

**PENGARUH *INDUCTION HEATING* TERHADAP SIFAT
FISIK DAN MEKANIK PADA *INNER RING BEARING NON*
PABRIKAN RESMI**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



Disusun Oleh :

Nama : Diksa Ashrofa Rinaldi

No. Mahasiswa : 17525070

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2022

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**PENGARUH *INDUCTION HEATING* TERHADAP SIFAT
FISIK DAN MEKANIK PADA *INNER RING BEARING NON*
PABRIKAN RESMI**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Diksa Ashrofa Rinaldi

No. Mahasiswa : 17525070

Yogyakarta, 20 Oktober 2022

Pembimbing 1



Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP

Pembimbing



Yustiasih Purwaningrum S.T., M.T

**PENGARUH *INDUCTION HEATING* TERHADAP SIFAT
FISIK DAN MEKANIK PADA *INNER RING BEARING NON*
PABRIKAN RESMI**


TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :


Nama : Diksa Ashrofa Rinaldi
No. Mahasiswa : 17525070

Tim Penguji

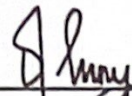
Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP
Ketua


Tanggal : 03/11/2022

Irfan Aditya Dharma, S.T., M.Eng., Ph.D.
Anggota I


Tanggal : 01/11/2022

Finny Pratama Putera, S.T., M.Eng.
Anggota II


Tanggal : 27/10/2022

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin




Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Diksa Ashrofa Rinaldi

NIM : 17525070

Program studi : Teknik Mesin

Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Judul Skripsi : PENGARUH *INDUCTION HEATING* TERHADAP SIFAT
FISIK DAN MEKANIK PADA *INNER RING BEARING NON*
PABRIKAN RESMI

Dengan ini menyatakan bahwa hasil penulisan skripsi ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari penulisan skripsi ini merupakan hasil plagiasi atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan serta tata tertib yang berlaku di Universitas Islam Indonesia.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tidak dipaksakan.

Yogyakarta, 3 November 2022



Diksa Ashrofa Rinaldi

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah puji syukur kehadirat Allah SWT berkat segala rahmat dan juga kesempatan menghadirkan orang-orang yang berarti di sekeliling saya, yang selalu memberi semangat dan do'a sehingga laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Karya tulis sederhana ini kupersembahkan untuk :

Kedua orang tua yang senantiasa memberikan dukungan dan doa hingga Tugas Akhir ini selesai.

Saudara-saudara saya yang selalu memberi dukungan dan solusi dalam menghadapi permasalahan semasa kuliah

Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP selaku pembimbing yang dengan sabar memberikan masukan, nasihat dan ilmu sehingga pengerjaan laporan Tugas Akhir ini dapat berjalan dengan lancar.

Yustiasih Purwaningrum S.T., M.T. selaku pembimbing yang dengan sabar memberikan masukan, nasihat dan ilmu sehingga pengerjaan laporan Tugas Akhir ini dapat berjalan dengan lancar.

Teman-teman Teknik Mesin UII, yang selalu memberi bantuan, nasihat, doa dukungan dan lainnya hingga selesainya Tugas Akhir ini.

HALAMAN MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai kesanggupannya.”

(QS Al Baqarah 286)

“Belajarlah kamu, dan mengajarlah kamu semua, dan hormatilah gurumu, serta berlaku baiklah terhadap orang yang mengajarkanmu.”

(HR. Tabrani)

الجامعة الإسلامية
الاستدلال بالاندية

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahiim, puji syukur kehadiran Allah SWT. atas berkat rahmat dan karunia-Nya lah Penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program pendidikan S-1 Teknik Mesin di Universitas Islam Indonesia.

Penulis menyadari bahwa proses penyelesaian laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari segala bantuan dan bimbingan banyak pihak. Penulis berterima kasih kepada semua pihak yang telah ikut berkontribusi dalam penyelesaian Laporan Tugas Akhir ini dan secara khusus pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Allah SWT, Tuhan semesta alam yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis, dan tak lupa kepada Nabi besar Muhammad SAW sebagai nabi akhir zaman dan suri tauladan bagi umat Islam.
2. Bapak dan Ibu serta seluruh keluarga tercinta yang senantiasa selalu memberikan dukungan dan do'a dalam menempuh pendidikan.
3. Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia
4. Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP selaku pembimbing 1 tugas akhir yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis.
5. Yustiasih Purwaningrum S.T., M.T. selaku pembimbing 2 tugas akhir yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis.
6. Dr. Lilik Dwi Setyana S.T., M.T. sebagai pembimbing dalam melaksanakan pengujian material di Laboratorium D3 Teknik Mesin Universitas Gajah Mada
7. Seluruh mahasiswa Teknik Mesin FTI UII dan semua pihak yang telah berjasa membantu penulis menyelesaikan tugas akhir dan tidak bisa disebutkan satu persatu oleh penulis.

Semoga segala dukungan dan bantuan yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Laporan Tugas Akhir ini dicatat oleh Allah SWT sebagai amal ibadah. Aamiin.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dari laporan ini, oleh karena itu penulis mohon maaf untuk kesalahan-kesalahan yang terdapat pada penulisan laporan Tugas Akhir ini, baik dari materi maupun teknik penyajiannya, mengingat kurangnya pengetahuan dan pengalaman penulis, oleh karena itu kritik dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan akan penulis terima dengan senang hati. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Yogyakarta, 20 Oktober 2022

Diksa Ashrofa Rinaldi



ABSTRAK

Bearing merupakan salah satu komponen pada poros roda yang berfungsi menjaga poros ban (as roda) agar tidak langsung bergesekan dengan rumah roda. *Bearing* dibuat harus cukup kuat dan kokoh agar komponen mesin lain dapat bekerja dengan baik.

Produk yang diproduksi pabrikan resmi dan *non* resmi memiliki karakteristik yang berbeda, yang mana produk pabrikan resmi dinilai lebih unggul dari produk non pabrikan resmi. Untuk itu diperlukan analisis dan perbaikan sifat fisik pada *bearing non*-pabrikan resmi agar kualitas *bearing non* pabrikan resmi meningkat, salah satunya dengan cara proses perlakuan panas (*heat treatment*) pada *bearing non*-pabrikan resmi. *Induction heating* merupakan salah satu perlakuan panas secara *thermal hardening* tanpa menambahkan komposisi kimia yang dapat mengubah sifat fisik dan mekanik material baja.

Dalam penelitian ini, dilakukan analisis sifat mekanik dan perlakuan panas dengan metode *induction heating* dilanjutkan pendinginan secara cepat menggunakan media air. Proses *induction heating* ini dilakukan pada 9 spesimen dengan menggunakan masing-masing 3 variasi kuat arus (600A, 800A, dan 1000A) dan waktu (15 detik, 20 detik, dan 25 detik). Setelah proses *induction heating* dilakukan pemilihan 3 spesimen berdasarkan suhu terendah 422 °C, tengah 600 °C dan tertinggi 800 °C untuk dilakukan pengujian material. Hasil pengujian kekerasan material pada spesimen RAW material memiliki nilai kekerasan 643,75 VHN. Setelah dilakukan proses *induction heating* material mengalami peningkatan kekerasan tertinggi pada temperatur 422°C dengan nilai rata-rata kekerasan 1212,75 VHN. Pengujian keausan pada spesimen RAW material memiliki rata-rata nilai laju keausan $1,2 \times 10^{-5}$ mm³/kg.m, ketahanan aus terbaik setelah dilakukan proses *induction heating* terjadi pada temperature 422°C dengan rata-rata nilai laju keausan sebesar 2×10^{-5} mm³/kg.m, namun ketahanan aus setelah proses perlakuan panas menjadi menurun dibandingkan dengan spesimen RAW material.

Kata kunci : *induction heating*, *bearing*, *inner ring bearing*, temperatur, kekerasan *micro vickers*, keausan, struktur mikro.

ABSTRACT

Bearing is one of the components on the wheel axle that functions to keep the tire axle (axle) from directly rubbing against the wheel housing. Bearings are made to be strong and sturdy enough for other engine components to work properly.

Products produced by official and non official manufacturers have different characteristics, in which products from official manufacturers are considered superior to products from non-official manufacturers. For this reason, it is necessary to analyze and improve the physical properties of the bearing non-official manufacturers so that the quality of bearings of non- official manufacturers increases, one of which is by means of a heat treatment process on bearings of non-official manufacturers. Induction heating is one of the thermal hardening without adding a chemical composition that can change the physical and mechanical properties of the steel material.

In this research, analysis of mechanical properties and heat treatment by induction heating followed by rapid cooling using water media. The induction heating was carried out on 9 specimens using 3 variations of current strength (600A, 800A, and 1000A) and time (15 seconds, 20 seconds, and 25 seconds). After the induction heating , 3 specimens were selected based on the lowest temperature of 422°C, middle 600°C and the highest of 800°C for material testing. The results of the material hardness test on the RAW material specimen have a hardness value of 643.75 VHN. After the induction heating material experienced the highest increase in hardness at a temperature of 422°C with an average hardness value of 1212.75 VHN. The wear test on RAW material specimens has an average wear rate of 1.2 x mm³/kg.m, the best wear resistance after the induction heating occurs at a temperature of 422°C with an average wear rate of 2 x mm³/kg .m, but the wear resistance after the heat treatment process decreases compared to the RAW material specimen.

Keywords: induction heating, bearing, innering bearing, temperature, micro vickers hardness, wear, micro structures

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	ii
Halaman Persembahan	iv
Halaman Motto	v
Kata Pengantar.....	vi
Abstrak	viii
<i>Abstract</i>	ix
Daftar Isi.....	x
Daftar Tabel.....	xii
Daftar Gambar	xiii
Daftar Singkatan	xiv
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
Bab 2 Tinjauan Pustaka	1
2.1 Kajian Pustaka.....	1
2.2 Dasar Teori	2
2.2.1 Baja (<i>steel</i>).....	2
2.2.2 <i>Induction Heating</i>	4
2.2.3 <i>Bearing</i>	5
2.2.4 Pengujian Material.....	6
BAB 3 Metode Penelitian.....	9
3.1 Alur Penelitian.....	9
3.2 Lokasi penelitian	10
3.3 Peralatan dan Bahan	10

3.4 Pembuatan Spesimen.....	14
3.4.1 Proses Pemotongan Produk <i>Bearing</i>	14
3.4.2 Proses <i>Induction heating</i>	15
3.5 Proses Pengujian.....	18
3.5.1 Pengujian Kekerasan <i>Microhardness Vickers</i>	18
3.5.2 Pengamatan Struktur Mikro.....	19
3.5.3 Pengujian Keausan.....	19
BAB 4 Hasil dan Pembahasan.....	21
4.1 Hasil Proses <i>Induction Heating</i>	21
4.2 Pengujian Kekerasan <i>Micro Vickers</i>	21
4.3 Pengamatan Struktur Mikro	23
4.4 Pengujian keausan	25
BAB 5 Penutup.....	29
5.1 Kesimpulan.....	29
5.2 Saran.....	29
Daftar Pustaka	30
LAMPIRAN	32

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Alat Penelitian	11
Tabel 3.2 Parameter Proses <i>Induction Heating</i>	16
Tabel 4.1 Parameter proses <i>induction heating</i>	21
Tabel 4.2 Struktur mikro <i>inner ring bearing non</i> pabrikan resmi.....	23
Tabel 4.3 Pengamatan Struktur Mikro <i>Inner Ring Bearing</i> dengan Proses <i>Induction Heating</i>	24



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Diagram fasa Fe.C	4
Gambar 2. 2	Ilustrasi proses <i>induction heating</i>	5
Gambar 2. 3	<i>Bearing</i>	6
Gambar 2. 4	Indentor kekerasan <i>micro vickers</i>	7
Gambar 2. 5	Ilustrasi uji keausan metode Ogoshi	7
Gambar 2. 6	Mikroskop SEM dan mikroskop optik	8
Gambar 3. 1	Diagram Alur Penelitian.....	9
Gambar 3. 2	Spesimen uji <i>Induction Heating</i>	14
Gambar 3. 3	Spesifikasi Mesin <i>Induction Heating</i>	15
Gambar 3. 4	Alat <i>Induction Heating</i> dan Pendukung Proses Pemanasan	16
Gambar 3. 5	Peletakan spesimen di <i>coil</i>	17
Gambar 3. 6	Setting arus dan waktu pada mesin <i>Induction Heating</i>	17
Gambar 3. 7	Proses pendinginan cepat media air.....	17
Gambar 3. 8	Hasil spesimen <i>Induction Heating</i>	18
Gambar 3. 9	<i>Micro Vickers Hardness -M3 Microscope</i>	18
Gambar 3. 10	Spesimen uji struktur mikro	19
Gambar 3. 11	Alat Pengujian <i>Universal Friction Wear Tester</i>	20
Gambar 4.1	Hasil spesimen setelah proses <i>induction heating</i>	21
Gambar 4.2	Perbandingan nilai rata-rata kekerasan spesimen <i>inner ring bearing non</i> pabrikan resmi	22
Gambar 4.3	Perbandingan nilai keausan spesimen <i>inner ring bearing non</i> pabrikan resmi.....	26
Gambar 4. 4	Komparasi Hasil Pengujian Kekerasan dan Ketahanan Aus	27

DAFTAR SINGKATAN

VHN : *Vickers Hardness*

W : Volume tergores

Ws : Laju keausan

B : Tebal disc

b : Panjang permukaan tergores

r : Jari-jari *disc*

Po : Beban penekanan

lo : Jarak pengausan



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi di era sekarang banyak peralatan yang sengaja dibuat untuk membantu proses pengerjaan terutama di dunia industri [1]. Dalam dunia industri banyak peralatan yang terbuat dari logam baja. Peranan logam baja di dunia industri sangat penting dan dibutuhkan dengan jumlah yang lebih, karena baja memiliki keunggulan sifat mekanik yang baik seperti pada kekerasan, kekuatan dan ketahanan aus. Baja merupakan logam yang sering digunakan untuk keperluan konstruksi dan komponen mesin.

Dengan adanya keperluan logam secara lebih, seperti meningkatnya produktivitas kendaraan menyebabkan banyak pabrik yang memproduksi *sparepart* atau suku cadang dengan harga relatif murah. Salah satunya adalah *bearing* yang berfungsi menjaga poros ban (as roda) agar tidak langsung bergesekan dengan rumah roda. *Bearing* dibuat harus cukup kuat dan kokoh agar komponen mesin lain dapat bekerja dengan baik.[2]. Produk yang diproduksi pabrikan resmi dan *non* resmi memiliki karakteristik yang berbeda, yang mana produk pabrikan resmi dinilai lebih unggul dari produk *non* pabrikan resmi. Untuk itu diperlukan analisis dan perbaikan sifat fisik pada *bearing non*-pabrikan resmi agar kualitas *bearing non* pabrikan resmi meningkat, salah satunya dengan cara proses perlakuan panas (*heat treatment*) pada *bearing non*-pabrikan resmi[3].

Proses perlakuan panas pada umumnya merubah struktur mikro pada baja sehingga sifat fisik juga akan ikut berubah. Tujuan dari perlakuan panas mengubah sifat fisik sesuai yang diinginkan, seperti meningkatkan kekerasan, melunakan, meningkatkan kekuatan, dan mengembalikan pada kondisi normal akibat proses perlakuan sebelumnya [4]. Salah satu perlakuan panas material logam yaitu *induction heating*. *Induction heating* adalah proses perlakuan panas yang dilakukan secara *thermal hardening* secara cepat tanpa menambahkan komposisi kimia[5]. Proses *induction heating* sering digunakan di dunia industri seperti pada pengerasan permukaan pada komponen mesin yang terbuat dari logam. Proses perlakuan ini

sering digunakan karena dalam proses perlakuan panas tidak memerlukan banyak biaya, sederhana, dan waktu yang dibutuhkan singkat dibanding perlakuan panas yang lainnya. Berdasarkan penelitian proses perlakuan *induction heating* sering digunakan pada komponen mesin seperti *bearing*, *sprocket*, mata pahat, *camshaft* dan komponen mesin lainnya yang terbuat dari paduan logam besi[5].

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penulis ingin melakukan penelitian tentang pengaruh perlakuan panas *induction heating* terhadap sifat fisik dari *inner ring bearing non-pabrikan resmi* sepeda motor.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka rumusan masalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi kuat arus dan waktu pada *induction heating* terhadap suhu yang mempengaruhi sifat fisik struktur mikro *inner ring bearing non-pabrikan resmi*?
2. Bagaimana pengaruh variasi kuat arus dan waktu pada *induction heating* terhadap suhu yang mempengaruhi sifat mekanik kekerasan mikro *inner ring bearing non-pabrikan resmi*?
3. Bagaimana pengaruh variasi kuat arus dan waktu pada *induction heating* terhadap suhu yang mempengaruhi sifat mekanik ketahanan aus *inner ring bearing non-pabrikan resmi*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini dibuat agar tidak menyimpang terhadap apa yang di bahas dimana meliputi hal-hal sebagai berikut :

1. Proses perlakuan panas menggunakan *Induction Heating* yang terletak di Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
2. Pembuatan meja alat *induction heating* dengan menentukan desain bersama dosen pembimbing dan asisten laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.

3. Proses *Induction Heating* dilakukan dengan empat variasi kuat arus 600A, 800A, dan 1000A.
4. Waktu pemanasan masing-masing 15 detik, 20 detik, dan 25 detik.
5. Pemilihan spesimen untuk pengujian material berdasarkan suhu yang dihasilkan dari variasi kuat arus dan waktu dengan jarak temperatur yang signifikan antara temperatur terendah, tengah, tertinggi dan *raw material*.
6. *Inner ring bearing* yang digunakan adalah *bearing* tipe NKN 6301 dari *non* pabrikan resmi yang sering digunakan pada motor.
7. Pengujian yang dilakukan pada produk *inner ring bearing* adalah pengujian kekerasan *micro vickers*, pengamatan struktur mikro dan pengujian keausan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh *induction heating* terhadap sifat fisik struktur mikro *inner ring bearing non-pabrikan resmi*.
2. Mengetahui pengaruh *induction heating* terhadap sifat mekanik pada kekerasan *inner ring bearing non-pabrikan resmi*.
3. Mengetahui pengaruh *induction heating* terhadap sifat mekanik pada ketahanan aus *inner ring bearing non-pabrikan resmi*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Hasil penelitian dapat menambah informasi mengenai metode proses *heat treatment* khususnya proses *Induction Heating*.
2. Hasil penelitian dapat digunakan untuk mengetahui temperatur yang optimal dalam melaksanakan proses *Induction Heating* pada *inner ring bearing non* pabrikan resmi.
3. Hasil penelitian dapat digunakan untuk mengetahui sifat fisik dari *inner ring bearing non* pabrikan resmi.
4. Hasil penelitian dapat digunakan untuk mengetahui perbandingan sifat fisik *inner ring bearing* sebelum (*raw material*). dan *bearing non* pabrikan resmi setelah proses *Induction Heating*

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan penelitian ini diuraikan bab demi bab yang berurutan untuk mempermudah pembahasannya. Pokok permasalahan dalam penulisan ini dibagi menjadi lima bab yaitu :

1. Bab I Pendahuluan berisi tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penelitian.
2. Bab II Tinjauan Pustaka berisi mengenai kajian pustaka dari hasil yang telah dicapai dan penelitian sebelumnya serta teori-teori yang digunakan sebagai dasar dalam pemecahan masalah pada tugas akhir ini.
3. Bab III Metodologi Penelitian berisi langkah-langkah dan metode yang digunakan dalam tugas akhir ini.
4. Bab IV Hasil dan Pembahasan merupakan data dan pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan.
5. Bab V Penutup berisi kesimpulan dari semua uraian yang telah dijabarkan pada bab sebelumnya yang dilengkapi dengan saran-saran agar penelitian selanjutnya dapat lebih baik.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Dalam melakukan penelitian ini penulis mempelajari kajian pustaka dari penelitian-penelitian sebelumnya sebagai dasar bahan acuan penelitian. Adapun kajian pustaka yang penulis pelajari sebagai berikut:

Pada tahun 2018, Ismail R melakukan penelitian pengaruh frekuensi arus induksi terhadap distribusi kekerasan pada teknik penegasan quenching permukaan pada *camshaft* mesin diesel 2 Pada proses tersebut dipanaskan menggunakan kuat arus 600 A, waktu 20 detik dan *coil* 3 lilitan. Pada penelitian tersebut *raw material* 32 HRC setelah dipanaskan terjadi peningkatan kekerasan yang diuji menggunakan uji *Vickers* menghasilkan nilai 49 HRC [6].

Pada tahun 2015, Aprilitama NR melakukan pengamatan struktur mikro dan kekerasan pada roda gigi yang berbahan material Baja ST 60 pasca pengerasann permukaan menggunakan pemanas induksi. Parameter yang digunakan kuat arus 700 A, waktu 9 detik menghasilkan suhu 678 °C. Pada penelitian ini diketahui kekerasan *raw material* 313.8 VHN setelah dipanaskan terjadi kenaikan kekerasan yang diuji menggunakan kekerasan uji *micro vickers* menghasilkan nilai 898,3 VHN [7].

Pada tahun 2020, Faisal RA melakukan pengamatan struktur mikro dan kekerasan pada roda gigi yang berbahan material Baja AISI P20 pasca pengerasann permukaan menggunakan pemanas induksi. Parameter yang digunakan ampere 820 A, 1100A, waktu 32 detik dan koil 3 lilitan. Pada penelitian ini diketahui kekerasan *raw material* 631,3 VHN setelah dipanaskan terjadi kenaikan kekerasan yang diuji menggunakan kekerasan uji *micro Vickers* menghasilkan nilai 1561 VHN [8].

Pada tahun 2016, Wendel M melakukan pengamatan struktur mikro dan kekerasan pada *bearing* berbahan material 100Cr6 pasca pengerasan permukaan menggunakan pemanas induksi. Pada proses pemanasan tersebut menggunakan parameter suhu 660°C. Pada penelitian tersebut diketahui kekerasan *raw material*

195 HV setelah dipanaskan selama 20 detik terjadi kenaikan kekerasan yang diuji menggunakan uji Vickers menghasilkan nilai 295 HV [9].

Berdasarkan jurnal dan penelitian diatas, penulis melakukan percobaan proses induction heating pada *inner ring bearing* 6301 non pabrikan resmi yang digunakan pada motor. Dengan melakukan *induction heating* kekerasan *inner ring bearing* akan bertambah keras. Berdasarkan penelitian yang dilakukan [2] bahwa standar kekerasan *bearing* pabrikan resmi bernilai 802 VHN, penelitian tersebut bisa dijadikan sebagai acuan penelitian penulis. (13). Parameter penelitian menggunakan variasi kuat arus 600A, 800A, 1000A , dan masing masing ampere divariasikan dengan waktu 15 detik,20 detik, dan 25 detik. Setelah melakukan pemanasan spesimen dilakukan pengujian sifat mekanik seperti kekerasan, mikro struktur, dan keausan.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Baja (*steel*)

Baja merupakan jenis logam paduan antara besi yang mengandung karbon sampai 1,7%. Baja memiliki berbagai jenis yang dikelompokkan berdasarkan banyaknya kandungan karbon. Kandungan karbon memberikan pengaruh besar terhadap sifat mekanik dan struktur mikro seperti pada kekerasan dan kekuatan material [10]. Berikut klasifikasi baja berdasarkan presentase kadar karbon yang terkandung:

a. Baja Karbon (*carbon steel*)

Baja karbon merupakan paduan besi dan karbon dimana unsur karbonnya sangat menentukan sifatnya. Digolongkan menjadi 3 yaitu :

- **Baja Karbon Rendah (*low carbon steel*)**

Baja karbon rendah mengandung unsur karbon <0.25% yang sulit untuk dilakukan proses perlakuan panas. Baja karbon rendah memiliki ketangguhan dan keuletan yang tinggi namun memiliki ketahanan aus yang rendah. Baja jenis ini sering digunakan untuk struktur bangunan.

- **Baja Karbon Sedang (*medium carbon steel*)**

Baja karbon menengah mengandung unsur karbon antara 0.25 % - 0.5 %, baja jenis dapat diproses perlakuan panas dengan pendinginan secara cepat. Baja ini

memiliki sifat ketangguhan dan ketahanan aus yang cukup tinggi. Biasa digunakan untuk pembuatan roda gigi ataupun komponen mesin.

- Baja Karbon Tinggi (*high carbon steel*)

Baja karbon tinggi merupakan baja yang mengandung unsur karbon $>0.6\%$ dan memiliki sifat baja yang paling keras dan tangguh namun memiliki sifat getas. Baja jenis ini memiliki ketahanan aus yang tinggi dan sering digunakan untuk alat perkakas dan komponen mesin yang membutuhkan sifat aus yang tinggi [11].

- b. Baja Paduan (*alloy steel*)

Baja paduan merupakan baja yang mengandung unsur lain atau dengan kadar lebih daripada baja lainnya atau baja karbon. Dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu :

- Baja Paduan Rendah (*low alloy steel*)

Baja paduan rendah adalah baja yang mengandung unsur paduan kurang dari 10%. Baja paduan memiliki keuletan yang tinggi tanpa mengurangi kekuatan tarik dan biasanya lebih tahan terhadap temperatur dibanding baja karbon dengan kadar yang sama. Baja jenis ini biasa digunakan untuk bahan jembatan, roda kereta api dan konstruksi mesin.

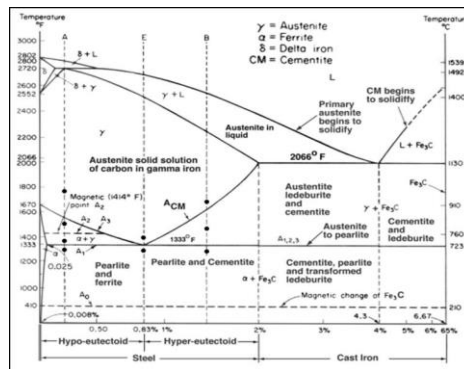
- Baja Paduan Tinggi (*high alloy steel*)

Baja paduan tinggi memiliki kadar unsur yang paling tinggi biasanya lebih dari 10% dan memiliki sifat yang sangat keras serta ketahanan aus yang sangat tinggi. Biasanya baja jenis ini digunakan pada kondisi yang telah dikeraskan (*hardened*). Aplikasi dari material baja ini seperti pahat HSS, komponen mesin, peralatan potong dan sejenisnya [12].

2.2.2 Perlakuan Panas

Proses perlakuan panas (Heat Treatment) adalah suatu proses mengubah sifat logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan dengan atau tanpa merubah komposisi kimia logam yang bersangkutan. Tujuan proses perlakuan panas untuk menghasilkan sifat-sifat logam yang diinginkan. Perubahan sifat logam akibat proses perlakuan panas dapat mencakup keseluruhan bagian dari logam atau sebagian dari logam. Adanya sifat alotropik dari besi menyebabkan timbulnya variasi struktur mikro dari

berbagai jenis logam. Alotropik itu sendiri adalah merupakan transformasi dari satu bentuk susunan atom (sel satuan) ke bentuk susunan atom yang lain. Diagram fasa adalah diagram yang menghubungkan antara temperatur dengan kadar karbon, dimana terjadi perubahan fasa pada saat proses pemanasan atau pendinginan. Diagram fasa Fe-C merupakan diagram yang menjadi parameter untuk mengetahui segala jenis fasa yang terjadi di dalam baja, serta untuk mengetahui faktor – faktor apa saja yang terjadi di dalam baja paduan dengan berbagai jenis perlakuan. [13]

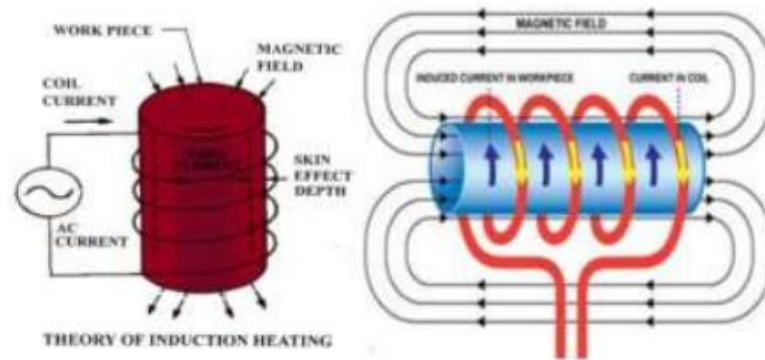


Gambar 2. 1 Diagram fasa Fe.C [13]

Maksud utama dari proses perlakuan panas terhadap baja adalah agar diperoleh struktur yang diinginkan supaya cocok dengan penggunaan yang direncanakan. Struktur tersebut dapat diperkirakan dengan cara menerapkan proses perlakuan panas yang spesifik. Struktur yang diperoleh merupakan hasil dari proses transformasi dari kondisi sebelumnya (awal). Beberapa proses transformasi dapat dibaca melalui diagram fasa.

2.2.3 Induction Heating

Induction heating adalah proses perlakuan panas yang dilakukan secara thermal hardening secara cepat tanpa menambahkan komposisi kimia. Pada *induction heating* bekerja dengan cara arus bolak-balik yang mengalir pada coil tembaga. Arus tersebut yang menimbulkan medan elektromagnetik dan membangkitkan arus listrik pada logam atau produk logam yang ada didalam lingkaran diameter coil, arus tersebut yang menghasilkan panas. Panas tersebut yang akan memanaskan logam baja bahkan bisa sampai mencairkan logam baja [14].



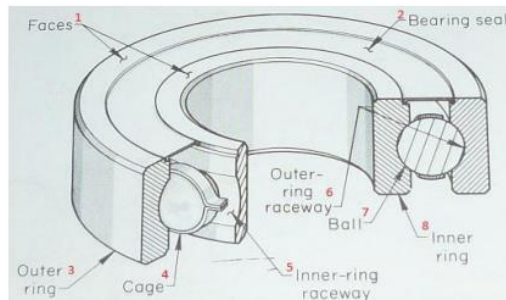
Gambar 2. 2 Ilustrasi proses *induction heating* [14]

Proses *induction heating* sering digunakan untuk mengubah sifat fisik logam baja. Proses tersebut dipengaruhi oleh beberapa parameter yang ditentukan. Variabel yang mempengaruhi *induction heating* adalah *coil*, output arus yang ditentukan (Ampere), waktu pemanasan dan media pendinginan seperti udara, air, dan oli.

2.2.4 *Bearing*

Bearing adalah suatu bantalan peluru di mana tempat bertumpunya poros pada sumbunya dan berputar dengan kedudukan dan poros tersebut[2]. *Bearing* terbentuk oleh beberapa bagian *bearing* yang bisa bekerja dengan baik. Namun dengan *bearing* bekerja secara terus menerus, *bearing* tersebut akan mengalami panas bahkan bisa aus karena gesekan. Berikut komponen-komponen pembentuk *bearing*:

1. *Inner ring*
2. *Outer ring*
3. *Ball Bearing, outer-ring raceway*
4. *Inner-ring raceway.*



Gambar 2. 3 *Bearing* [15]

Proses pembuatan *bearing* biasanya menggunakan material baja karbon tinggi (*high carbon steel*) dengan kekerasan standar pabrik 840 VHN[2].

2.2.5 Pengujian Material

Pengujian material merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui sifat fisik, sifat mekanik dari suatu material. Berdasarkan sifatnya, pengujian material dibagi menjadi dua yaitu pengujian destruktif dan non destruktif. Pengujian destruktif merupakan pengujian yang hasilnya menyebabkan cacat pada material dan dilakukan dengan cara memberikan pembebanan kepada benda uji sampai rusak sehingga bisa diperoleh sifat mekanik bahan. Contohnya pengujian kekerasan, pengujian impak, pengujian tarik. Sedangkan pengujian *non* destruktif adalah pengujian tanpa merusak benda uji. Pengujian ini bertujuan mendeteksi secara dini timbulnya keretakan atau cacat dan sejesinya pada material. Contoh pengujian ini yaitu pengujian visual, cairan penetran, pengujian radiografi, *eddy current*, ultrasonik dan lainnya [16].

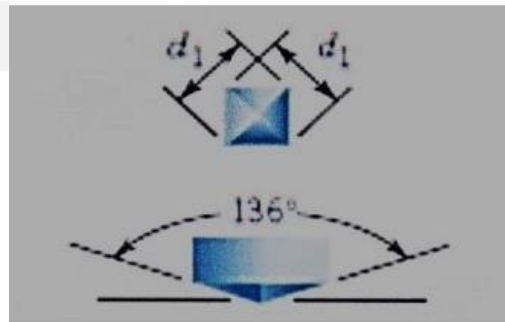
Pada penelitian yang kami lakukan pengujian yang digunakan meliputi pengujian destruktif dan non destruktif seperti uji kekerasan, keausan dan struktur mikro.

a. Pengujian Kekerasan *Micro Vickers*

Pengujian kekerasan merupakan kegiatan untuk mengetahui kemampuan material dalam menahan goresan (*scratch*) dan menahan deformasi elastis dibawah indentasi. Salah satu metode pengujian kekerasan yang banyak digunakan adalah metode *vickers microhardness* dikarenakan spesimen uji/material yang akan diuji tipis dan luas area yang akan diamati sangat kecil serta pembacaan hasil dari jejak

ujinya dapat lebih akurat. Selain itu rentang beban uji yang dipakai pada pengujian *mikro vickers* ini adalah kecil, yakni antara 1 gf sampai 1000 gf [17].

Pengujian kekerasan *vickers microhardness* bertujuan menentukan kekerasan material dalam bentuk ketahanan material terhadap intan piramida dengan sudut puncak 136 derajat seperti pada gambar 2.3 yang ditekankan pada permukaan benda uji [18].

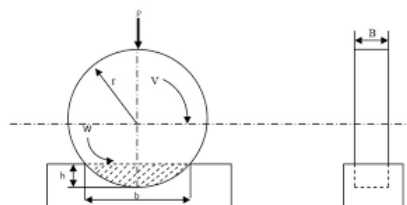


Gambar 2. 4 Indentor kekerasan *micro vickers* [18]

b. Pengujian Keausan

Keausan merupakan proses kehilangan substansi secara progresif dari permukaan operasi dari benda akibat gesekan terhadap permukaan benda lain. Pengujian keausan dapat dilakukan dengan berbagai teknik dan metode dimana semuanya bertujuan untuk mensimulasikan kondisi aktual. Salah satu dari metode tersebut adalah dengan metode Ogoshi dimana benda uji akan dikenai beban gesek dari piringan yang berputar ditunjukkan pada gambar 2.4. Pembebanan gesek tersebut yang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji.

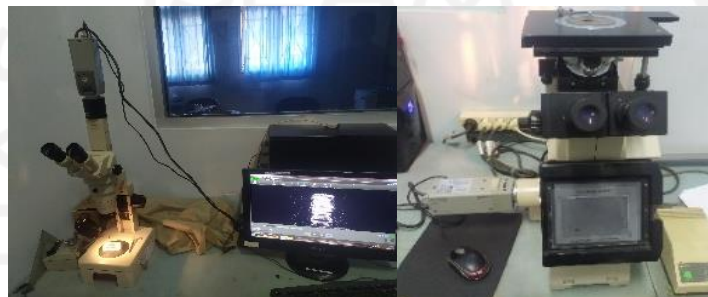
Besarnya jejak permukaan dari material tergesek itulah yang dijadikan dasar penentuan tingkat keausan pada material dimana semakin dalam dan besar jejak tegores maka semakin besar volume material uji yang.



Gambar 2. 5 Ilustrasi uji keausan metode Ogoshi [4]

c. Pengujian Metalografi

Metalografi diartikan sebagai pengamatan struktur dan bentuk material yang bertujuan sebagai kontrol kualitas. Pengujian metalografi merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui/mempelajari karakteristik mikrostruktur serta hubungannya dengan sifat material dari logam, paduan logam dan material lainnya dengan bantuan alat seperti mikroskop SEM (*scanning electron microscope*), mikroskop optik dan sejenisnya (Ganeca, n.d.). Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2. 6 Mikroskop SEM dan mikroskop optik

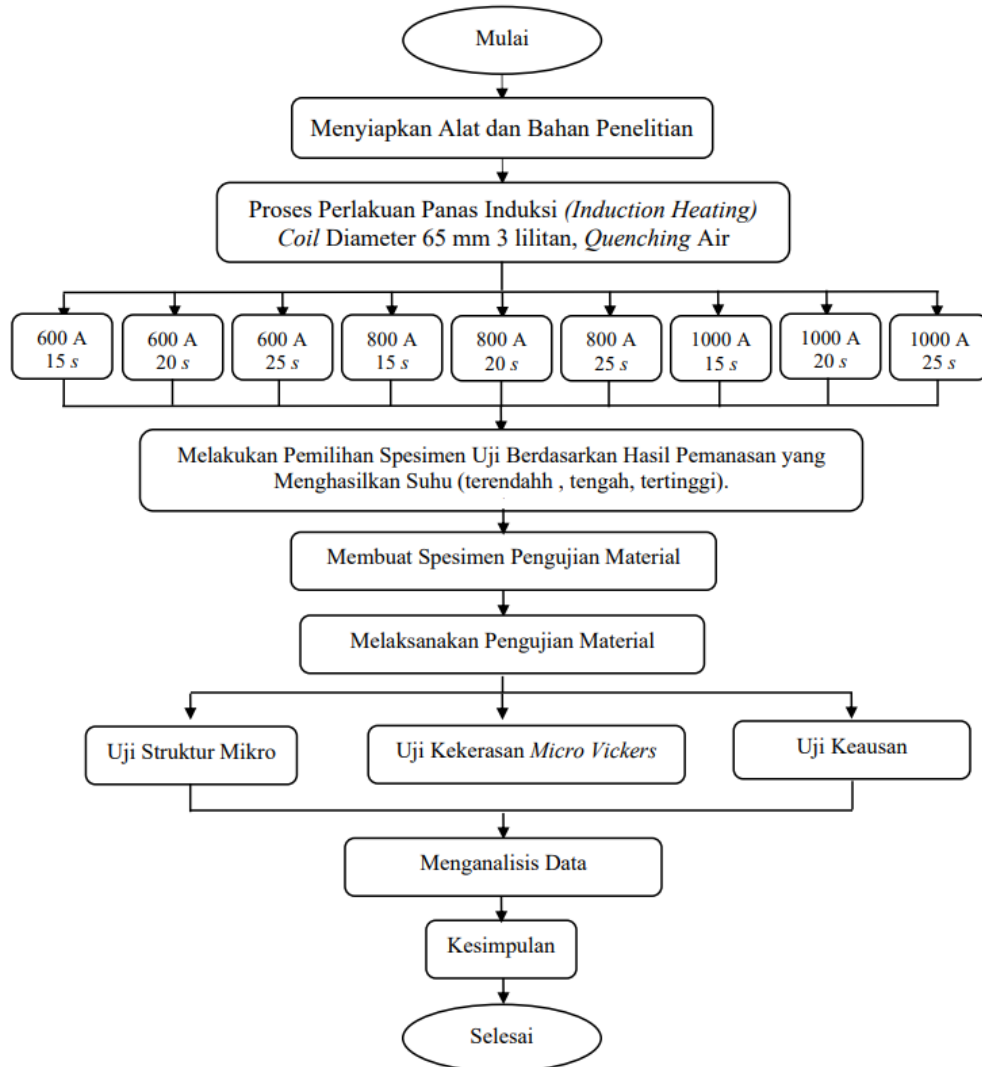
Pengamatan metalografi diklasifikasikan menjadi dua yaitu pengamatan dengan perbesaran 10-30 kali (makroskopi), biasanya digunakan untuk kondisi struktur material yang terdapat potongan/patahan kemudian pengamatan mikroskopi yaitu pengamatan dengan perbesaran lebih dari 30 kali tergantung sifat struktur yang akan diamati. Dapat dilakukan dengan mikroskop optik, mikroskop SEM dan mikroskop TEM.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Tahapan penelitian dapat dilihat pada gambar 3-1 diagram alur di bawah:



Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian

Dalam alur penelitian ini, yang pertama dilakukan menyiapkan alat dan bahan. Parameter tetap yang digunakan pada proses *induction heating* menggunakan *coil* 65 mm dan pendinginan cepat media air. Proses pemanasan dilakukan pada 9 spesimen menggunakan variasi kuat arus dan waktu masing-masing yang digunakan adalah kuat arus 600 A waktu 15 detik, 600 A waktu 20

detik, 600 A waktu 25 detik, 800 A waktu 15 detik, 800 A waktu 20 detik, 800 A waktu 25 detik, 1000 A waktu 15 detik, 1000 A waktu 20 detik, dan 1000 A waktu 25 detik. Dalam proses pemanasan dilakukan pengamatan temperatur menggunakan *thermometer*. Setelah melakukan pemanasan dilakukan pemilihan 3 spesimen berdasarkan temperatur terendah, tengah dan tertinggi. Selanjutnya melakukan pembuatan dudukan pada spesimen untuk mempermudah proses pengujian material. Pengujian material dilakukan pada pengujian kekerasan, pengamatan struktur mikro dan pengujian keausan. Setelah melakukan pengujian material, dilakukan menganalisa data hasil pengujian material. Pada tahap akhir dilakukan pembuatan kesimpulan penelitian.

3.2 Lokasi penelitian






Penelitian dilakukan di Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia dan Laboratorium Teknik Mesin Universitas Gajah Mada.




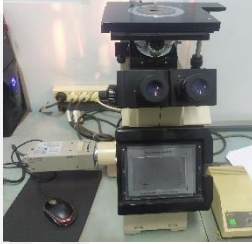


3.3 Peralatan dan Bahan


Dalam melakukan pengerjaan penelitian tugas akhir ini, digunakan beberapa peralatan dan bahan untuk mendukung penelitian seperti ditunjukkan pada tabel 3.1 dan 3.2.

No.	Nama Alat	Gambar	Fungsi
1	Alat pelindung diri		Melindungi pada saat proses pemotongan spesimen

Tabel 3. 1 Alat Penelitian



No.	Nama Alat	Gambar	Fungsi
2	Mesin <i>Induction Heating</i>		Melakukan proses pemanasan pada benda kerja yang terdiri dari (mesin <i>Induction Heating</i> , pompa air, meja kerja, dan ember)
3	Gerinda		Untuk memotong benda kerja
4	Ragum		Mencekam benda kerja
5	<i>Toolbox</i>		Membantu proses perlakuan panas
6	Jangka sorong		Mengukur benda kerja

No.	Nama Alat	Gambar	Fungsi
7	Amplas 200,400,600, 800,1000,1500		Menghaluskan benda kerja
8	Ember		Sebagai wadah air pendinginan setelah <i>Inner ring</i> dipanaskan
9	Mesin Amplas PLATO		Melakukan pengamplasan spesimen
10	<i>Stereo zoom microscope</i>		Alat untuk mengamati struktur mikro 100 & 200 pembesaran
11	<i>Micro vickers hardness -M3 Microscope</i>		Digunakan untuk uji kekerasan
12	Laptop		Untuk pengolahan data

No.	Nama Alat	Gambar	Fungsi
13	<i>Universal Friction Wear Tester</i>		Untuk menguji keausan

Tabel 3-1 Bahan Penelitian

No.	Nama Bahan	Gambar
1	<i>Bearing NKN 6301</i>	
2	<i>Inner Ring Bearing NKN 6301</i>	
3	Resin & katalis serta <i>freshcare</i>	
4	Plastisin, kaca, cetakan & lem	
6	Air PDAM LAB. Teknik Mesin	

No.	Nama Bahan	Gambar
7	Autosol	
8	Cairan etsa HNO ₃ 2.5%	

3.4 Pembuatan Spesimen

3.4.1 Proses Pemotongan Produk *Bearing*

Dalam penelitian ini spesimen yang digunakan adalah *inner ring bearing non* pabrikan resmi tipe NKN 6301 yang diambil dari komponen *bearing*. Proses pemotong dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan.
2. Memakai alat pelindung diri.
3. *Bearing* dijepit pada ragum laboratorium proses produksi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
4. Menyalakan mesin gerinda untuk memotong bagian komponen *out ring bearing*.
5. Dilakukan pemotongan komponen *out ring bearing*.
6. Pengambilan *inner ring bearing*.



Gambar 3. 2 Spesimen uji *Induction Heating*

3.4.2 Proses *Induction heating*

Pada proses *induction heating* ini menggunakan mesin *induction heating* yang terletak di lab proses produksi teknik mesin Universitas Islam Indonesia dengan spesifikasi yang ditunjukkan pada gambar 3.3:



Gambar 3. 3 Spesifikasi Mesin *Induction Heating*

Spesifikasi mesin *Induction Heating* dengan jenis : HDW-25A, power max: 25 KW, Frequency : 20- 80KHZ, max input: 200A-1200A, Tegangan listrik 380V. Adapun alat pendukung mesin *Induction Heating* yang terdiri dari beberapa alat berikut alat-alat pendukung mesin *Induction Heating* dalam proses pemanasan yang ditunjukkan pada gambar 3.4:



(a)



(b)



(c)

(d)

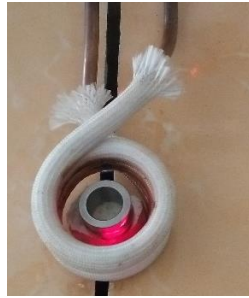
Gambar 3. 4 Alat *Induction Heating* dan Pendukung Proses Pemanasan

Alat pendukung dalam proses *induction heating* meliputi mesin *induction heating* beserta meja kerja dan pompa air sebagai pendingin mesin *induction heating* pada gambar 3.4 (a), *coil* sebagai konduktor pada gambar 3.4 (b), ember pada gambar 3.4 (c), *thermometer* pada gambar 3.4 (d) sebagai pengecek suhu selama pemanasan *inner ring bearing* dan air sebagai media pendingin proses *induction heating* pada *inner ring bearing*. Setelah menyiapkan alat proses *induction heating* kemudian menyiapkan parameter proses pemanasan yang ditentukan. Berikut tabel 3.2 proses pemanasan *induction heating*:

Tabel 3. 2 Parameter Proses *Induction Heating*

Arus (A)	Waktu(detik)	Pendinginan	Temperatur(°C)
600	15	air	422 °C
600	20	air	528 °C
600	25	air	558 °C
800	15	air	600 °C
800	20	air	660 °C
800	25	air	688 °C
1000	15	air	758 °C
1000	20	air	800 °C
1000	25	air	leleh

Dalam proses pemanasan dilakukan pada 9 spesimen *inner ring bearing non* pabrikan resmi. Sebelum melakukan pemanasan mengatur arus dan waktu terlebih dahulu pada mesin berdasarkan parameter yang ditentukan. Hasil parameter tersebut menghasilkan suhu yang berbeda-beda diukur menggunakan *thermometer* selama pemanasan. Proses pemanasan diikuti dengan pendinginan secara langsung menggunakan media air yang ada di laboratorium Teknik Mesin UII. Berikut foto ilustrasi proses pemanasan.



Gambar 3. 5 Peletakan spesimen di *coil*



Gambar 3. 6 Setting arus dan waktu pada mesin *Induction Heating*



Gambar 3. 7 Proses pendinginan cepat media air

Setelah proses *induction heating* selesai kemudian dilakukan pengujian material. Sebelumnya dilakukan pemilihan produk sesuai suhu yang ditentukan. Karena proses pemanasan menghasilkan suhu yang berbeda-beda dan hasilnya ada persamaan. Untuk itu hasil yang sama diambil salah satu. Pemilihan spesimen terdapat 3 produk yang menghasilkan temperatur terendah 422 °C dari parameter (arus 600 A, waktu 15 detik), temperatur menengah 600 °C dari parameter (kuat arus 800 A, waktu 15 detik) dan temperatur tertinggi 800 °C dari parameter (kuat arus 1000 A, waktu 20 detik). Berikut hasil pemanasan spesimen *inner ring bearing non* pabrikan resmi:



Gambar 3. 8 Hasil spesimen *Induction Heating*

3.5 Proses Pengujian

3.5.1 Pengujian Kekerasan *Microhardness Vickers*

Pengujian kekerasan *microhardness vickers* digunakan untuk mengetahui kekerasan material. Pengujian *micro vickers* menggunakan alat uji *micro vicker hardness -M3 microscope* seperti gambar 3.9 agar hasil yang didapatkan lebih akurat. Sebelum dilakukan pengujian *micro vickers* produk dibuat cetakan resin terlebih dahulu untuk memudahkan proses pengujian *micro vickers*. Pengujian *micro vickers* dilakukan pada 1 *inner ring bearing raw material* dan 3 *inner ring bearing* yang sudah di proses *induction heating*. Pengujian kekerasan dilakukan pada 3 titik setiap produk *inner ring bearing* dengan pembebanan sebesar 200 gf.



Gambar 3. 9 *Micro Vickers Hardness -M3 Microscope*

Untuk menghitung nilai kekerasan *vickers* dapat digunakan persamaan berikut:

$$HV = \frac{2 F \sin(a/2)}{d^2} = \frac{1.854 F}{d^2} \dots\dots\dots(3.1)$$

- Keterangan :
- HV = nilai kekerasan vickers (VHN)
 - F = gaya (kg)
 - a = sudut puncak (136⁰)
 - d = diameter jejak indentansi rerata (mm) [20]

3.5.2 Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan pada spesimen yang digunakan pada pengujian kekerasan. Sebelum dilakukan pengamatan spesimen diampals terlebih dahulu menggunakan amplas dari grade 200,400,600,800,1000,1500 secara bergantian sampai halus dan selanjutnya dilakukan proses autosol (*polishing*) sampai mengkilap, lalu permukaan dioles menggunakan cairan etsa HNO₃ 2.5% hingga kering, spesimen ditunjukkan pada gambar 3.10. Pengujian dilakukan dengan *Stereo Zoom Microscope* pembesaran 100x dibagian tepi dan tengah produk *inner ring bearing* sehingga struktur mikro pada material terlihat. Pada pengujian struktur mikro dilakukan pada 3 produk *non* pabrikan resmi hasil *induction heating* dan 1 spesimen *non* pabrikan resmi *raw material*.



Gambar 3. 10 Spesimen uji struktur mikro

3.5.3 Pengujian Keausan

Pengujian keausan ditujukan untuk mengetahui ketahanan aus dari suatu material dengan cara mensimulasikannya seperti kondisi aktual. Pada penelitian ini, pengujian keausan menggunakan alat *Universal Friction Wear Tester* seperti pada gambar kedua 3.11 yang terletak di Laboratorium D3 Teknik mesin Universitas Gajah Mada. Pengujian keausan ini menggunakan metode Ogoshi yang mensimulasikan keausan abrasif pada spesimen uji. Spesimen yang digunakan serupa dengan spesimen uji kekerasan.

Pada uji keausan diberikan pembebanan sebesar 6.36 kg sesuai dengan kekerasan spesimen dengan jarak pengausan sebesar 15 m. Jejak goresan yang terbentuk oleh *disc* (piringan) yang berputar akan diukur menggunakan *Stereo Zoom Microscope*



Gambar 3. 11 Alat Pengujian *Universal Friction Wear Tester*

Pada pengujian keausan volume tergores pada spesimen dapat dihitung menggunakan persamaan 3.2 berikut:

$$W = \frac{B \times b^3}{12 \times r} \dots\dots\dots(3.2)$$

- Dengan
- W = volume tergores (mm³),
 - B = tebal *disc* (mm)
 - b = panjang permukaan tergores (mm)
 - R = jari-jari *disc* (mm) [21]

Kemudian dilanjutkan dengan perhitungan keausan pada spesimen dengan persamaan 3.3 sebagai berikut

$$W_s = \frac{B \times b^3}{8 \times r \times P_o \times l_o} \dots\dots\dots(3.3)$$

Keterangan :

- W_s = nilai keausan (mm³/kg.m),
- B = tebal *disc* (mm),
- b = panjang permukaan tergores (mm),
- R = jari-jari *disc* (mm)
- P_o = beban penekanan (kg)
- L_o = jarak pengausan (m) [22]

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Proses *Induction Heating*

Pada penelitian ini dilakukan beberapa proses pengujian untuk mengetahui sifat fisik struktur mikro dan mekanik pada kekerasan, ketahanan aus dari material/spesimen *inner ring bearing* hasil proses *induction heating* dengan variasi kuat arus dan waktu pemanasan yang menghasilkan temperature tertentu. Berikut hasil ini yang ditunjukkan pada gambar 4.1 yaitu spesimen *inner ring bearing non-pabrikan resmi* hasil dari proses *induction heating*. Adapun parameter proses dari penelitian ini ditunjukkan pada tabel 4.1



Gambar 4.1 Hasil spesimen setelah proses *induction heating*

Tabel 4. 1 Parameter proses *induction heating*

No	Parameter	Digunakan
1	Arus	600 A, 800A, 1000A
2	Waktu	15 d,20 d, 25 d
3	Temperatur	422°C, 600°C dan 800°C
4	Media Pendingin	air
5	Coil	3 lilitan

4.1.1 Pengujian Kekerasan *Micro Vickers*

Pengujian kekerasan pada permukaan material dilakukan menggunakan alat *Micro Vickers Hardness -M3 Microscope* yang diitikan oleh indentor intan piramid 136° dengan pembebanan 200 gf selama 5 detik. Pada setiap spesimen uji dilakukan penekanan di 3 titik dengan selisih pergeseran jarak per titik sebesar 1 mm dari tengah spesimen.

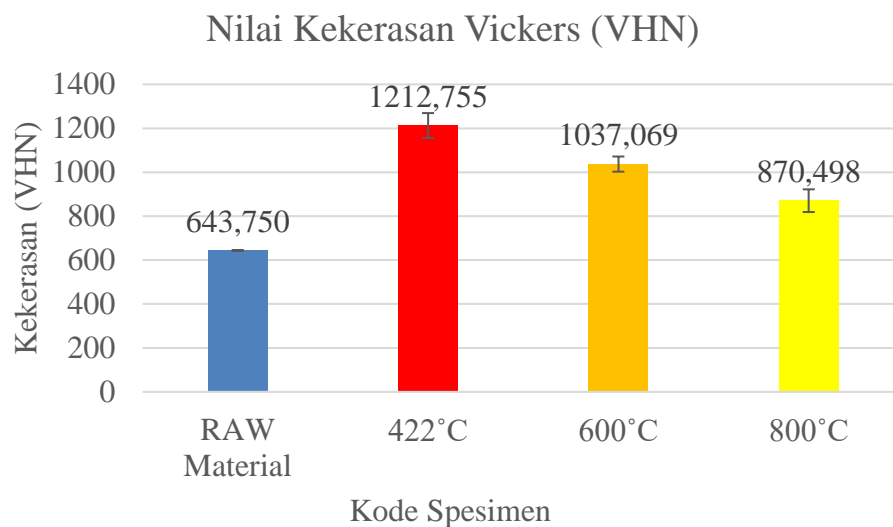
Bekas penekanan dari intan piramid 136° akan diukur dan dijadikan data untuk menghitung nilai kekerasan setiap daerah spesimen menggunakan persamaan (3.1). Salah satu contoh perhitungan pada *inner ring bearing raw material* sebagai berikut

$$HV = \frac{1854 (200)}{24^2} = 643.75 \text{ HVN}$$

Kemudian dihitung nilai rata-rata dari 3 titik uji pada spesimen sebagai contoh pada spesimen hasil *inner ring bearing raw material* berikut

$$HV = \frac{643.75+643.75+643.75}{3} = 643.75 \text{ HVN}$$

Hasil pengujian kekerasan yang dilakukan pada 3 titik uji spesimen dapat dilihat pada bagian lampiran. Nilai kekerasan yang telah dihitung akan di rata-rata sehingga kita mengetahui nilai kekerasan tertinggi spesimen seperti ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Perbandingan nilai rata-rata kekerasan spesimen *inner ring bearing non* pabrikan resmi

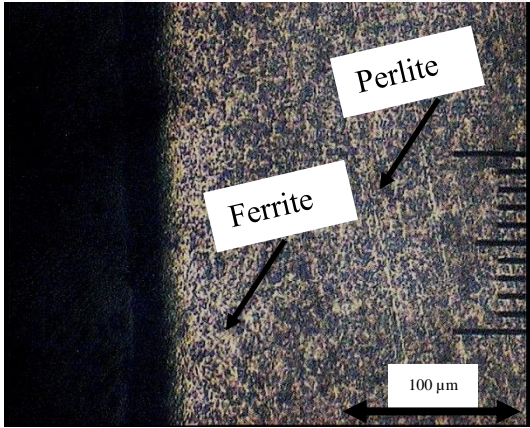
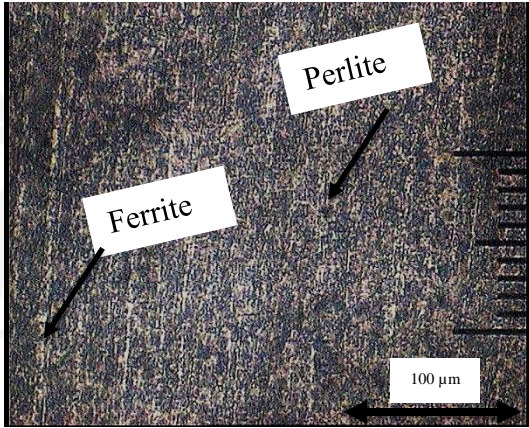
Dari data yang ditunjukkan pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa nilai kekerasan pada *inner ring bearing* hasil proses *induction heating* dengan variasi arus dan waktu dengan spesimen yang dipilih sebagai pengujian sifat fisik mengalami peningkatan dari kekerasan *raw material inner ring bearing non* pabrikan resmi. Nilai kekerasan tertinggi terjadi pada temperatur 422°C dengan

nilai sebesar 1212.75 VHN atau meningkat 46.92% dibanding nilai kekerasan awal (*raw material*) sebesar 643,75 VHN. Pada temperatur 600°C kekerasan meningkat dengan nilai sebesar 1037,07 VHN atau meningkat 39,8%. Pada temperatur 800°C kekerasan meningkat sebesar 870,50 VHN atau meningkat 26%. Hal ini menunjukkan bahwa variasi ampere dan waktu yang menghasilkan temperatur 422°C pada proses *induction heating* memiliki pengaruh paling besar karena hasil kekerasan paling tinggi. Dalam kasus penelitian ini semakin tinggi arus dan waktu yang menghasilkan temperatur lebih tinggi (422°C, 600°C, dan 800 °C) berbanding terbalik pada nilai kekerasan.

4.1.2 Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui struktur yang terbentuk dari sebuah spesimen *inner ring bearing non* pabrikan resmi. Spesimen yang diamati yaitu spesimen dari *raw material* dan spesimen hasil *induction heating* variasi ampere dan suhu. Pengamatan ini menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 100x. Seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.2 yang merupakan foto struktur mikro dari material *inner ring bearing non* pabrikan resmi.

Tabel 4. 2 Struktur mikro *inner ring bearing non* pabrikan resmi.

Variasi	Bagian Tepi	Bagian Tengah
RAW Material		

Berdasarkan tabel 4.2 yang merupakan struktur mikro *bearing* pabrikan resmi dan *non-pabrikan resmi (raw material)*, terlihat bahwa struktur spesimen terdiri dari *ferrite* yang berwarna putih atau terang memiliki sifat lunak dan *pearlite* memiliki warna yang lebih gelap memiliki sifat keras. Kedua struktur *bearing*

memiliki jumlah *ferrite* dan *pearlite* yang cukup seimbang. Pada tabel 4.3 menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro dari *inner ring bearing non* pabrikan resmi proses *induction heating*.

Tabel 4. 3 Pengamatan Struktur Mikro *Inner Ring Bearing* dengan Proses *Induction Heating*

Variasi	Bagian Tepi	Bagian Tengah
422°C		
600°C		
800°C		
Keterangan :		

Variasi	Bagian Tepi	Bagian Tengah
Perbesaran lensa 100×, Jarak skala antar strip: 10 μm (total 100 μm untuk 10 strip)		

Berdasarkan tabel 4.3 hasil pengamatan struktur mikro *inner ring bearing non* pabrikan resmi dengan proses *induction heating*. Untuk *inner ring bearing non* pabrikan resmi dengan proses *induction heating* pada temperatur 422 °C dan 600 °C dapat mengubah struktur mikro. Hasil struktur mikro pada bagian tepi dan tengah memiliki struktur *pearlite* (warna gelap), *ferrit* (warna putih menyala) dan juga muncul *cementit* berwarna putih namun lebih gelap dari *ferrit*, struktur *cementit* memiliki sifat keras dan getas. Nilai kekerasan mengalami peningkatan disebabkan oleh struktur *perlite* yang sifatnya keras dan *cementit* yang sifatnya keras dan getas.

Untuk *inner ring bearing non* pabrikan resmi pada proses *induction heating* temperatur 800 °C dapat mengubah struktur mikro *inner ring bearing non* pabrikan resmi. Hasil struktur mikro pada bagian tepi dan tengah memunculkan butiran *grain boundary ferrite* lebar yang mempunyai sifat lunak dan *martensite* panjang yang keras, tegang dan getas. Hasil proses pemanasan ini menghasilkan peningkatan kekerasan *inner ring bearing non* namun tidak setinggi kekerasan pada temperatur sebelumnya.

Pada pengamatan struktur mikro bisa disimpulkan dengan perlakuan panas *induction heating* material *inner ring bearing non* pabrikan resmi dapat berubah, dengan demikian kekerasan meningkat berdasarkan perubahan struktur mikro material yang terbentuk.

4.1.3 Pengujian Keausan

Pengujian keausan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kemampuan spesimen *sprocket* dalam menahan beban goresan. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat *Universal Friction Wear Tester* menggunakan metode Ogoshi. Pembebanan yang diberikan pada pengujian ini yaitu sebesar 6.36 kg dengan jarak pengausan 15 meter. Kemudian panjang/lebar dari area tergores pada spesimen akan diukur dan dihitung volume tergoresnya dengan persamaan (3.2) yang dilanjutkan dengan mencari nilai keausan menggunakan persamaan (3.3).

Hasil dari pengujian keausan dapat dilihat pada lampiran. Salah satu contoh Hasil perhitungan volume tergores dan nilai keausan pada spesimen uji hasil proses *induction heating* pada temperatur 422°C di titik uji 1 sebagai berikut: Diketahui tebal *disc* (B) adalah 3.45 mm dan jari-jari (r) sebesar 13.6 mm dengan panjang goresan 0.40 mm

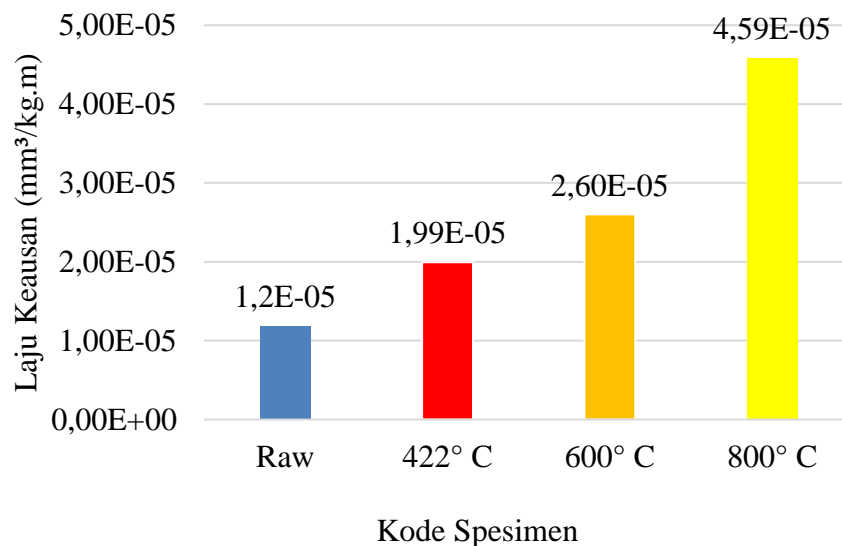
$$W = \frac{3.45 \times 0.40^3}{12 \times 13.6} = 0.00135 \text{ mm}^3$$

$$W_s = \frac{3.45 \times 0.40^3}{8 \times 13.6 \times 6.36 \times 15} = 0.00002 \text{ mm}^3/\text{kg.m}$$

Kemudian dihitung nilai rata-rata dari 3 titik uji pada spesimen sebagai contoh pada spesimen hasil *induction heating* dengan temperatur 422°C berikut

$$W_s = \frac{0.00002 + 0.00002 + 0.00002}{3} = 0.00002 \text{ mm}^3/\text{kg.m}$$

Berikut merupakan perbandingan nilai keausan pada spesimen uji:

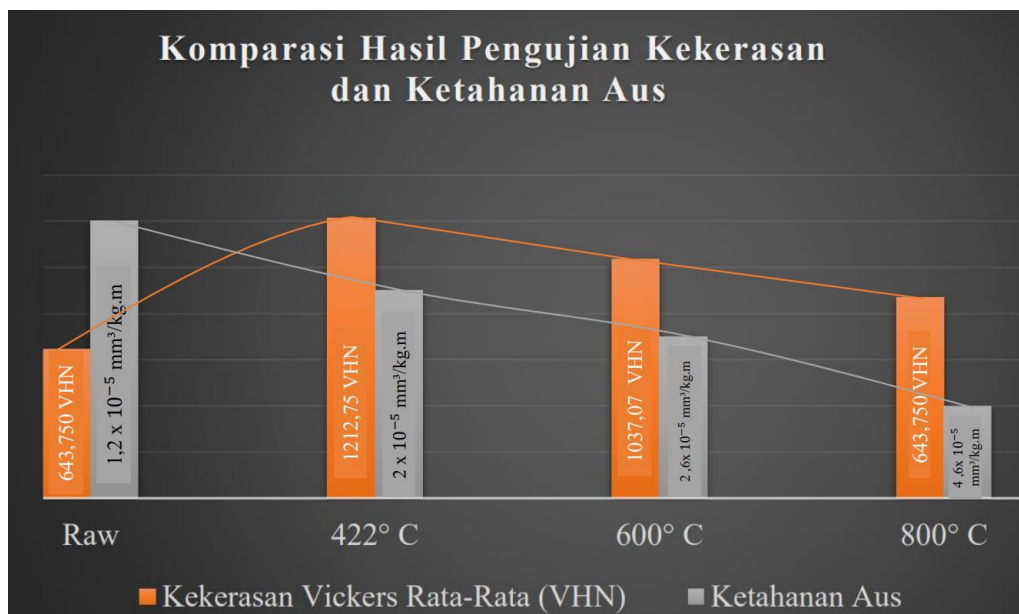


Gambar 4.3 Perbandingan nilai keausan spesimen *inner ring bearing non* pabrikan resmi.

Berdasarkan gambar 4.3 dapat dilihat bahwa nilai keausan terbaik pada spesimen *inner ring bearing non* pabrikan resmi setelah perlakuan panas terjadi pada temperatur 422°C yang memiliki nilai keausan rata-rata sebesar $2 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{kg.m}$ diikuti temperatur 600°C ($2,6 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{kg.m}$), 800°C ($4,6 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{kg.m}$), dan nilai keausan RAW material $1,2 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{kg.m}$

4.2 Pembahasan Proses Induction Heating

Pada penelitian ini, proses *induction heating* dapat mempengaruhi sifat fisik dan mekanik material *inner ring bearing non* pabrikan resmi. Seperti ditunjukkan pada gambar grafik yang mana hasil dari penelitian sifat fisik dan mekanik *inner ring bearing non* pabrikan resmi saling berkaitan.



Gambar 4. 4 Komparasi Hasil Pengujian Kekerasan dan Ketahanan Aus

Pada spesimen RAW material yang memiliki nilai kekerasan 643,750 VHN dan nilai keausan $1,2 \times 10^{-5}$ mm³/kg.m, struktur mikro yang terdapat pada RAW material adalah *perlite* dan *ferrite* sehingga memiliki sifat mekanik yang baik. Setelah dilakukan pemanasan pada temperature tinggi dan dilakukan *quenching* air akan menghasilkan struktur mikro martensite atau sementit, hal ini terjadi berdasarkan suhu pemanasan.

Pada temperatur 422°C kekerasan mengalami peningkatan sebesar 1212,75 VHN dan nilai keausan meningkat sebesar 2×10^{-5} mm³/kg.m yang mana jika nilai keausan meningkat ketahanan aus menurun seperti pada gambar 4.4, hal itu dikarenakan sifat struktur mikro yang terbentuk setelah dipanaskan pada suhu 422 °C yaitu struktur mikro *perlite* (sifat keras) *ferrite* (sifat lunak) dan terbentuk *sementit* (sifat keras dan getas) yang menyebabkan kekerasan meningkat dan menurunkan ketahanan aus material.

Pada temperatur 600°C kekerasan mengalami peningkatan sebesar 1037,07 VHN dan keausan meningkat sebesar $2,6 \times 10^{-5}$ mm³/kg.m yang mana jika nilai keausan meningkat ketahanan aus menurun seperti pada gambar 4.4, hal itu dikarenakan sifat struktur mikro yang terbentuk setelah dipanaskan pada suhu 600 °C yaitu struktur mikro *perlite* (sifat keras) ,*ferrite* (sifat lunak) dan terbentuk *sementit* (sifat keras dan getas) yang menyebabkan kekerasan meningkat dan menurunkan ketahanan aus material. Namun peningkatan kekerasan tidak setinggi pada temperature sebelumnya dikarenakan struktur *sementit* sudah melalui suhu optimum. Sehingga kekerasan yang dihasilkan menurun.

Pada temperatur 800°C kekerasan mengalami peningkatan dengan nilai 870,50 VHN dan keausan meningkat sebesar $4,6 \times 10^{-5}$ mm³/kg.m yang mana jika nilai keausan meningkat ketahanan aus menurun seperti pada gambar 4.4, hal itu dikarenakan sifat struktur mikro yang terbentuk setelah dipanaskan pada suhu 800 °C yaitu struktur mikro *martensite* (sifat keras dan getas) dan *grain boundary ferrite* (sifat lunak) yang meningkatkan kekerasan dan menurunkan ketahanan aus material. Namun peningkatan kekerasan tidak setinggi pada temperatur sebelumnya dikarenakan struktur *martensite* yang terbentuk tidak merata dan struktur *grain boundary ferrite* melebar.. Sehingga kekerasan yang dihasilkan menurun dan ketahanan aus menurun.

Hal ini menunjukkan bahwa temperatur pada proses *induction heating* berpengaruh terhadap sifat fisik dan mekanik material. Dengan ditandai nilai kekerasan meningkat dibandingkan dengan kekerasan spesimen RAW material, namun keausan meningkat yang artinya jika nilai keausan maningkat ketahanan aus menurun. Hal tersebut dikarenakan hasil spesimen *inner ring bearing non* pabrikan resmi yang telah dilakukan proses *induction heating* bersifat keras akan tetapi rapuh atau getas. Sifat keras dan getas itu disebabkan struktur mikro yang terbentuk. Hal ini diperlukan penelitian lanjutan dengan cara proses perlakuan panas lanjutan seperti *tempering*, memperoleh sifat baja dengan kombinasi yang baik seperti keras, ulet, tangguh dan tahan aus.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil proses *induction heating* pada spesimen *inner ring bearing non-* pabrikan pada temperatur 422°C memiliki nilai rata-rata kekerasan tertinggi yaitu 1212.75 VHN atau meningkat 46.92% dibanding nilai kekerasan awal (*raw material*) yang memiliki nilai kekerasan 643,75 VHN.
2. Pada pengamatan sifat fisik struktur mikro setelah proses *induction heating* memunculkan struktur mikro *cementit*, *martensite* dan *grain boundary ferrite* yang mempengaruhi sifat mekanik material.
3. *Inner ring bearing non-* pabrikan resmi hasil proses *induction heating* dengan variasi kuat arus dan waktu dapat mempengaruhi ketahanan aus material. Namun, hasil proses *induction heating* tidak dapat meningkatkan ketahanan aus material *inner ring bearing non* pabrikan resmi yang mana nilai keausan pada RAW Material $1,2 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{kg.m}$ setelah proses *induction heating* pada temperatur 422°C mengalami peningkatan keausan sebesar $2 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{kg.m}$.

5.2 Saran

1. Untuk melakukan proses perlakuan panas sebaiknya dilakukan persiapan alat dan bahan dengan baik.
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut, seperti perlunya melakukan perlakuan panas lanjutan, mencari parameter lain untuk mencapai sifat material yang baik.


DAFTAR PUSTAKA

- [1] Reac Pratama, Romli, Satria E. PENGARUH WAKTU DAN SUHU MENGGUNAKAN PEMANAS INDUKSI TERHADAP KEKERASAN MATERIAL PAHAT UKIR KAYU 2021. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.6383869>.
- [2] Yudistirani SA, Mahmud KH, Diniardi E. ANALISIS KEKERASAN PADA OUTER RING DAN INNER RING HASIL PROSES HEAT TREATMENT. *J Teknol* 2018;10:6.
- [3] Rizal Y. PENINGKATAN KEKUATAN TARIK BAJA KARBON AISI 1040 AKIBAT PENGARUH MEDIA PENDINGIN PADA PROSES PERLAKUAN PANAS n.d.:8.
- [4] Sumpena S, Wardoyo W. Pengaruh Variasi Temperatur Hardening dan Tempering Paduan AlMgSi-Fe12% Hasil Pengecoran terhadap Kekerasan. *J Engine Energi Manufaktur Dan Mater* 2018;2:26. <https://doi.org/10.30588/jeemm.v2i1.357>.
- [5] Elements of Induction Heating Copyright © 1988 ASM International® Stanley Zinn, Lee Semiatin, p 1-8 All rights reserved. DOI: 10.1361/eoih1988p001. n.d.
- [6] Ismail R, Aldiyaz F, Bakar MA, Nugroho S. PENGARUH FREKUENSI ARUS INDUKSI TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN PADA TEKNIK Pengerasan QUENCHING PERMUKAAN MENGGUNAKAN TEKNIK INDUKSI STATIS PADA CAMSHAFT MESIN DIESEL 2 SILINDER 2018:7.
- [7] Ismail R, Aprilitama NR, Sugiyanto S. PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN PADA RODA GIGI PASCA Pengerasan PERMUKAAN MENGGUNAKAN PEMANAS INDUKSI. *ROTASI* 2015;17:145. <https://doi.org/10.14710/rotasi.17.3.145-152>.
- [8] Faisal RA, Dzulfikar M, Nugroho S, Ismail R. Effect of Induction Hardening on Microstructure and Hardness of Helical Gear 2020;11:3.
- [9] Wendel M, Hoffmann F, Datchary W. Bearing steels for induction hardening – Part I. *HTM J Heat Treat Mater* 2016;71:20–34. <https://doi.org/10.3139/105.110277>.
- [10] Isworo H, Rahman N. EFFECT OF VARIATIONS IN HEATING TEMPERATURE AND COOLING MEDIA ON THE HARDNESS AND MICROSTRUCTURE OF STEEL ST 41 HARDENING METHOD. *Sci J Mech Eng Kinemat* 2020;5:37–50. <https://doi.org/10.20527/sjme kinematika.v5i1.136>.
- [11] Irfan Fadhilah. Analisis Struktur Mikro (Metalografi) Program Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganeca 10 Bandung 40132, Indonesia. n.d.
- [12] Fatoni Z. PENGARUH PERLAKUAN PANAS TERHADAP SIFAT KEKERASAN BAJA PADUAN RENDAH UNTUK BAHAN PISAU PENYAYAT BATANG KARET n.d.:8.

- [13] Saefuloh I, Zahrawani A, Adjiantoro B. Pengaruh Proses Quenching Dan Tempering Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah Dengan Paduan Laterit 2018;9.
- [14] Politeknik Harapan Bersama, Faisal RA, Ariyanto NA, Politeknik Harapan Bersama, Faoji A, Politeknik Harapan Bersama, et al. Analisis Kekerasan Pada Roda Gigi Hasil Pengerasan Menggunakan Pemanas Induksi. *J Rekayasa Mater Manufaktur Dan Energi* 2020;3:121–7. <https://doi.org/10.30596/rmme.v3i2.5274>.
- [15] Purnama A, Dh A. ANALISIS PERBANDINGAN SIFAT FISIS DAN MEKANIS BANTALAN PELURU BARU, TELAH DIPAKAI DAN RUSAK UNTUK KENDARAAN BERMOTOR RODA DUA 2014;18:7.
- [16] Handoko D. Rancang Bangun Alat Hardenability Jominy Test dan Pengujian Bahan Praktikum Di Laboratorium Pengujian Bahan dan Metrologi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Pontianak n.d.:6.
- [17] Maulana NB, Tidar U, No JKS. PENGARUH VARIASI BEBAN INDENTOR VICKERS HARDNESS TESTER TERHADAP HASIL UJI KEKERASAN MATERIAL ALUMINIUM DAN BESI COR n.d.;1:5.
- [18] Rauf FA, Sappu FP, Lakat AMA. UJI KEKERASAN DENGAN MENGGUNAKAN ALAT MICROHARDNESS VICKERS PADA BERBAGAI JENIS MATERIAL TEKNIK 2018;5:4.
- [19] Fadhilah I, Ganeca J. Analisis Struktur Mikro (Metalografi) n.d.:7.
- [20] Rasyad A. ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR, WAKTU, DAN KUAT ARUS PROSES ELEKTROPLATING TERHADAP KUAT TARIK, KUAT TEKUK DAN KEKERASAN PADA BAJA KARBON RENDAH n.d.:10.
- [21] Jaelani MA, Sidiq MF, Wilis GR. ANALISA PENGUATAN MATA PISAU MESIN PENCACAH SAMPAH ORGANIK DENGAN PROSES HEAT TREATMENT BERTINGKAT. *J CRANKSHAFT* 2021;4:93–102. <https://doi.org/10.24176/crankshaft.v4i1.6024>.
- [22] Andrianto N, Nugroho S. KARAKTERISASI SIFAT KEAUSAN DAN KETAHANAN KOROSI MATERIAL DISC REFINER WHITE CAST IRON DAN STAINLESS STEEL 2014;2:8.

LAMPIRAN

1. Hasil Pengujian Kekerasan


UNIVERSITAS GADJAH MADA
FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN DAN PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI

Kepada Yth.
Diksa Ashrofa Rinaldi
Universitas Islam Indonesia
Di tempat


LAPORAN HASIL UJI LABORATORIUM
Nomor: 881508/UN1/FTK.3/TMI/TA.00.01/2022


Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan hasil pengujian:
Nama sampel : Ring Bearing
Jenis pengujian : Mikro Vickers
Tanggal penerimaan sampel : 11 Agustus 2022
Tanggal dipelaksanaan uji : 11 Agustus 2022
dengan hasil sebagai berikut :

Hasil uji kekerasan

Kode Spesimen	d ₁ (µm)	d ₂ (µm)	d (µm)	d (mm)	VHN	Kekerasan Vickers Rata-Rata
RAW MATERIAL	24	24	24	0.0240	643.75	643.75
	24	24	24	0.0240	643.75	
400°C	17.5	17.5	17.5	0.0175	1210.78	1212.75
	17	17	17	0.0170	1283.04	
	18	18	18	0.0180	1144.44	
600°C	18.5	18.5	18.5	0.0185	1083.42	1037.07
	18.5	19.5	19	0.0190	1027.15	
	19	19.5	19.25	0.0193	1000.64	
800°C	21.5	21.5	21.5	0.0215	802.16	870.50
	20.5	20.5	20.5	0.0205	882.33	
	20	20	20	0.0200	927.00	

Catatan:
1. Hasil uji hanya berlaku untuk sampel yang diuji

Mengetahui
Sekretaris Departemen,

Dr. Eng. Adhika Widyaparaga, S.T., M. Biomed.E.
NIP. 198007162005011001

Yogyakarta, 12 Agustus 2022
Kepala lab Bahan Teknik,

Ir. Kusmono, ST, MT, Ph.D., IPM
NIP. 197211041998031002

Jl. Grafika No. 2 Kampus UGM, Yogyakarta 55281
Telp. (0274) 521673, 6492181 Fax. (0274) 521673, 6492180 E-mail: dtmi.ft@ugm.ac.id

2. Hasil Pengujian Keausan



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN KEAUSAN

Variasi Spesimen	Titik Uji	Tebal Disc (B;mm)	Jari-jari Disc (r;mm)	Panjang Wear (b;mm)	Volume Tergores (W;mm ³)	Keausan (Ws; mm ³ /kg.m)	Keausan rata-rata (Ws; mm ³ /kg.m)
Raw	1	3.45	13.6	0.32	0.00069	0.00001	0.000012
	2	3.45	13.6	0.32	0.00069	0.00001	
	3	3.45	13.6	0.35	0.00088	0.00001	
422° C	1	3.45	13.6	0.40	0.00135	0.00002	0.000020
	2	3.45	13.6	0.40	0.00135	0.00002	
	3	3.45	13.6	0.37	0.00110	0.00002	
600° C	1	3.45	13.6	0.40	0.00135	0.00002	0.000026
	2	3.45	13.6	0.43	0.00164	0.00003	
	3	3.45	13.6	0.45	0.00197	0.00003	
800° C	4	3.45	13.6	0.53	0.00321	0.00005	0.000046
	5	3.45	13.6	0.53	0.00321	0.00005	
	6	3.45	13.6	0.48	0.00234	0.00004	

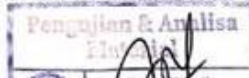
Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 10 Oktober 2022
2. Pengujian menggunakan universal wear
3. Jarak pengausan 15 m, Beban pengujian 6.36 kg

Yogyakarta, 10 Oktober 2022

Staf Laboratorium Bahan Teknik



Dr. Lilik Dwi Setyana, S.T., M.T

NIP. 1977033 2002121002