tekanan gas (1 ~ 1.3) kPa dengan menggunakan tegangan listrik antara (1 ~ 5) kV. Sehingga gas terionisasi dan akan melakukan penembakan (*discharge*) pada benda kerja. *Plasma nitriding* dilakukan pada temperatur yang rendah yaitu 380°C.

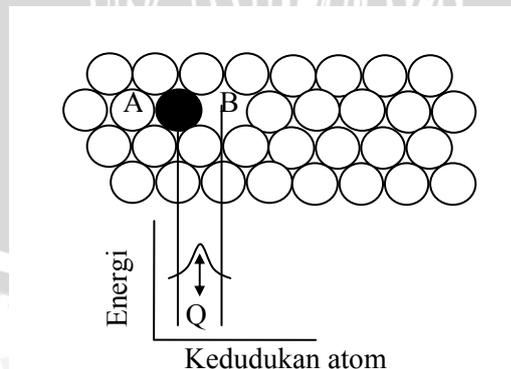
2.4 Difusi

Difusi merupakan proses berpindahnya suatu atom baik berupa gas, cair maupun padat dari suatu posisi ke posisi lainnya pada periode waktu tertentu (Addison-Wesley, 1985). Mekanisme difusi sangat berperan didalam proses perlakuan permukaan secara *thermochemical*. Proses pengerasan permukaan terdiri atas tiga tahapan, yaitu :

- Proses yang terjadi di media eksternal, yang membebaskan elemen difusi menjadi bentuk mono atomik (disosiasi).
- Kontak atom difusi dengan permukaan logam dan pembentukan ikatan kimia dengan matrik atom logam (absorpsi).
- Penetrasi atom difusi kedalam matrik logam hingga mencapai titik jenuh (kesetimbangan difusi).

2.4.1 Difusi Substitusi

Berpindahnya atom pada kisi kristal dari posisi atom yang satu ke posisi atom yang lainnya dipengaruhi oleh energi aktivasi. Energi aktivasi tersebut memberikan peluang sebuah atom untuk melompat ke kedudukan sebelahnya dan akan bergantung pada energi pembentukan kekosongan dan besarnya energi migrasi atom seperti pada gambar 2.5. Pada difusi atom pelarut dan atom terlarut harus mempunyai perbedaan ukuran diameter atom kurang dari 15% dan mempunyai struktur kristal yang sama (William F Smith).

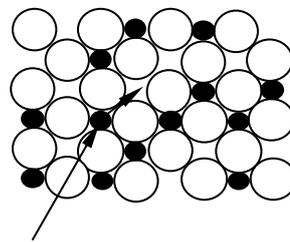


Gambar 2.5 Terjadinya proses difusi substitusi

Sumber : William F Smith, 1979 : 157

2.4.2 Difusi Intersisi

Pengangkutan atom melalui kisi berlangsung dengan berbagai cara, istilah difusi Intersisi menggambarkan keadaan ketika atom tidak lagi bergerak disekitar kisi kristal namun menempati posisi intersisi. Pada mekanisme intersisi pada gambar 2.6 ukuran atom yang akan berdifusi harus lebih kecil daripada matrik atomnya, seperti difusi atom hidrogen, oksigen, karbon dan nitrogen kedalam besi.



Difusi intersisi atom

Gambar 2.6 Terjadinya proses difusi intersisi

Sumber : William F Smith, 1979 : 158

2.4.3 Parameter Difusi

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses difusi antara lain :

1. Tipe dari mekanisme difusi.

Proses difusi secara intersisi atau substitusi memberikan efek terhadap koefisien difusi. Untuk difusi intersisi atom yang kecil dapat bergabung kedalam kisi kristal pada atom pelarut yang lebih besar, seperti nitrogen berdifusi intersisi pada struktur kristal BCC atau FCC. Sedangkan contoh proses difusi substitusi adalah atom tembaga berdifusi kedalam aluminium sebagai atom pelarut dimana dimensi dari kedua atom tersebut sama besar.

2. Tipe Struktur kristal dari kisi pelarut.

Sebagai contoh koefisien difusi karbon untuk struktur BCC adalah $10^{-12} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ pada temperatur $500 \text{ }^\circ\text{C}$ lebih besar daripada $10^{-15} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ untuk struktur FCC pada temperatur yang sama. Disini bahwa struktur kristal BCC mempunyai *atomic packing factor* 0.68 yang lebih rendah dibandingkan *atomic packing factor*

FCC 0.74. Sehingga ruang antar atom untuk BCC lebih lebar dan atom karbon lebih mudah berdifusi daripada untuk struktur kristal FCC.

3. Tekanan gas akan mempengaruhi jumlah aktifitas atom yang terlarut pada logam.
4. Temperatur difusi akan berpengaruh terhadap koefisien difusi.

2.4.4 Pengaruh Tekanan terhadap Difusi

Bahwa fluks atom (J) merupakan jumlah atau konsentrasi atom yang bermigrasi tiap satuan luas dan waktu dan dipengaruhi oleh tekanan gas yang didifusikan kedalam permukaan logam (David V. Ragone, 1995 : 130) menurut persamaan :

$$J = \frac{DkP_{dif}}{x} \dots\dots\dots(2-1)$$

Dimana :

- J = Fluks atom (atom . m².s⁻¹)
- D = Koefisien difusi / *diffusivity* (m².s⁻¹)
- k = Konstanta keseimbangan (m³ gas STP.m⁻³ solid atm)
- P_{dif} = Tekanan difusi gas (atm)
- x = jarak difusi (m)

Besarnya difusi juga dapat diketahui melalui difusivitas yang terjadi. Oleh sebab itu difusivitas juga dapat disebut sebagai luasan atom yang berpindah akibat berdifusi dalam tiap satuan waktu.

Untuk mengetahui besar difusi yang terjadi dengan cara perhitungan difusivitas dapat menggunakan persamaan *Arrhenius* (William F. Smith, 1979 : 147) seperti dituliskan di bawah ini.

$$D = Do.e^{-\frac{Q}{RT}} \dots\dots\dots(2-2)$$

Dimana :

- D = Koefisien difusi / *diffusivity* (m².s⁻¹)
- Do = Konstanta kesetimbangan difusi (m².s⁻¹)
- e = Exponensial
- Q = Energi aktivasi (J.mol⁻¹)



R = Konstanta gas ($8.314 \text{ J.mol}^{-1} \text{ }^\circ\text{K}$)

T = Temperatur ($^\circ \text{K}$)

2.5 Baja Paduan (*Alloy Steel*)

Baja paduan dapat didefinisikan sebagai suatu baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran seperti *nikel*, *chromium*, *manganese*, *molybdenum*, *tungsten* atau *vanadium* yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat baja yang dikehendaki. Sedangkan unsur carbon tidak dianggap sebagai salah satu unsur campuran (Soedjono, 1978 : 34).

Baja paduan yang diklasifikasikan menurut kadar paduannya dibagi menjadi:

1. *Low Alloy Steel*, jika elemen paduannya $< 2,5 \%$
2. *Medium Alloy Steel*, jika elemen paduannya $2,5 - 10 \%$
3. *High Alloy Steel*, jika elemen paduannya $> 10 \%$

Tujuan dilakukan penambahan unsur yaitu:

- Untuk menaikkan sifat mekanik baja (kekerasan, keliatan, kekuatan tarik dan sebagainya).
- Untuk meningkatkan daya tahan terhadap reaksi kimia (oksidasi dan reduksi).
- Untuk membuat sifat-sifat spesial.

2.6 Ketahanan Aus

Keausan merupakan proses hilangnya bagian dari material satu atau dua permukaan material padat yang mengalami kontak akibat gesekan relatif yang berupa gesekan (*sliding*) ataupun gelinding (*rolling*). Hilangnya bagian material tersebut biasanya berlangsung sangat lambat tetapi bekerja secara terus menerus dan *steady* (Bhushan, 2.2).

Beberapa aspek metalurgi yang mempengaruhi ketahanan aus suatu material antara lain : kekerasan material, pembebanan, kecepatan dan temperatur kontak, pelumasan, serta adanya partikel kontaminasi dari *body* yang bergerak.

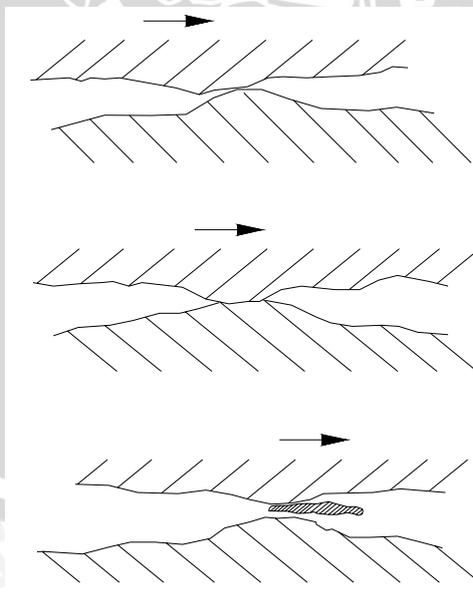
Oleh karena itu keausan merupakan faktor yang dapat memperburuk proses pemrosesan pada bagian yang bergerak. Jika hal tersebut dibiarkan maka akan berpengaruh terhadap umur (*life time*) dan kinerja suatu komponen pemrosesan.

2.6.1 Jenis Keausan

Keausan dikategorikan dalam berbagai bentuk berdasarkan pada mekanisme maupun sifat material yang saling kontak. Namun secara umum sampai saat ini keausan dapat digolongkan menjadi :

1. Keausan *Adhesive*

Keausan *adhesive* sering juga disebut sebagai *galling* atau *scuffing*, terjadi jika kontak antar kedua permukaan (*surface*) diberi gaya bersama dan bergerak relatif satu dengan yang lainnya (gambar 2.7). Laju keausan tersebut dipengaruhi oleh beban yang bekerja dan tingkat kekerasan material (Archad, 1980). Semakin besar beban yang diberikan dan gesekan (*friction*) antar permukaan berlangsung terus-menerus maka akan menurunkan ketahanan aus.

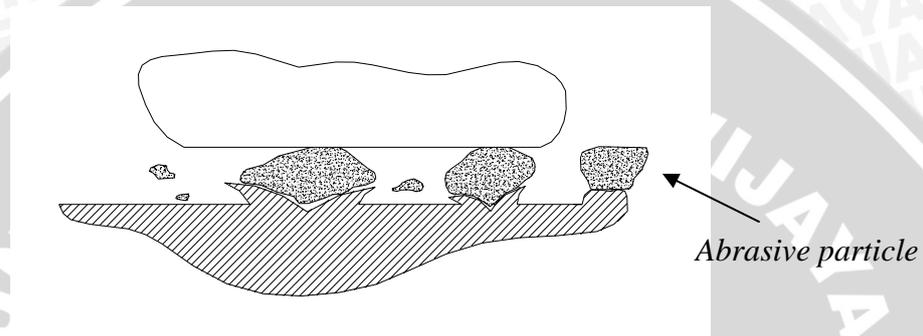


Gambar 2.7 Keausan *adhesive*

Sumber : Bhushan, 1974 : 2.2.1

2. Keausan *Abrasive*

Keausan *abrasive* disebabkan oleh partikel yang terjebak antara dua permukaan yang bergerak seperti terlihat pada gambar 2.8. Adanya partikel tersebut bisa bersendiri sendiri atau bersamaan dengan gas, cairan atau pelumas. Keausan yang disebabkan oleh *abrasive* adalah yang paling berbahaya diantara mekanisme keausan yang ada. Pada keausan *abrasive* partikel bisa dianggap sebagai alat potong dimana kekerasan, ukuran dan bentuk partikel akan mempengaruhi laju keausan.

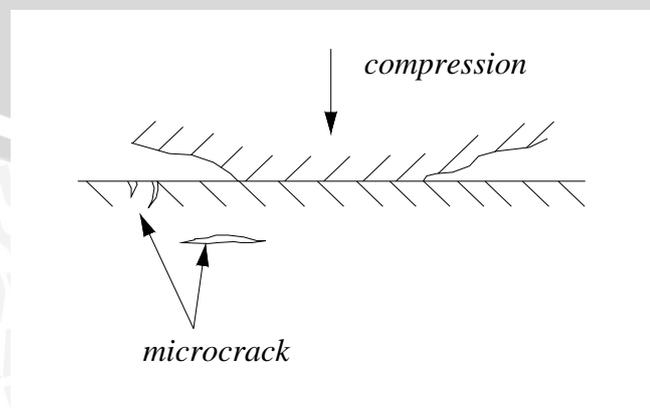


Gambar 2.8 Keausan *abrasive*

Sumber : Budinski, 1988 : 19

3. Keausan *Fatigue*

Keausan yang terjadi karena pembebanan berulang-ulang pada permukaan logam sehingga menimbulkan *microcrack* pada permukaan material yang lebih lunak. Retak kecil yang bermula dibawah permukaan merupakan awal dari keausan yang kemudian akan dilanjutkan oleh penjalaran retak sehingga membentuk serpihan keausan (gambar 2.9). Untuk mengatasi hal tersebut biasanya dipilih material yang lebih keras dengan keuletan yang tinggi.

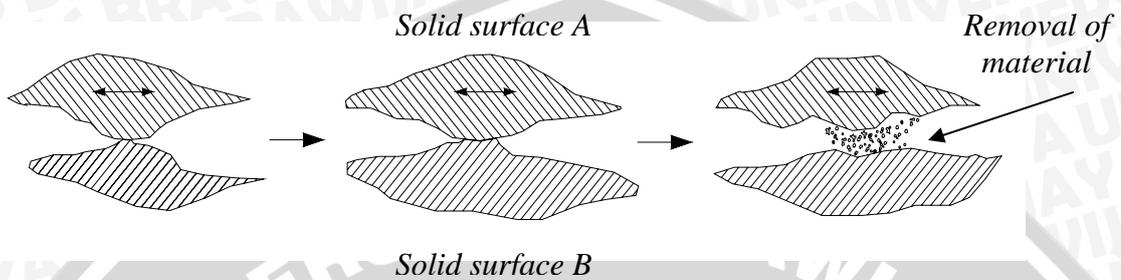


Gambar 2.9 Keausan *fatigue*

Sumber : Bhushan, 1979 : 2.2.3

4. Keausan *Fretting*

Keausan ini terjadi karena pasangan material yang disebabkan karena adanya getaran dan bukan karena gerakan relatif dari material (gambar 2.10). Keausan *fretting* biasanya terjadi pada dua sambungan material yang mengalami vibrasi, seperti pada sambungan keling.



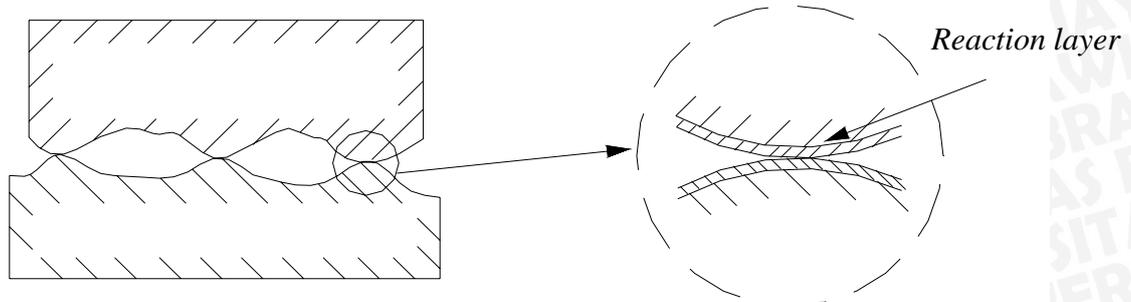
Gambar 2.10 Keausan *fretting*

Sumber : Budinski, 1988 : 28

5. Keausan *Corrosive*

Keausan *corrosive* ini terjadi pada permukaan yang saling kontak, bergerak relatif satu dengan lainnya dan berada dalam lingkungan yang korosif. Jadi keausan ini ditentukan oleh interaksi antara komponen mekanis bahan dan lingkungan seperti pada gambar 2.11.

Adapun mekanismenya adalah sebagai berikut : awalnya pada permukaan terbentuk lapisan akibat reaksi kimia dari lingkungan dan bahan, kemudian karena ada pergerakan relatif lapisan akan aus. Setelah proses ini selesai, maka akan timbul permukaan baru dan akan bereaksi dengan lingkungan lagi. Demikian seterusnya, berulang seperti sebuah siklus sampai akhirnya benda sudah tidak dapat dipakai lagi akibat kehilangan fungsinya.

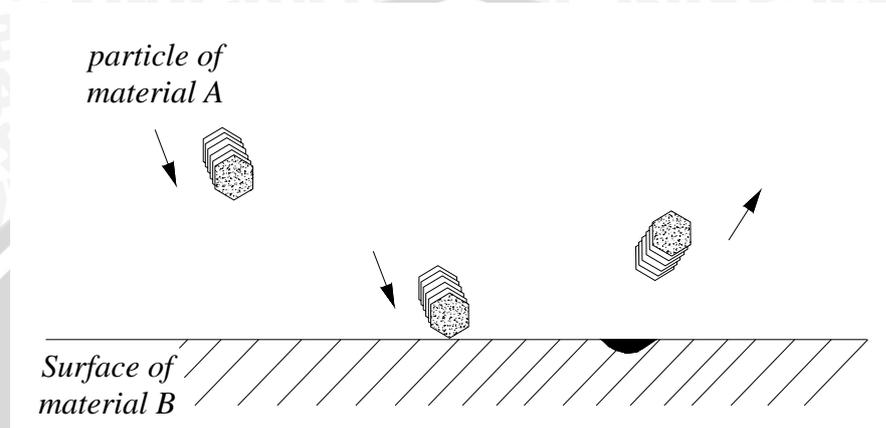


Gambar 2.11 Keausan *corrosive*

Sumber : Bhushan, 1979 : 2.2.4

6. Keausan *Erosive*

Keausan *erosive* merupakan pengikisan permukaan material atau komponen yang disebabkan oleh partikel padat yang terbawa oleh media cairan atau gas yang dilewatinya (gambar 2.12). Besarnya laju keausan erosive tergantung dari dimensi partikel, besarnya energi tumbukan dan sudut tumbukan.



Gambar 2.12 Keausan *erosive*

Sumber : Bhushan, 1979 : 2.2.6

2.6.2 Macam-Macam Uji Ketahanan Aus

Ada beberapa jenis keausan yang terjadi hal ini disebabkan karena kondisi dari komponen yang saling bergesekan tidak sama dan banyak faktor yang mempengaruhi seperti pembebanan, kecepatan kontak, temperatur dan kelembaban (Bayer, 1976). Berbagai macam penelitian telah dilakukan dalam membuat mesin uji ketahanan aus yang dianggap memenuhi standar, ditinjau dari pengujian geometrisnya mesin uji ketahanan aus dapat dikategorikan menjadi beberapa macam (gambar 2.13), yaitu :

1. *Pin on Disk*

Sebuah pin dengan ujung berbentuk radius (*radius stip*) diletakkan tegak lurus terhadap lingkaran disk dengan permukaan rata. Ujung pin dapat berupa bola yang *rigid*. Selama pengujian berlangsung disk berputar atau sebaliknya pin berputar terhadap titik pusat disk. Sehingga, lintasan luncur (*sliding path*) berbentuk lingkaran pada permukaan disk. Posisi peletakan disk dapat horizontal atau vertikal.

2. Pin on Block

Pada pengujian ini pin berputar stationer pada permukaan plat atau *block* yang diam. Dalam hal ini pin dapat berupa bola atau silinder pejal yang berfungsi sebagai media pengaus pada permukaan material yang bergesekan. Akibat dari permukaan kontak tersebut maka akan diperoleh jejak keausan yang tertinggal pada material yang lebih lunak.

3. Pin on Cylinder

Pengujian *pin on cylinder* sama dengan pengujian *pin on disk*, yang membedakan hanya pada pembebanan yang tegak lurus pada sumbu putarnya.

4. Thrust Washer

Permukaan datar dari *disk* berputar pada permukaan plat yang diam .

5. Pin into Bushing

Pada pengujian ini gaya aksial dibutuhkan untuk menekan pin masuk kedalam *bushing* untuk metode pengukurannya. Gaya aksial ini bergerak pada arah radial dan cenderung mengembungkan *bushing*.

6. Rectangular Flat on a Rotaring Cylinder

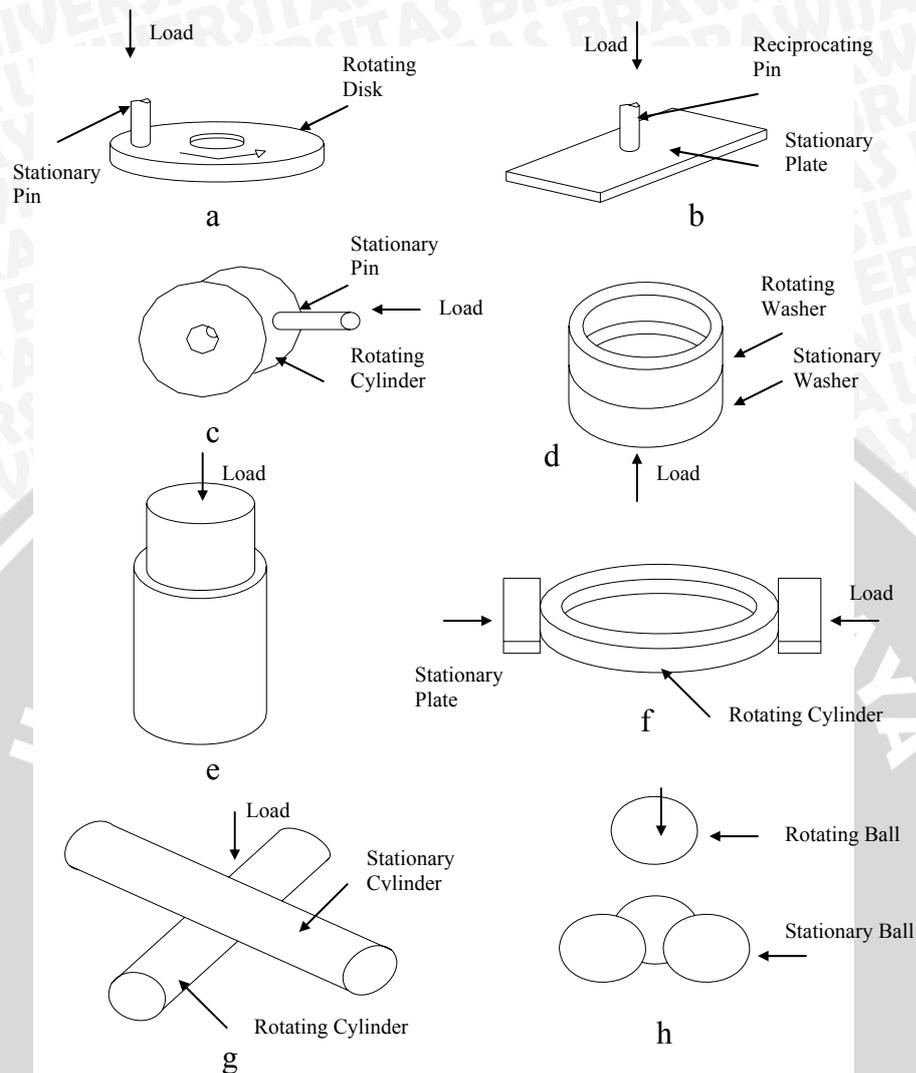
Dua buah blok persegi dibebankan tegak lurus pada sumbu putar dari disk.

7. Crossed Cylinder

Silinder yang berputar bergesekan dengan silinder yang stationer dan diberi pembebanan pada kedua silinder ini dengan arah sudut 90° .

8. Four Ball

Pada pengujian ini terdiri dari empat bola yang mempunyai konfigurasi tetrahedran. Bola yang paling atas berputar dan bergesekan melawan tiga bola dibawahnya yang berada dalam posisi tetap atau tertahan.



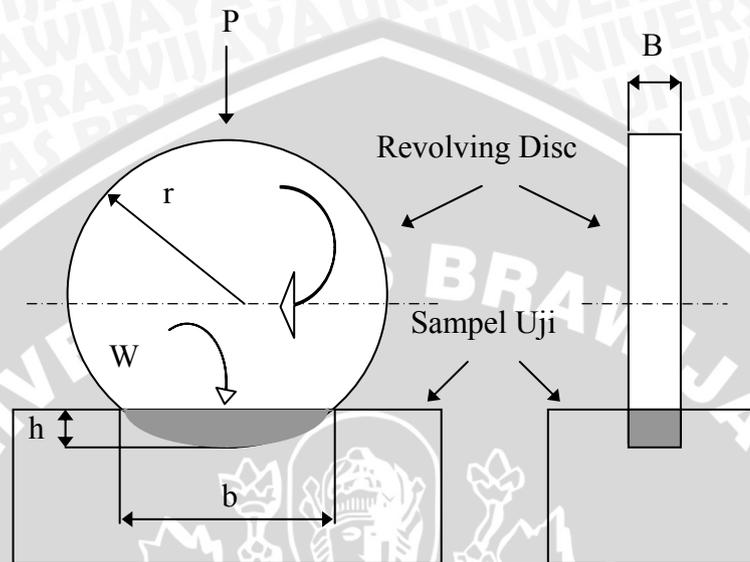
Gambar 2.13 Macam-macam uji ketahanan aus

Sumber : Bhushan, 1979 : 15.2.2

2.6.3 Metode Ogoshi

Pengujian ketahanan aus yang dilakukan menggunakan metode *Ogoshi* merupakan salah satu pengujian ketahanan aus jenis *Pin on Block* dengan prinsip kerja sebagai berikut : Pin berbentuk silinder pejal (*revolving disk*) selaku media pengaus yang diberi pembebanan arah radial dan berputar secara stationer akan menggesek sampel uji yang lebih lunak. Gesekan tersebut akan menghasilkan jejak keausan pada sampel uji dimana jejak keausan kemudian diukur menggunakan mikroskop pengukur jejak (*measuring microscope*) seperti pada gambar 2.14.

Sehingga laju keausan dapat ditentukan dari perhitungan volume keausan berdasarkan pengukuran jejak sesuai dengan ASTM G40. Sedangkan rumusan yang dipakai adalah sebagai berikut :



Gambar 2.14 Skema uji ketahanan aus

1. Volume keausan V (mm^3)

$$V = B \left[r^2 \sin^{-1} \left(\frac{b}{2r} \right) - \frac{b}{2} \sqrt{r^2 - \frac{b^2}{4}} \right] \quad (2-3)$$

2. Laju keausan W ($\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-1}$)

$$W = \frac{V}{L_o} \quad (2-4)$$

Keterangan :

1. P = Beban (Kg)
2. B = Tebal piringan pengaus (mm)
3. $2r$ = Diameter piringan pengaus (mm)
4. b = Lebar jejak keausan (mm)
5. h = Kedalaman jejak keausan (mm)
6. L_o = Jarak pengausan (m)
7. V = Volume Keausan (mm^3)
8. W = Laju Keausan ($\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-1}$)

2.7 Hipotesa

Dengan meningkatnya tekanan gas nitrogen maka jumlah rata-rata difusi atom nitrogen yang terlarut pada logam paduan akan meningkat, sehingga elemen paduan pembentuk nitrida juga akan mengalami peningkatan. Nitrida yang terbentuk bersifat keras dan stabil sehingga ketahanan aus (*wear resistance*) dari permukaan baja paduan rendah akan meningkat.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental nyata (*True Experimental Research*), yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh tekanan gas nitrogen pada proses *nitriding* terhadap laju keausan baja paduan rendah pada dapur pemanas *fluidized bed*.

Kajian literatur dari berbagai sumber baik dari buku dan jurnal yang ada di perpustakaan maupun dari internet juga dilakukan untuk menambah informasi yang diperlukan.

3.2 Tempat Penelitian

Data yang diambil dalam penyusunan penelitian ini diperoleh dari penelitian yang dilakukan di :

1. Laboratorium Lingkungan Jurusan Kimia FMIPA Universitas Brawijaya.
(Tempat pengujian komposisi paduan logam dan konsentrasi nitrida).
2. Laboratorium Mesin Alfa Beta Gama , Landungsari.
(Pelaksanaan proses *nitriding* dalam dapur pemanas *fluidized bed*).
3. Laboratorium Uji Material Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada.
(Tempat pengujian dan pengambilan data hasil uji laju keausan).

3.3 Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi variabel lainnya. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah tekanan gas nitrogen : 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 dan 2.5 *bar gauge*.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung pada variabel bebas. Dalam penelitian ini variabel terikatnya adalah laju keausan.

3. Variabel Terkendali

Variabel terkendali besarnya ditentukan sebelum penelitian Dalam hal ini yang menjadi variabel terkendali adalah :

- Temperatur Proses : 550°C
- *Holding time* : 3 jam
- Media *quenching* : udara
- Komposisi atmosfer dalam dapur : Gas N₂
- Serbuk *alumina oxide* (Al₂O₃) : ± 60 % dari volume dapur

3.4 Alat dan Bahan yang Digunakan

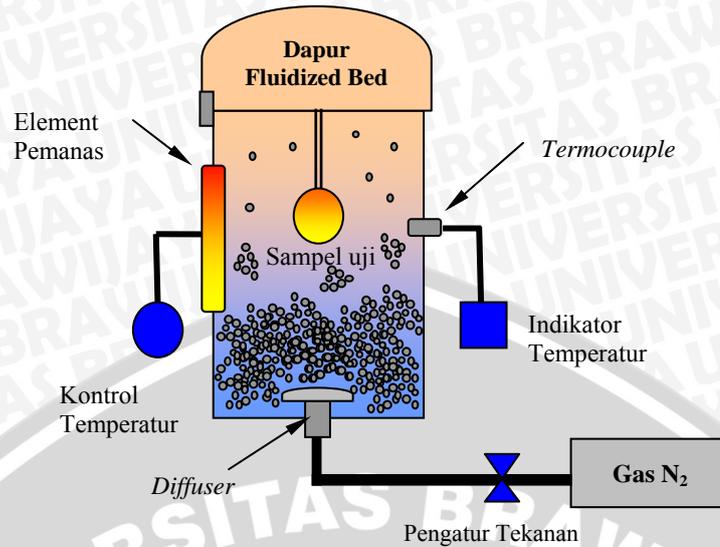
3.4.1 Alat yang Digunakan

- Dapur pemanas *fluidized bed* (gambar 3.1) beserta skemanya (gambar3.2)
- Mesin uji ketahanan aus (gambar 3.6)
- Mikroskop pengukur jejak
- Gergaji besi
- Kertas gosok
- Jangka sorong



Gambar 3.1 Dapur pemanas *fluidized bed*

Sumber : Laboratorium Alfa Beta Gama



Gambar 3.2 Skema dapur pemanas *fluidized bed*

3.4.2 Bahan yang Digunakan

- Baja paduan rendah AISI 4140 (ASSAB 709)
- Gas N_2
- Serbuk *alumina oxide* (Al_2O_3)

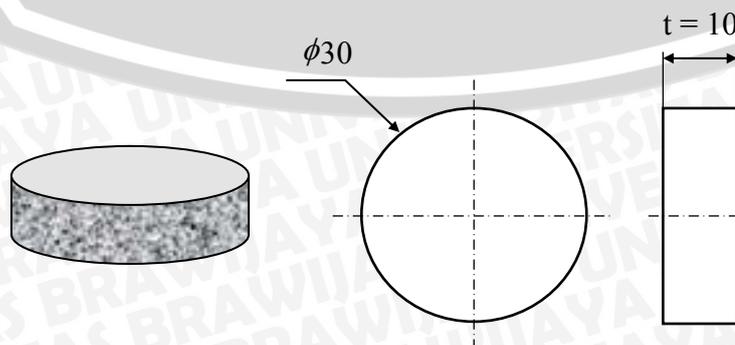
3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pembuatan sampel uji.

Material yang dipergunakan untuk diberi perlakuan *nitriding* dalam penelitian ini adalah baja paduan rendah. Bentuk dan ukuran material yang diperlukan pada perlakuan dalam dapur pemanas *fluidized bed* ditunjukkan seperti gambar 3.3. Adapun pembuatan sampel adalah sebagai berikut :

Material dipotong dengan ukuran diameter 30 x 10 mm , sebanyak 18 sampel uji yang dipotong dengan gergaji, dan diampelas.



Gambar 3.3 Bentuk dan ukuran benda uji

2. Pemanasan awal dapur pemanas.

Dapur pemanas dipanaskan hingga mencapai temperatur 550°C seperti pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Indikator temperatur

3. Persiapan dapur pemanas.

Sampel uji dimasukkan ke dalam tabung dapur pemanas dimana untuk variasi tekanan berisi tiga buah sampel uji. Sebelumnya dapur pemanas telah terisi oleh partikel *alumina oxide* yang berfungsi sebagai pendistribusi panas pada saat proses *nitriding* berlangsung seperti pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Tabung dapur pemanas *fluidized bed*

4. Pengaliran gas

Setelah dapur pemanas mencapai temperatur 550°C , kemudian dialirkan gas nitrogen dalam tabung. Digunakan tekanan 2.5 bar gauge pada awal mula proses yang diharapkan dapat diperoleh kestabilan tekanan untuk variasi proses berikutnya.

5. Variasi tekanan gas nitrogen
Besarnya tekanan gas nitrogen proses *nitriding* ini bervariasi yakni, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 dan 2.5 *bar gauge*, yang masing-masing variasi tekanan dilakukan untuk 3 buah sampel uji.
6. Waktu penahanan
Lamanya waktu penahanan (*holding time*) adalah 3 jam .
7. Proses pendinginan.
Setelah proses perlakuan panas selesai dilakukan, maka sampel uji diambil dari dapur pemanas kemudian didinginkan menggunakan media udara.
8. Pengujian Spesimen
Pengujian yang dilakukan pada spesimen yang telah di *nitriding* yaitu pengujian kandungan nitrida dan laju keausan.
9. Pengolahan dan analisis data
Setelah dilakukan pengujian maka didapatkan data yang kemudian akan dilakukan pengolahan dan analisa terhadap data tersebut.

3.6 Pengujian Ketahanan Aus Hasil *Nitriding*

Pengujian ketahanan aus yang dilakukan menggunakan mesin uji *Ogoshi* (gambar 3.6), dimana laju keausan diperoleh dari perhitungan volume keausan berdasarkan jejak keausan. Jejak keausan tersebut kemudian diukur menggunakan mikroskop pengukur jejak (*measuring microscope*) seperti pada gambar 3.7. Sedangkan rumusan yang dipakai mengikuti buku pedoman pada *Instruction Manual* mesin uji.



Gambar 3.6 Mesin uji ketahanan aus

Sumber : Laboratorium Uji Material Teknik Mesin UGM

Spesifikasi :

- Nama : *Ogoshi High Speed Universal Wear Testing Machine*
- Tipe : OAT-U
- Dimensi : 1090 (panjang) x 840 (lebar) x 580 (tinggi)
- Daya : 1 HP
- Kecepatan abrasi : 4 m/s (maximal)
- Jarak luncur : 66.6 ~ 600 m (5 macam)
- Beban : 2.12 ~ 19.08 Kg (5 macam)



Gambar 3.7 Mikroskop pengukur jejak

Sumber : Laboratorium Uji Material Teknik Mesin UGM

Spesifikasi :

- Nama : Mikroskop pengukur jejak (*measuring microscope*)
- Merk : Olympus
- Tipe : TGH
- Kemampuan pembesaran : 50, 100, 200, 500 dan 1000 kali.

3.7 Rancangan Penelitian

3.7.1 Analisa Statistik

Untuk mengetahui pengaruh variasi tekanan gas nitrogen terhadap laju keausan dari baja paduan rendah pada dapur pemanas *fluidized bed*, maka langkah pertama yang dilakukan adalah merencanakan model rancangan penelitiannya (*experimental design*).

Rancangan penelitian ini merupakan cara untuk menentukan keberhasilan suatu penelitian atau eksperimen dan juga menentukan analisa yang tepat sehingga didapat suatu analisa dan kesimpulan yang tepat.

Rancangan penelitian yang digunakan adalah metode rancang acak lengkap dengan satu faktor, karena ada satu faktor yang diamati yaitu tekanan gas nitrogen terhadap ketahanan aus pada baja paduan yang telah mengalami perlakuan *nitriding*. Hasil pengukuran dan pengambilan data pengujian laju keausan dari masing-masing sampel uji ditabelkan seperti pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data pengujian laju keausan

| Faktor | Variasi Tekanan Gas Nitrogen (<i>bar gauge</i>) | | | | |
|-----------------|---|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | A | B | C | D | E |
| Sampel | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 |
| 1 | X_{11} | X_{12} | X_{13} | X_{14} | X_{15} |
| 2 | X_{21} | X_{22} | X_{23} | X_{24} | X_{25} |
| 3 | X_{31} | X_{32} | X_{33} | X_{34} | X_{35} |
| Jumlah | $\sum X_{i2}$ | $\sum X_{i2}$ | $\sum X_{i3}$ | $\sum X_{i4}$ | $\sum X_{i5}$ |
| Nilai rata-rata | \bar{X}_1 | \bar{X}_2 | \bar{X}_3 | \bar{X}_4 | \bar{X}_5 |

Keterangan :

X = Data laju keausan baja paduan rendah

X_{ij} = Data pengamatan yang berupa hasil uji keausan baja paduan rendah pada perlakuan *nitriding* tekanan nitrogen ke i dan ulangan ke j .

Perhitungan statistik dari tabel diatas adalah :

- Data Rata-rata

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \dots\dots\dots (3-1)$$

- Standar Deviasi

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2}}{n - 1} \dots\dots\dots (3-2)$$

- Standar Deviasi Rata-rata

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (3-3)$$

- Interval Penduga

$$\bar{x} - t\left\{\frac{\alpha}{2}; db\right\}\bar{\sigma} < \mu < \bar{x} + t\left\{\frac{\alpha}{2}; db\right\}\bar{\sigma} \dots\dots\dots (3-4)$$

Data sampel rata-rata tekanan gas nitrogen sebagai variabel bebas dianggap sebagai $\bar{X}1, \bar{X}2, \bar{X}3, \bar{X}4$ dan $\bar{X}5$ maka dapat diambil hipotesa sebagai berikut:

1. $H_0 : \bar{X}1 = \bar{X}2 = \bar{X}3 = \bar{X}4 = \bar{X}5$

(Tidak ada pengaruh nyata peningkatan tekanan gas nitrogen terhadap laju keausan baja paduan rendah)

2. $H_1 : \bar{X}1 \neq \bar{X}2 \neq \bar{X}3 \neq \bar{X}4 \neq \bar{X}5$

(Ada pengaruh nyata peningkatan tekanan gas nitrogen terhadap laju keausan baja paduan rendah)

Berdasarkan data tabel 3.1 dapat dihitung antara lain (Hifni, H.M., 1993)

1. Jumlah Seluruh Perlakuan (JSP) :

$$= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k X_{ij} \dots\dots\dots (3-5)$$

2. Jumlah Kuadrat Seluruh Perlakuan (JKSP):

$$= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k X_{ij}^2 \dots\dots\dots (3-6)$$



3. Faktor Koreksi (FK) :

$$= \frac{\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k X_{ij} \right]^2}{\sum n.i} \dots\dots\dots(3-7)$$

4. Jumlah Kuadrat Total (JKT) :

$$= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k X_{ij}^2 - FK \dots\dots\dots(3-8)$$

5. Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP) :

$$= \frac{\sum_{j=1}^k \left[\sum_{i=1}^n X_{ij} \right]^2}{n.i} - FK \dots\dots\dots(3-9)$$

6. Jumlah kuadrat Galat (JKG) :

$$= JKT - JKP \dots\dots\dots(3-10)$$

7. Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP) :

$$= \frac{JKP}{db \text{ per}} \dots\dots\dots(3-11)$$

8. Kuadrat Tengah Galat (KTG) :

$$= \frac{JKG}{dp \text{ galat}} \dots\dots\dots(3-12)$$

Dari rumus dapat dicari F_{hitung} , yang berguna untuk menentukan ada atau tidaknya pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat dengan metode uji F :

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG} \dots\dots\dots(3-13)$$

Untuk menyederhanakan perhitungan dan tampilan, akan dibuat tabel analisa varian satu arah seperti tabel 3.2

Tabel 3.2 Rancangan analisa varian satu arah

| Sumber Keseragaman | db | JK | KT | F hitung | F tabel |
|--------------------|---------|-----|-----|-------------------|---------|
| Perlakuan | $k - 1$ | JKP | KTP | $\frac{KTP}{KTG}$ | F tabel |
| Galat | $n - k$ | JKG | KTG | | |
| Total | $n - 1$ | JKT | | | |



Kesimpulan yang diperoleh dari uji F berdasarkan tabel 3.2 ini adalah sebagai berikut :

1. Bila $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka H_0 ditolak
Berarti faktor variasi tekanan gas nitrogen berpengaruh terhadap ketahanan aus baja paduan rendah.
2. Bila $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka H_0 diterima
Berarti faktor variasi tekanan gas nitrogen tidak berpengaruh terhadap ketahanan aus baja paduan rendah.

Kemudian kita mencari kecenderungan dari faktor-faktor tersebut terhadap ketahanan aus yang terbentuk pada proses *nitriding* ke dalam suatu grafik untuk selanjutnya kita mencari persamaan regresi dari grafik tersebut.

3.7.2 Analisa Regresi

Analisa regresi adalah suatu teknik statistik parametrik yang digunakan untuk mengadakan peramalan atau prediksi besarnya variasi yang terjadi pada variabel Y berdasarkan variabel X, dan untuk menentukan besarnya koefisien korelasi antara variabel X dengan variabel Y. Pada analisa regresi ini digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Y = i + jx + kx^2 \quad (\text{untuk persamaan garis polinomial})$$

Keterangan :

Y = variabel terikat

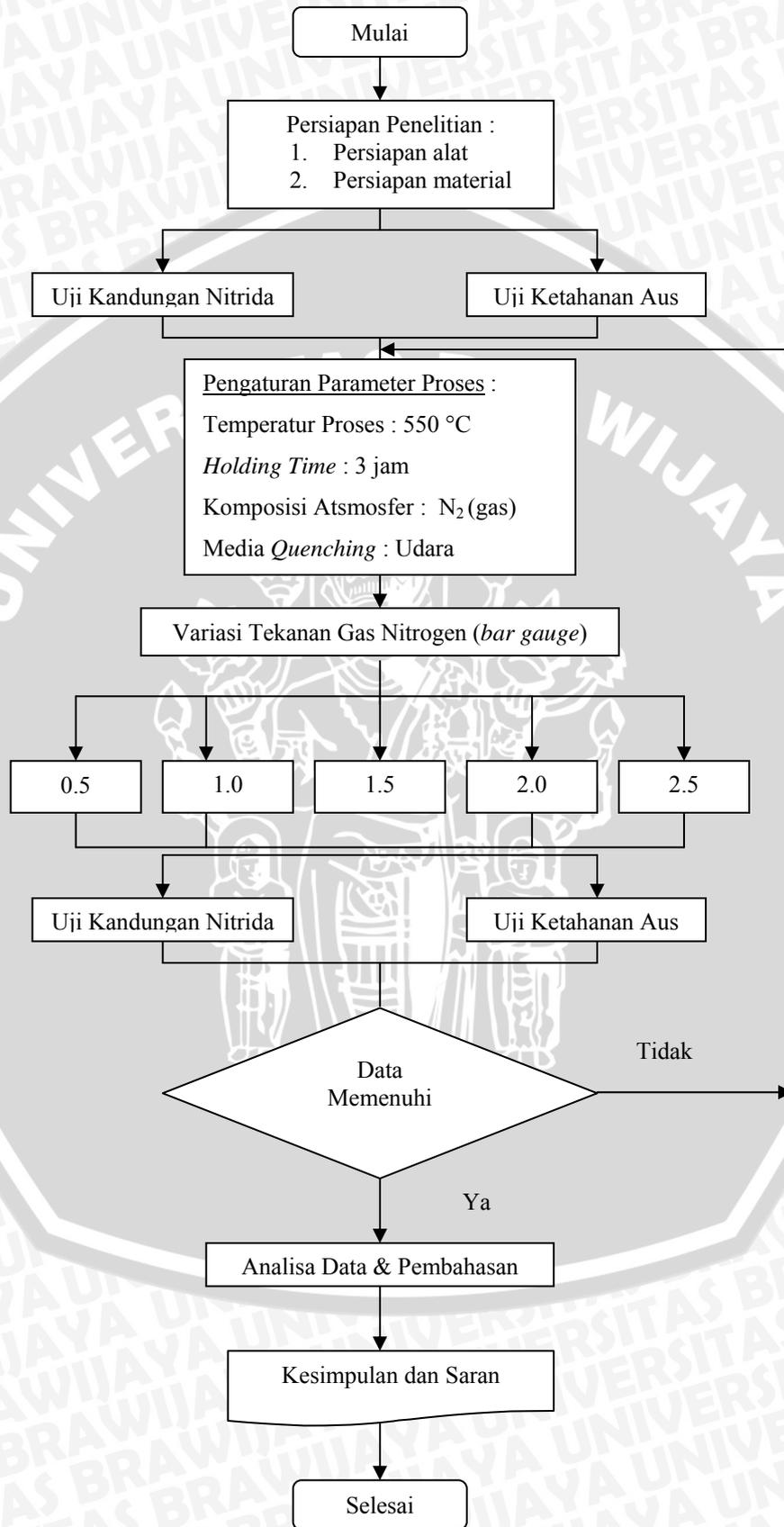
X = variabel bebas

Sedangkan nilai koefisien korelasi (r^2) dapat ditentukan dengan persamaan :

$$r^2 = \frac{\sum(Y - y)^2 - \sum(Y - i - jX - kX^2)^2}{\sum(Y - y)^2} \dots\dots\dots(3-14)$$



3.8 Diagram Alir Penelitian



BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

4.1.1 Hasil Pengujian Ketahanan Aus

Berikut ini akan disajikan tabel 4.1 tentang data laju keausan ($\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-1}$).

Tabel 4.1 Data hasil pengujian laju keausan

| Tekanan gas N ₂ (bar gauge) | Lebar jejak keausan (b = mm) | | Volume keausan (V = mm ³) | | Laju keausan (W = cm ³ ·m ⁻¹) | | Rata-rata laju keausan (cm ³ ·m ⁻¹) |
|---|---------------------------------|------|--|---------|---|---------|---|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | |
| 0.5 | 1.79 | 1.79 | 2203.46 | 2203.46 | 0.02203 | 0.02203 | 0.022092 |
| | 1.82 | 1.79 | 2238.76 | 2203.46 | 0.02239 | 0.02203 | |
| | 1.78 | 1.82 | 2167.09 | 2238.76 | 0.02167 | 0.02239 | |
| 1.0 | 1.48 | 1.50 | 1811.53 | 1847.68 | 0.01812 | 0.01848 | 0.018296 |
| | 1.50 | 1.47 | 1847.68 | 1811.75 | 0.01848 | 0.01812 | |
| | 1.48 | 1.52 | 1811.53 | 1847.25 | 0.01812 | 0.01847 | |
| 1.5 | 1.39 | 1.43 | 1705.00 | 1740.71 | 0.01705 | 0.01741 | 0.017353 |
| | 1.44 | 1.39 | 1778.97 | 1705.00 | 0.01779 | 0.01705 | |
| | 1.42 | 1.41 | 1740.93 | 1741.15 | 0.01741 | 0.01741 | |
| 2.0 | 1.40 | 1.38 | 1704.89 | 1669.37 | 0.01705 | 0.01669 | 0.016755 |
| | 1.38 | 1.36 | 1669.37 | 1669.80 | 0.01669 | 0.01670 | |
| | 1.36 | 1.36 | 1669.80 | 1669.80 | 0.01670 | 0.01670 | |
| 2.5 | 1.32 | 1.34 | 1598.13 | 1634.28 | 0.01598 | 0.01634 | 0.016222 |
| | 1.34 | 1.36 | 1634.28 | 1669.80 | 0.01634 | 0.01670 | |
| | 1.32 | 1.31 | 1598.13 | 1598.35 | 0.01598 | 0.01598 | |

Keterangan :

1. Waktu pengausan $t = 41 \text{ s}$
2. Jarak pengausan $l_0 = 100 \text{ m}$
3. Beban $P_0 = 2.12 \text{ Kg}$
4. Kecepatan pengausan $v = 2,439 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
5. Tebal piringan pengaus $B = 3 \text{ mm}$
6. Jari-jari piringan pengaus $r = 14,5 \text{ mm}$

Catatan : Laju keausan material awal = $2.779 \times 10^{-2} \text{ (cm}^3 \cdot \text{m}^{-1}\text{)}$.

Contoh perhitungan laju keausan untuk data pada tekanan gas N_2 0.5 bar gauge pada sampel 1 diperoleh sebagai berikut :

- Volume keausan $V \text{ (mm}^3\text{)}$

$$V = B \left[r^2 \sin^{-1} \left(\frac{b}{2r} \right) - \frac{b}{2} \sqrt{r^2 - \frac{b^2}{4}} \right]$$

$$= 3 \left[14.5^2 \sin^{-1} \left(\frac{1.79}{2 \times 14.5} \right) - \frac{1.79}{2} \sqrt{14.5^2 - \frac{1.79^2}{4}} \right]$$

$$= 2203.46 \text{ (mm}^3\text{)}$$

- laju keausan $W \text{ (cm}^3 \cdot \text{m}^{-1}\text{)}$

$$W = \frac{V}{L_o}$$

$$= \frac{2203.46}{100} \text{ (mm}^3 \cdot \text{m}^{-1}\text{)}$$

$$= 2.203 \times 10^{-2} \text{ (cm}^3 \cdot \text{m}^{-1}\text{)}$$

4.1.2 Hasil Pengujian Kandungan Nitrida

Pengambilan data ini dilakukan oleh tim penguji dari Lab. Lingkungan Jurusan Kimia FMIPA Unibraw. Adapun sampel uji sebelum diberi perlakuan tidak memiliki kandungan nitrida. Setelah dilakukan proses *nitriding* pada sampel uji, maka akan diperoleh data seperti yang tersaji pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data kandungan nitrida (ppm)

| Faktor Sampel | Variasi Tekanan Gas N_2 (bar gauge) | | | | |
|------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | A 0.5 | B 1 | C 1.5 | D 2 | E 2.5 |
| av1,2,3 | 5.15 ± 0.05 | 6.04 ± 0.00 | 6.36 ± 0.03 | 6.53 ± 0.06 | 6.72 ± 0.00 |

Cara pengujian kandungan nitrida :

1. Ambil dan timbang 5 gr serbuk logam dari setiap sampel yang akan diuji.
2. Masukkan kedalam 500 ml larutan H_2SO_4 ditambah dengan 75 gr *phenol sulfat* dan dipanaskan pada suhu antara (145 ~ 155) °C selama 30 menit.
3. Setelah pemanasan, larutan tersebut didinginkan selama 24 jam kemudian ditambahkan 7 ml *amoniak* sehingga timbul warna kuning pada larutan.
4. Perubahan warna pada larutan digunakan untuk mengetahui kandungan nitrida pada sampel uji dengan menggunakan metode *spektrofotometri*.
5. Kemudian catat volume kandungan nitrida.

4.2 Analisa Varian Laju Keausan Baja Paduan Rendah

Analisis varian adalah jenis analisis statistik parametrik yang digunakan untuk menguji perbedaan antara tiga kelompok data (pengamatan) atau lebih. Analisa varian untuk sebagian besar akan menjadi ciri dari analisis statistik penelitian eksperimental, yaitu suatu penelitian yang berusaha menguji suatu akibat, efek dan pengaruh dari suatu variabel tertentu terhadap variabel lain yang diteliti. Melalui analisa varian akan didapatkan suatu harga yang mengindikasikan besarnya pengaruh suatu variabel terhadap variabel lain yang disebut dengan rasio F atau koefisien F.

Untuk mengetahui pengaruh tekanan gas N_2 pada proses *nitriding* terhadap laju keausan baja paduan rendah maka didapatkan data hasil pengujian yang ditabelkan pada tabel 4.1, berikut ini merupakan salah satu contoh perhitungan statistik laju keausan pada tekanan 0.5 *bar gauge*.

- Rata-rata laju keausan

$$\begin{aligned}\bar{X} &= \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{0.13255}{6} \\ &= 0.022092\end{aligned}$$

- Standar Deviasi

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{3.620 \times 10^{-7}}{6-1}} \\ &= 0.0002691\end{aligned}$$

- Standar Deviasi Rata-rata

$$\begin{aligned}\bar{\sigma} &= \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0.0002691}{\sqrt{6}} \\ &= 0.0001099\end{aligned}$$

- Interval Penduga rata-rata laju keausan

$$\text{Derajat kebebasan (db)} = n - 1 = 6 - 1 = 5$$

$$\text{Dengan mengambil } \alpha = 5 \%, \text{ maka } t\left(\frac{\alpha}{2}; db\right) = (0.025; 5) = 2.571$$

$$\bar{x} - t\left\{\frac{\alpha}{2}; db\right\}\bar{\sigma} < \mu < \bar{x} + t\left\{\frac{\alpha}{2}; db\right\}\bar{\sigma}$$

$$0.022092 - (2.571 \times 0.000119) < \mu < 0.022092 + (2.571 \times 0.000119)$$

$$0.021648 < \mu < 0.022534$$

Interval penduga rata-rata laju keausan dengan tekanan 0.5 *bar gauge* adalah antara 0.021648 $\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-1}$ sampai dengan 0.022534 $\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-1}$, dengan tingkat keyakinan 95 %. Melalui cara yang sama maka hasil interval penduga rata-rata laju keausan untuk variasi tekanan yang lain dapat ditentukan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Interval penduga rata-rata laju keausan

| Tekanan gas N ₂ (<i>bar gauge</i>) | Interval penduga rata-rata laju keausan |
|---|---|
| 0.5 | 0.021648 < μ < 0.022534 |
| 1.0 | 0.017971 < μ < 0.018619 |
| 1.5 | 0.016896 < μ < 0.017809 |
| 2.0 | 0.016518 < μ < 0.016992 |
| 2.5 | 0.015739 < μ < 0.016703 |

Berdasarkan data pada tabel 4.1 dilakukan analisa varian satu arah untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh peningkatan tekanan gas N₂ terhadap laju keausan dari baja paduan rendah, yaitu :

- Jumlah seluruh perlakuan (JSP)

$$\begin{aligned} \text{JSP} &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k X_{ij} \\ &= 0.54431 \end{aligned}$$

- Jumlah Kuadrat seluruh perlakuan (JKSP)

$$\begin{aligned} \text{JKSP} &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k X_{ij}^2 \\ &= 0.0100089 \end{aligned}$$

- Faktor koreksi (FK)

$$\begin{aligned} \text{FK} &= \frac{\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k X_{ij} \right]^2}{\sum n_i} \\ &= \frac{0.54431^2}{5 \times 6} \\ &= 0.009875 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat total (JKT)

$$\begin{aligned} \text{JKT} &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k X_{ij}^2 - \text{FK} \\ &= 0.0100089 - 0.009875 \\ &= 0.000133 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$\begin{aligned} \text{JKP} &= \frac{\sum_{j=1}^k \left[\sum_{i=1}^n X_{ij} \right]^2}{ni} - \text{FK} \\ &= 0.0100071 - 0.009875 \\ &= 0.0001316 \end{aligned}$$

- Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$\begin{aligned} \text{JKG} &= \text{JKT} - \text{JKP} \\ &= 0.000133 - 0.0001316 \\ &= 1.04 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

- Kuadrat tengah perlakuan (KTP)

$$\begin{aligned} \text{KTP} &= \frac{\text{JKP}}{\text{dbper}} \\ &= \frac{0.0001316}{4} \\ &= 3.289 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

- Kuadrat tengah galat (KTG)

$$\begin{aligned} \text{KTG} &= \frac{\text{JKG}}{\text{dbgalat}} \\ &= \frac{1.04 \times 10^{-6}}{25} \\ &= 4.167 \times 10^{-8} \end{aligned}$$

- F hitung

$$\begin{aligned} F_{\text{hitung}} &= \frac{\text{KTP}}{\text{KTG}} \\ &= \frac{3.289 \times 10^{-5}}{4.167 \times 10^{-8}} \\ &= 789.373 \end{aligned}$$

Untuk menyederhanakan perhitungan dan tampilan, dibuat tabel analisa varian seperti pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Analisa varian satu arah laju keausan baja paduan rendah

| Sumber Keseragaman | db | JK | KT | F _{hitung} | F _{tabel} |
|-----------------------|----|------------------------|------------------------|---------------------|--------------------|
| Perlakuan | 4 | 1.316×10^{-4} | 3.289×10^{-5} | 789.373 | 5.19 |
| Galat | 25 | 1.042×10^{-6} | 4.167×10^{-8} | | |
| Total | 29 | 1.326×10^{-4} | | | |

Dengan menggunakan derajat bebas (db) perlakuan dengan nilai 4 dan derajat bebas (db) galat dengan nilai 25 didapatkan harga F teoritik dalam tabel nilai F sebesar 5.19 dengan tingkat kesalahan α 5%. Dari perhitungan didapatkan harga untuk F_{hitung} sebesar 789.373. Dari sini dapat disimpulkan bahwa F_{hitung} > F_{tabel} maka H₀ ditolak dan H₁ diterima. Berarti bahwa hipotesa tekanan gas N₂ pada proses *nitriding* mempengaruhi laju keausan baja paduan rendah.

4.3 Analisa Regresi

Dari data laju keausan yang diperoleh maka dapat dilakukan analisa regresi. Persamaan regresi dalam penelitian ini adalah model persamaan polinomial, agar di dapat peramalan yang mendekati 1. Dari data hasil pengujian didapatkan suatu hasil yang dapat ditampilkan dalam bentuk suatu variabel seperti pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Analisa regresi laju keausan baja paduan rendah

| No. | X | Y | XY | X ² | X ³ | X ⁴ | X ² Y | (Y-y) ² | (Y-a-bx) ² | (Y-i-jX-kX ²) ² |
|-----|------|---------|-------|----------------|----------------|----------------|------------------|--------------------|-----------------------|--|
| 1 | 0.50 | 0.02209 | 0.011 | 0.250 | 0.125 | 0.063 | 0.006 | 1.56E-05 | 2.22E-04 | 9.65E-08 |
| 2 | 1.00 | 0.01830 | 0.018 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.018 | 2.32E-08 | 5.38E-05 | 4.69E-07 |
| 3 | 1.50 | 0.01735 | 0.026 | 2.250 | 3.375 | 5.063 | 0.039 | 6.25E-07 | 6.83E-06 | 3.65E-08 |
| 4 | 2.00 | 0.01676 | 0.034 | 4.000 | 8.000 | 16.000 | 0.067 | 1.93E-06 | 3.11E-06 | 1.85E-07 |
| 5 | 2.50 | 0.01622 | 0.041 | 6.250 | 15.625 | 39.063 | 0.101 | 3.69E-06 | 3.69E-05 | 6.10E-08 |
| Σ | 7.50 | 0.09072 | 0.129 | 13.750 | 28.125 | 61.188 | 0.231 | 2.19E-05 | 3.23E-04 | 8.49E-07 |

dimana:

X = Tekanan gas N₂ (*bar gauge*)

Y = Laju keausan (cm³.m⁻¹)

Berdasarkan tabel di atas maka diperoleh persamaan :

$$5i + 7.5j + 13.8k = 0.0907$$

$$7.5i + 13.8j + 28.1k = 0.129$$

$$13.8i + 28.1j + 61.2k = 0.231$$

Hasil substitusi dari tiga persamaan di atas didapatkan variabel :

$$i = 2.56 \times 10^{-2}$$

$$j = -8.54 \times 10^{-3}$$

$$k = 1,96 \times 10^{-3}$$

Jadi persamaan regresi polinomial sebagai berikut:

$$Y = i + jX + kX^2$$

$$= 2.56 \times 10^{-2} - 8.54 \times 10^{-3}X + 1,96 \times 10^{-3} X^2$$

Dan

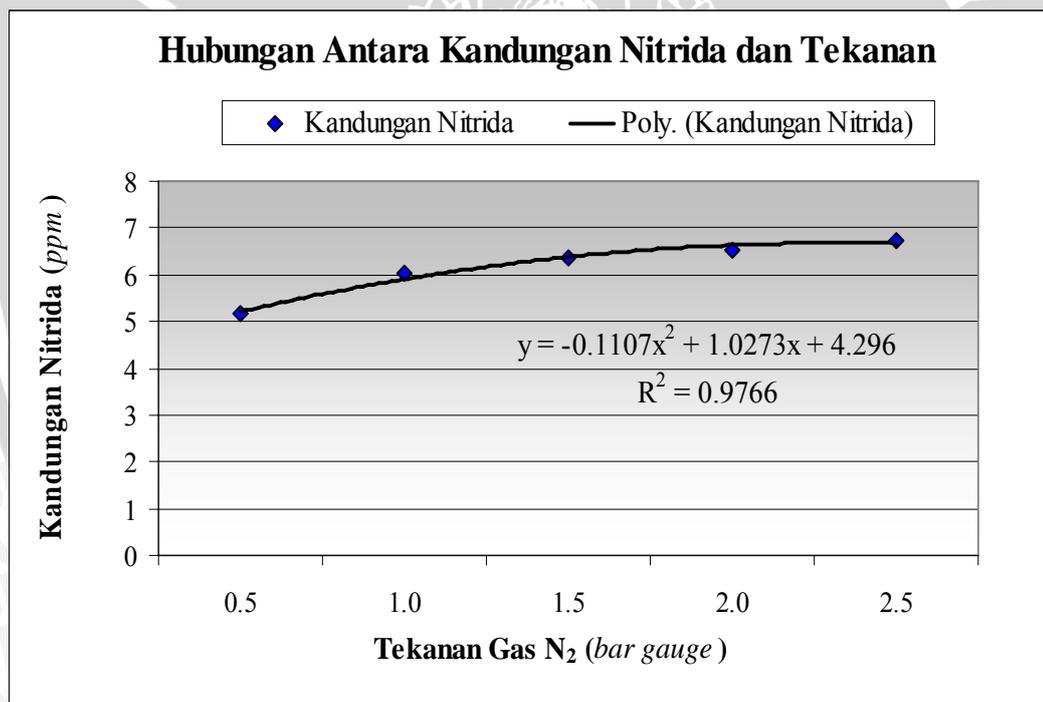
$$r^2 = \frac{\sum(Y - y)^2 - \sum(Y - i - jX - kX^2)^2}{\sum(Y - y)^2}$$

$$= 0.9612$$

4.4 Analisa Grafik

4.4.1 Grafik Hubungan antara Kandungan Nitrida dan Tekanan Gas N₂

Untuk memudahkan dalam analisa maka salah satu cara yang ditempuh adalah dengan menyajikan data dalam bentuk grafik. Dari perhitungan yang diketahui, maka dapat dibuat grafik hubungan antara laju keausan, kandungan nitrida dan tekanan gas N₂ pada proses *nitriding* pada reaktor *fluidized bed*.



Gambar 4.1

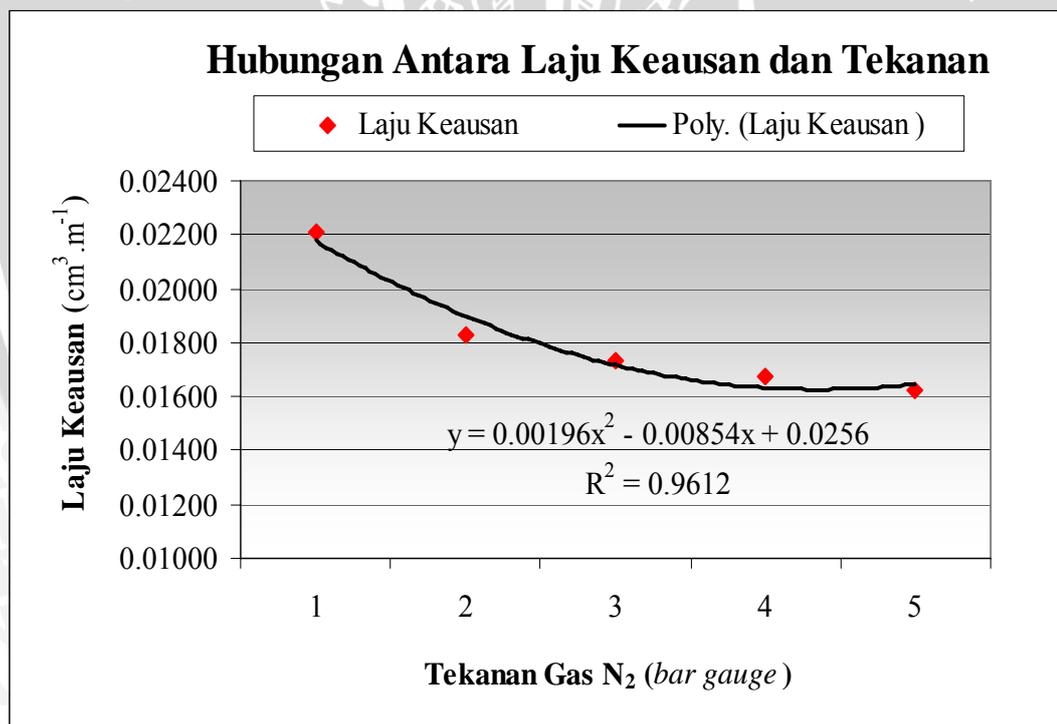
Grafik hubungan kandungan nitrida dan tekanan pada baja paduan

Berdasarkan grafik pada gambar 4.1. menunjukkan bahwa kandungan nitrida yang terlarut pada baja paduan rendah meningkat seiring dengan meningkatnya tekanan gas nitrogen pada proses *nitriding*. Kandungan nitrida tertinggi diperoleh

pada tekanan gas $N_2 = 2.5 \text{ bar gauge}$ yakni sebesar $6.72 \pm 0.00 \text{ ppm}$. Sedangkan kandungan nitrida terendah diperoleh pada tekanan gas $N_2 = 0.5 \text{ bar gauge}$ sebesar $5.15 \pm 0.05 \text{ ppm}$.

Bahwa jumlah kelarutan atom (*solubility*) yang terlarut pada media padat (*solid*) tiap satuan volume dipengaruhi oleh tekanan gas yang didifusikan (*Henry's Law*), dalam hal ini gas yang didifusikan adalah nitrogen. Pada proses *nitriding* gas N_2 akan berdisosiasi membentuk nitrogen aktif hanya pada suhu antara $(500 \sim 590) \text{ }^\circ\text{C}$. Atom nitrogen aktif tersebut akan berdifusi secara intersisi sehingga akan berikatan terhadap unsur paduan logam membentuk nitrida. Jadi semakin tinggi tekanan gas maka konsentrasi atom nitrogen aktif pembentuk nitrida yang terlarut pada logam paduan juga akan mengalami peningkatan.

4.4.2 Grafik Hubungan antara Laju keausan dan Tekanan Gas N_2



Gambar 4.2

Grafik hubungan laju keausan dan tekanan pada baja paduan

Berdasarkan analisa kecukupan data seperti yang terlihat pada tabel 4.3 menunjukkan bahwa data hasil pengujian keausan untuk semua pengulangan masuk diantara batasan minimum dan maximum. Interval penduga rata-rata tersebut dapat diartikan bahwa data pengulangan adalah seragam. Analisa statistik tersebut menggunakan derajat kesalahan 5% yang berarti tingkat kebenaran adalah 95%.

Pengolahan selanjutnya adalah dengan analisa varian satu arah. Tabel 4.5 menunjukkan bahwa nilai F_{hitung} lebih besar dari nilai F_{tabel} . Besarnya nilai F_{hitung} ini mengartikan bahwa dugaan awal sesuai dengan kenyataan hasil eksperimen yaitu variasi penambahan tekanan gas nitrogen mempengaruhi laju keausan pada baja paduan rendah.

Gambar 4.2 menjelaskan bahwa kurva menurun seiring dengan meningkatnya tekanan gas nitrogen. Penurunan kurva tersebut dapat diartikan bahwa dengan semakin meningkatnya tekanan gas nitrogen maka laju keausan pada baja paduan rendah akan berkurang. Nilai laju keausan tertinggi adalah $2.209 \times 10^{-2} \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-1}$ pada tekanan gas $\text{N}_2 = 0.5 \text{ bar gauge}$. Sedangkan Nilai laju keausan terendah adalah $1.622 \times 10^{-2} \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-1}$ pada tekanan gas $\text{N}_2 = 2.5 \text{ bar gauge}$.

Ketahanan aus suatu material dipengaruhi oleh tingkat kekerasan pada permukaannya yang mengalami gesekan. Kualitas permukaan logam ditentukan dari besarnya difusi yang terjadi pada proses *heat surface treatment* seperti *nitriding*. Banyak faktor yang mempengaruhi terjadinya proses difusi diantaranya adalah : variasi tekanan, temperatur, waktu penahanan (*holding time*) maupun komposisi gas yang didifusikan.

Untuk variasi tekanan bahwa dengan semakin meningkatnya tekanan gas nitrogen maka jumlah atau konsentrasi atom nitrogen yang bermigrasi tiap satuan luas dan waktu juga akan mengalami peningkatan. Jumlah atom nitrogen yang berdifusi secara intersisi tersebut akan cenderung berikatan dengan atom *Chrom*, sehingga membentuk nitrida yang bersifat keras dan stabil. Nitrida yang terbentuk akan meningkatkan kekerasan pada permukaan logam sehingga laju keausan akan mengalami penurunan.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil penelitian tentang pengaruh variasi tekanan gas N₂ proses *nitriding* pada baja paduan rendah dengan menggunakan dapur pemanas *fluidized bed*, sebagai berikut :

Laju keausan baja paduan rendah semakin menurun dengan adanya peningkatan tekanan gas N₂ dengan variasi tekanan mulai 0.5 sampai dengan 2.5 *bar gauge* pada proses *nitriding*. Laju keausan tertinggi sebesar 0.02209×10^{-2} (cm³.m⁻¹) pada tekanan 0.5 *bar gauge*. Sedangkan laju keausan terendah sebesar 0.01622×10^{-2} (cm³.m⁻¹) pada tekanan 2.5 *bar gauge*. Sedangkan kandungan nitrida baja paduan rendah semakin meningkat dengan adanya peningkatan tekanan gas N₂ proses *nitriding*. Kandungan nitrida tertinggi sebesar 6.72 *ppm* pada tekanan 2.5 *bar gauge*. Sedangkan kandungan nitrida terendah sebesar 5.15 *ppm* pada tekanan 0.5 *bar gauge*.

Dari kesimpulan diatas dapat dikatakan bahwa variasi tekanan gas N₂ proses *nitriding* dengan dapur pemanas *fluidized bed* berpengaruh terhadap karakteristik permukaan baja paduan rendah.

5.2 Saran

1. Dapat dilakukan penelitian lebih lanjut tentang *nitriding* dengan dapur pemanas *fluidized bed* dengan komposisi yang berbeda pada baja paduan.
2. Dapat dilakukan penelitian lebih lanjut dengan jenis baja yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook vol. 8. 1964. *Heat Treating, Cleaning and Finishing*. Ohio: Chapman and Hall.
- Calliester, William D. 1985. *Material Science & Engineering*. New Dehli
- Gupta BK, Bhushan. 1974 *Handbook Of Tribology Materials, Coating & Surface Treatment*. New Jersey: Prentice Hall
- Hermawan, Yudi. 2003. *Studi Pengaruh Holding Time Pada Proses Karburasi Terhadap Karakteristik Permukaan Baja Karbon Rendah Pada Reaktor Fluidized Bed*. Skripsi Tidak Diterbitkan: Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Hifni, Ir. M. 1993. *Metode Statistik*. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Kebbeth G. Budinski. 1988. *Surface Engineering for Wear Material*. New Jersey: Prentice Hall
- Komang I, Astana Widi. 2003. *Pengaruh Waktu difusi dan Temperatur pada proses Nitrokarburisasi terhadap Karakteristik Baja AISI 1013 dan AISI P20 pada reaktor Fluidized Bed*. Thesis Tidak Diterbitkan: Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Moraes Mello. 2001. *Predicting Microstructure Development During High temperature Nitriding of Martensitic Stainless Steels Using Thermodynamic Modelling*. Brazil: University of Sao Paulo
- Ragone, David V. 1995. *Thermodynamics of Materials*. New York: John Wiley & Sons. Inc.
- Reynoldson, R.W. 1989. *Heat Treatment in Fluidized Furnaces*. Melbourne: Commoran Publishing.
- R. Billingham. 1992. *Heat Treatment of Metals*. Volume 4.
- Smallman, R.E. 1991. *Metalurgi Fisik Modern*. edisi keempat, Jakarta: PT. Gramedia
- Soedjono, dkk. 1978. *Pengetahuan Bahan 1*. Jakarta: Dirjen Pendidikan dan Menengah
- [Http://www. Getottenassociate.com](http://www.Getottenassociate.com)
- [Http://www. Efunda Engineering Materials.com](http://www.Efunda Engineering Materials.com)

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Data Pribadi

Nama : Luky Ferihardianto, ST.
Tempat dan tanggal lahir : Malang, 14 Februari 1980
Kewarganegaraan : Indonesia
Agama : Islam
Status : Belum menikah
Alamat : Jl. Candi Panggung 47 Malang 65142
Telp. : 081555811110 atau 081334499112
Email : luky_ferihardianto@yahoo.com

I. Riwayat Pendidikan

- 2004 ~ 2007 S-1 Universitas Brawijaya Jurusan Teknik Mesin Konsentrasi **Produksi**.
- 1998 ~ 2001 D-III Politeknik Brawijaya Jurusan Teknik Mesin Konsentrasi **Maintenance**.
- 1995 ~ 1998 SMUN 7 Malang (bidang studi IPA).
- 1992 ~ 1995 SMP IKIP Malang.
- 1986 ~ 1992 SDN Dinoyo 2 Malang.

II. Pelatihan

- **Quality Auditing ISO 9001 ver. 2000** di PT. TOYOCOM INDONESIA BATAM.
- **5S (Gemba Kaizen) minute training** di PT. TOYOCOM INDONESIA BATAM.
- **Quality Control Circle (QCC) training** di PT. TOYOCOM INDONESIA BATAM.

III. Pengalaman kerja

27 Juni, 2002 ~ 27 Juli, 2004

Sebagai **Senior Technician divisi Production Engineering (PE)** di PT. TOYOCOM INDONESIA BATAM (TIB).