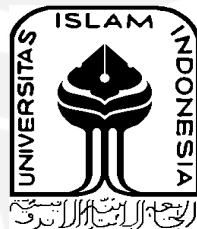


**ANALISIS MEKANIK DAN TRIBOLOGI PADA CAKRAM
ORISINAL DAN IMITASI DENGAN PERLAKUAN
PENGGERASAN PERMUKAAN**

TUGAS AKHIR

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



Disusun Oleh :

Nama : Rhizado Fachri Pratama

No. Mahasiswa : 18525138

NIRM : 1807230124

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

2022

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**ANALISIS MEKANIK DAN TRIBOLOGI PADA CAKRAM
ORISINAL DAN IMITASI DENGAN PERLAKUAN
PENGGERASAN PERMUKAAN**

TUGAS AKHIR


Disusun Oleh :

Nama : Rhizado Fachri Pratama
No. Mahasiswa : 18525138
NIRM : 1807230124

Yogyakarta, 15 November 2022

Pembimbing I

Pembimbing II


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


Ir. Santo Ajie Dhewanto, S.T., M.M., IPP

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**ANALISIS MEKANIK DAN TRIBOLOGI PADA CAKRAM
ORISINAL DAN IMITASI DENGAN PERLAKUAN
PENGGERASAN PERMUKAAN**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Rhizado Fachri Pratama
No. Mahasiswa : 18525138
NIRM : 1807230124

Tim Penguji

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


Ketua

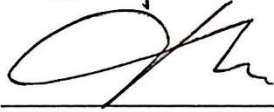
Arif Budi Wicaksono, S.T., M.Eng.


Anggota I

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

Anggota II

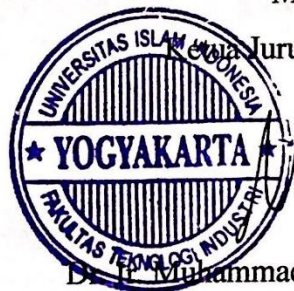

Tanggal : 5-12-2022


Tanggal : 30-11-2022


Tanggal : 30-11-2022

Mengetahui

Jurusan Teknik Mesin



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa karya tulis ilmiah yang saya buat merupakan karya sendiri bukan hasil plagiarisme dari karya tulis yang dibuat oleh orang lain. Semua referensi dan kutipan yang saya tulis pada karya tulis ini saya cantumkan sitasi dan sumber pustakanya. Apabila dikemudian hari saya dianggap melakukan pelanggaran hak kekayaan intelektual dan yang saya tulis pada karya ilmiah ini tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi dan hukuman yang diberlakukan Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 15 November 2022



Rhizado Fachri Pratama

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puja dan puji syukur panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa Allah SWT yang telah melimpahkan rezeki dan rahmat - Nya, serta doa dan dukungan yang diberikan oleh orang-orang tercinta, pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar - besarnya kepada :

Orang tua yang selalu senantiasa memberikan nasehat, doa yang tulus, dan dukungan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP selaku dosen pembimbing pertama, Bapak Ir. Santo Ajie Dhewanto, S.T., M.M., IPP selaku dosen pembimbing kedua, penguji, dosen pengajar, dan seluruh staf program studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia yang telah membimbing dan membagikan ilmu secara ikhlas.

Rekan - rekan dari jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia yang senantiasa memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis.

Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat berguna dan bermanfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan khususnya pada bidang yang sesuai dengan topik penulis untuk masa mendatang.

HALAMAN MOTTO

"Apapun yang menjadi takdirmu, akan mencari jalannya menemukanmu."

(Abi bin Abi Thalib)

"Janganlah melihat ke masa depan dengan mata buta. Masa yang lampau sangat berguna sebagai kaca benggala daripada masa yang akan datang."

(Soekarno)

"Kesuksesan bukanlah kunci dari kebahagiaan. Sebaliknya kebahagiaan adalah kunci dari kesuksesan."

(Bob Dylan)

"Barang siapa keluar untuk mencari sebuah ilmu, maka ia akan berada di jalan Allah hingga ia kembali."

(HR Tirmidzi)

"Kita boleh saja kecewa dengan apa yang telah terjadi, tetapi jangan pernah kehilangan harapan untuk masa depan yang lebih baik."

(Bambang Pamungkas)

"Setiap orang pasti siap untuk menang, tetapi tidak semua orang siap untuk kalah"

(Rifat Sungkar)



KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH



Alhamdulillah rabbil ‘alamin segala puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan inayah - Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul penelitian “Analisis Sifat Mekanik dan Tribologi pada Cakram Orisinal dan Imitasi dengan Perlakuan Pengerasan Permukaan” dengan lancar. Sholawat serta salam tidak lupa panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia. Selama pembuatan dan penulisan laporan Tugas Akhir ini, penulis mendapatkan banyak bantuan, bimbingan, dukungan, kritik, saran, dan pengarahan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan skripsi ini. Melalui kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua yang selalu memberikan dukungan dan doa kepada penulis, sehingga penulis dapat menjalankan dan menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan lancar.
2. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP dan bapak Ir. Santo Ajie Dhewanto, S.T., M.M., IPP selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan bimbingan dan banyak meluangkan waktunya untuk memberikan pengarahan, motivasi, semangat, dan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh Dosen Prodi Teknik Mesin yang telah banyak memberikan penulis ilmu pengetahuan yang baik selama perkuliahan.

5. Teman seperjuangan Faris, Feri, Sapli, Abi, Paris, Egi, Arip, Aldo, Slamet, Kemal, Ilyas, Dapit, dan teman – teman kontrakan sebelah yang telah membantu dan mendukung dalam pembuatan Tugas Akhir ini.
6. Semua pihak yang tidak bisa sebutkan satu persatu, penulis mengucapkan banyak terima kasih telah membantu dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini, semoga kebaikan kalian semua mendapat imbalan dari Allah SWT.

Semoga semua pihak yang telah membantu penulis selama melaksanakan Tugas Akhir dan selama penyusunan Laporan Tugas Akhir ini mendapatkan balasan dari Allah SWT dan selalu diberikan kesehatan, dan kemudahan dalam segala urusannya.

Penulis menyadari bahwa didalam penulisan laporan ini masih banyak terdapat kesalahan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran untuk mencapai hasil yang lebih baik. Penulis juga berharap semoga laporan ini dapat berguna bagi semua pihak.

Yogyakarta, 15 November 2022



Rhizado Fachri Pratama

ABSTRAK

Sistem pengereman pada mobil terdiri dari dua komponen yaitu cakram dan kampas rem. Kedua komponen tersebut memiliki perannya masing masing. Cakram rem yang berputar dan terhubung langsung dengan roda dan kampas rem yang menghambat putaran tersebut dengan cara menggesekkan antara cakram dengan kampas rem sehingga kampas rem akan menghambat putaran dari roda yang terhubung dengan cakram sehingga akan menimbulkan gaya gesek (*sliding friction*) yang dapat memperlambat atau memberhentikan kendaraan.

Penggunaan rem secara terus menerus akan menurunkan kualitas dari pengereman sendiri seperti menurunnya nilai koefisien gesek, aus, dll. Oleh karena itu penggantian cakram di periode tertentu harus dilakukan. Dikarenakan harga cakram orisinal mahal kebanyakan dari pengguna kendaraan mengganti cakram tersebut dengan produk imitasi yang dirasa harga lebih terjangkau dari pada produk cakram orisinal. Namun kualitas produk cakram imitasi tidak sebagus dari produk cakram orisinal. Pada penelitian ini akan menganalisis sifat mekanik seperti kekerasan dan sifat tribologi seperti koefisien gesek, kekasaran, aus, dan suhu pada cakram Toyota Agya 1.0 MT. Cakram yang digunakan adalah cakram orisinal dan imitasi. Pada penelitian juga berupaya untuk meningkatkan kualitas dari produk imitasi dengan metode perlakuan panas induksi.

Berdasarkan pengujian sebelum perlakuan kekerasan permukaan, produk orisinal mendapatkan hasil yang terbaik yaitu dengan hasil kekasaran $0,534 \pm 0,041 \mu\text{m}$, total massa aus, 0,0037 gram, koefisien gesek $0,247 \pm 0,019$, suhu tertinggi $34 \text{ }^\circ\text{C}$, dan kekerasan $213,7 \pm 2 \text{ BHN}$. Kemudian produk imitasi memiliki kualitas terendah. Setelah perlakuan pengerasan induksi secara keseluruhan sudah berhasil menyerupai dan melebihi produk orisinal dengan parameter terbaik pada spesimen K3 dengan arus 1000 amepere dan waktu 15 detik menghasilkan suhu pada perlakuan panas induksi yaitu $613 \text{ }^\circ\text{C}$. Dengan hasil pengujian kekasaran $0,752 \pm 0,044 \mu\text{m}$, total massa aus 0,0027 gram,

koefisien gesek $0,289 \pm 0,025$, suhu tertinggi $36,2 \text{ }^\circ\text{C}$, dan kekerasan $251,65 \pm 14,75 \text{ BHN}$.

Kata Kunci : Cakram, aus, koefisien gesek, kekasaran, kekerasan, suhu



ABSTRACT

The braking system on a car consists of two components, namely discs and brake pads. The two components have their respective roles. Brake discs that rotate and are connected directly to the wheels and brake pads that inhibit the rotation by rubbing between the discs and the brake pads so that the brake pads will inhibit the rotation of the wheels connected to the disc so that it will cause a sliding friction that can slow or stop vehicle.

Continuous use of the brakes will reduce the quality of the braking itself such as a decrease in the coefficient of friction, wear, etc. Therefore disc replacement at a certain period must be done. Due to the expensive price of the original disc, most of the vehicle users replace the disc with an imitation product which is considered to be more affordable than the original disc product. However, the quality of imitation discs is not as good as the original discs. This study will analyze the mechanical properties such as hardness and tribological properties such as coefficient of friction, roughness, wear, and temperature on the Toyota Agya 1.0 MT disc. The discs used are original and imitation discs. The research also seeks to improve the quality of imitation products with the induction heat treatment method.

Based on the test before the surface hardness treatment, the original product got the best results, namely with a roughness result of $0.534 \pm 0.041 \mu\text{m}$, total wear mass, 0.0037 grams, coefficient of friction 0.247 ± 0.019 , highest temperature $34 \text{ }^\circ\text{C}$, and hardness $213.7 \pm 2 \text{ BHN}$. Then the imitation products have the lowest quality. After the induction hardening treatment as a whole has succeeded in resembling and exceeding the original product with the best parameters on the K3 specimen with a current of 1000 amperes and a time of 15 seconds resulting in the temperature of the induction heat treatment being $613 \text{ }^\circ\text{C}$. With the results of the roughness test $0.752 \pm 0.044 \text{ m}$, the total wear mass is 0.0027 grams, the friction coefficient is 0.289 ± 0.025 , the highest temperature is $36.2 \text{ }^\circ\text{C}$, and the hardness is $251.65 \pm 14.75 \text{ BHN}$.

Keywords: Disc, wear, coefficient of friction, roughness, hardness, temperature

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------|
| Halaman Judul..... | i |
| Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing..... | ii |
| Lembar Pengesahan Dosen Penguji..... | iii |
| Pernyataan Keaslian..... | iv |
| Halaman Persembahan..... | v |
| Halaman Motto..... | vi |
| Kata Pengantar Atau Ucapan Terima Kasih..... | vii |
| Abstrak..... | ix |
| <i>Abstract</i> | xi |
| Daftar Isi..... | xii |
| Daftar Tabel..... | xv |
| Daftar Gambar..... | xvi |
| Daftar Notasi..... | xviii |
| 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..... | 3 |
| Bab 2 Tinjauan Pustaka..... | 5 |
| 2.1 Kajian Pustaka..... | 5 |
| 2.2 Dasar Teori..... | 7 |
| 2.2.1 Rem..... | 7 |
| 2.2.2 Cakram..... | 8 |
| 2.2.3 Kampas..... | 9 |
| 2.2.4 Kekasaran..... | 9 |
| 2.2.5 Kekerasan..... | 10 |
| 2.2.6 Aus..... | 11 |
| 2.2.7 Gaya Gesek..... | 12 |

| | | |
|----------------------------------|---|----|
| 2.2.8 | Struktur Mikro..... | 14 |
| 2.2.9 | Komposisi | 14 |
| 2.2.10 | Perlakuan Panas | 15 |
| Bab 3 Metode Penelitian | | 16 |
| 3.1 | Alur Penelitian..... | 16 |
| 3.2 | Peralatan dan Bahan | 18 |
| 3.3 | Kriteria Ideal Cakram | 20 |
| 3.4 | Dimensi Spesimen dan Pembuatan Spesimen..... | 21 |
| 3.4.1 | Dimensi Spesimen..... | 21 |
| 3.4.2 | Pembuatan Spesimen | 21 |
| 3.5 | Preparasi Sampel Pengujian | 23 |
| 3.5.1 | Preparasi Pengujian Kekasaran | 23 |
| 3.5.2 | Preparasi Pengujian Aus dan Koefisien Gesek | 23 |
| 3.5.3 | Preparasi pengujian Kekerasan | 24 |
| 3.5.4 | Preparasi Pengujian Spektrometri..... | 25 |
| 3.5.5 | Preparasi Pengujian Struktur Mikro..... | 25 |
| 3.5.6 | Preparasi Perlakuan Pengerasan Permukaan..... | 25 |
| Bab 4 Hasil dan Pembahasan | | 26 |
| 4.1 | Hasil Pengujian Sebelum Perlakuan..... | 26 |
| 4.1.1 | Pengujian Kekasaran..... | 26 |
| 4.1.2 | Pengujian Tribometer..... | 28 |
| 4.1.3 | Pengujian Kekerasan..... | 37 |
| 4.1.4 | Pengujian Spektrometri..... | 39 |
| 4.1.5 | Pengujian Metalografi..... | 40 |
| 4.2 | Hasil Pengujian Setelah Perlakuan..... | 42 |
| 4.2.1 | Perlakuan Panas Induksi | 42 |
| 4.2.2 | Pengujian Kekasaran | 45 |
| 4.2.3 | Pengujian Tribometer..... | 47 |
| 4.2.4 | Pengujian Kekerasan..... | 51 |
| 4.2.5 | Pengujian Metalografi..... | 53 |
| 4.3 | Analisis dan Pembahasan | 56 |
| 4.3.1 | Sebelum Perlakuan..... | 56 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.3.2 | Setelah Perlakuan | 57 |
| Bab 5 | Penutup | 60 |
| 5.1 | Kesimpulan..... | 60 |
| 5.2 | Saran atau Penelitian Selanjutnya | 61 |
| | Daftar Pustaka | 62 |
| | Lampiran | |



DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 3- 1 Matriks Pengujian..... | 17 |
| Tabel 3- 2 Matriks Eksperimental..... | 18 |
| Tabel 3- 3 Alat | 18 |
| Tabel 3- 4 Bahan | 20 |
| Tabel 3- 5 Dimensi Spesimen | 21 |
| Tabel 4- 1 Parameter Pengujian Kekasaran | 27 |
| Tabel 4- 2 Kekasaran Kekasaran Permukaan..... | 27 |
| Tabel 4- 3 Parameter Pengujian Koefisien Gesek dan Aus | 29 |
| Tabel 4- 4 Dimensi Ban Standar Agya | 29 |
| Tabel 4- 5 Hasil Pengukuran Kampas Orisinal..... | 32 |
| Tabel 4- 7 Tabel Keausan | 33 |
| Tabel 4- 8 Hasil Uji Koefisien Gesek | 34 |
| Tabel 4- 9 Data Uji Kekerasan Brinnell..... | 38 |
| Tabel 4- 10 Data Spektrometri..... | 40 |
| Tabel 4- 11 Parameter Waktu dan Arus dengan Hasil Suhu..... | 45 |
| Tabel 4- 12 Data Kekasaran Spesimen Imitasi | 46 |
| Tabel 4- 13 Hasil Uji Aus Cakram Imitasi dengan Perlakuan Panas..... | 47 |
| Tabel 4- 14 Hasil Uji Koefisien Gesek Cakram dengan Perlakuan Pengerasan Induksi..... | 49 |
| Tabel 4- 15 Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen Imitasi setelah Perlakuan Panas..... | 52 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2- 1 Rem | 8 |
| Gambar 2- 2 Cakram | 9 |
| Gambar 2- 3 Kampas | 9 |
| Gambar 2- 4 Ra | 10 |
| Gambar 2- 5 Rq | 10 |
| Gambar 2- 7 Brinell | 11 |
| Gambar 2- 8 Tahap Keausan | 11 |
| Gambar 2- 9 Gaya Gesek | 13 |
| Gambar 2- 10 Struktur Mikro | 14 |
| Gambar 2- 11 Spektrometri | 14 |
| Gambar 2- 12 Perlakuan Panas | 15 |
| Gambar 3- 1 Diagram Alir | 16 |
| Gambar 3- 2 Desain Pemotongan Spesimen Cakram | 21 |
| Gambar 3- 3 Hasil Pemotongan Spesimen | 22 |
| Gambar 3- 4 Desain Pemotongan Spesimen Kampas | 22 |
| Gambar 3- 5 Hasil Pemotongan Spesimen Kampas | 23 |
| Gambar 3- 6 Kampas dan Pencekam 3D Print | 24 |
| Gambar 3- 7 Pemasangan Pin dan Spesimen | 24 |
| Gambar 4- 1 Alat Pengujian Kekasaran Permukaan | 26 |
| Gambar 4- 2 Rata – Rata Ra Permukaan Cakram | 27 |
| Gambar 4- 3 Alat Pengujian Koefisien Gesek dan Aus | 28 |
| Gambar 4- 4 Persamaan Perhitungan Sigma X pada Ban | 30 |
| Gambar 4- 5 Data Hasil Jarak Pengereman 10 m | 31 |
| Gambar 4- 6 Dimensi Cakram Orisinal | 31 |
| Gambar 4- 7 Penamaan Sampel Ukur | 31 |
| Gambar 4- 8 Hasil Uji Massa Aus | 34 |
| Gambar 4- 9 Grafik Uji Koefisien Gesek | 35 |
| Gambar 4- 10 Fluke Thermal Imager | 36 |
| Gambar 4- 11 Hasil Fluke Thermal Imager | 36 |
| Gambar 4- 12 Grafik Hasil Pengujian Suhu | 37 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4- 13 Universal Harness Tester | 38 |
| Gambar 4- 14 Spesimen Hasil Pengujian Kekerasan..... | 38 |
| Gambar 4- 15 Grafik Hasil Uji Kekerasan Brinnell..... | 39 |
| Gambar 4- 16 Mikroskop Sony Olympus PME 3..... | 40 |
| Gambar 4- 17 Spesimen Imitasi Sebelum Perlakuan (Titik 1) | 41 |
| Gambar 4- 18 Spesimen Imitasi Sebelum Perlakuan (Titik 2) | 41 |
| Gambar 4- 19 Spesimen Imitasi Sebelum Perlakuan (Titik 3) | 42 |
| Gambar 4- 20 Mesin Panas Induksi | 42 |
| Gambar 4- 21 Spesifikasi Mesin Panas Induksi..... | 43 |
| Gambar 4- 22 Koil Pemanas Induksi | 43 |
| Gambar 4- 23 Peletakan Spesimen | 44 |
| Gambar 4- 24 Proses Pendinginan | 44 |
| Gambar 4- 25 Mesin Amplas PLATO | 46 |
| Gambar 4- 26 Rata – Rata Permukaan Spesimen Cakram Imitasi..... | 47 |
| Gambar 4- 27 Total Aus Cakram Imitasi dengan Perlakuan Panas..... | 48 |
| Gambar 4- 28 Rata - Rata Aus Cakram Imitasi dengan Perlakuan Panas | 48 |
| Gambar 4- 29 Grafik Rata- Rata Hasil Uji Koefisien Gesek Setelah Perlakuan Panas..... | 50 |
| Gambar 4- 30 Grafik Hasil Uji Suhu Cakram dengan Perlakuan Panas | 51 |
| Gambar 4- 31 Grafik Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen Imitasi setelah Perlakuan Panas..... | 53 |
| Gambar 4- 32 Struktur Mikro K1 (keras) Setelah Induksi (Titik 1) | 54 |
| Gambar 4- 33 Struktur Mikro K1 (keras) Setelah Induksi (Titik 2) | 54 |
| Gambar 4- 34 Struktur Mikro K1 (keras) Setelah Induksi (Titik 3) | 54 |
| Gambar 4- 35 Struktur Mikro K5 (lunak) Setelah Induksi (Titik 1)..... | 55 |
| Gambar 4- 36 Struktur Mikro K5 (lunak) Setelah Induksi (Titik 2)..... | 55 |
| Gambar 4- 37 Struktur Mikro K5 (lunak) Setelah Induksi (Titik 3)..... | 56 |

DAFTAR NOTASI

| | |
|--------------------------------|---|
| Kgf | = <i>Killogram Force</i> (Beban) |
| Rps | = <i>Radian per second</i> |
| μm | = <i>Micrometer</i> |
| BHN | = <i>Brinell Hardness Number</i> |
| mm | = <i>Milimeter</i> |
| C | = <i>Carbon</i> |
| A | = <i>Amper</i> |
| RPM | = <i>Revolusi Per Menit</i> |
| $^{\circ}\text{C}$ | = <i>Derajat Celcius</i> |
| wt. % | = <i>Presentasi Massa</i> |
| Ra | = <i>Roughness Average</i> |
| Rq | = <i>Root Mean Square</i> |
| Ar | = <i>Real Contact Area</i> |
| F _n | = <i>Normal Force</i> |
| P | = <i>Hardness (real contact area)/beban (BHN)</i> |
| ISO | = <i>International Organization for Standardization</i> |
| <i>Weartrack</i> | = <i>Lintasan pin saat pengujian pin on disc tribometer</i> |
| Al ₂ O ₃ | = <i>Alumina/Autosol</i> |
| HNO ₃ | = <i>Asam nitrat</i> |
| λ_c | = <i>Lambda C/Sample length</i> |
| Km | = <i>Kilometer</i> |
| \bar{x} | = <i>Rata-rata</i> |
| σ/s | = <i>Standar Deviasi</i> |
| K1-K6 | = <i>Spesimen Imitasi Setelah perlakuan Pengerasan</i> |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Era globalisasi yang sangat pesat saat ini mengakibatkan perkembangan teknologi semakin meningkat di berbagai bidang tanpa terkecuali pada bidang otomotif, banyak produsen berlomba - lomba untuk meningkatkan produknya. Banyak sekali konsep - konsep baru yang ditingkatkan dari produsen otomotif tersebut seperti kenyamanan, efisiensi bahan bakar, kemudahan, dan keselamatan. Pada hal tersebut kendaraan dapat dikatakan baik apabila dapat memenuhi kriteria tersebut.

Berkembangnya teknologi dan inovasi pada kendaraan bermotor yang sangat pesat, kebutuhan *sparepart* atau suku cadang kendaraan pun meningkat pula. Salah satu contohnya yaitu pada mobil Toyota Agya atau Daihatsu Ayla 1.0 MT yang merupakan kendaraan *Low Cost Green Car* sehingga banyak diminati oleh masyarakat Indonesia yang kemudian akan dibahas pada penelitian kali ini. Komponen yang vital pada sebuah kendaraan salah satunya yaitu sistem pengereman. Rem berfungsi untuk memberhentikan atau memperlambat kendaraan. Sistem ini memiliki peran yang sangat penting yaitu dari segi fungsi kamanan dan keselamatan.

Sistem pengereman pada mobil tersebut terdiri dari 2 komponen yaitu cakram dan kampas rem. Kedua komponen tersebut memiliki perannya masing masing. Cakram rem yang berputar dan terhubung langsung dengan roda dan kampas rem yang menghambat putaran tersebut dengan cara menggesekkan antara cakram dengan kampas rem sehingga kampas rem akan menghambat putaran dari roda yang terhubung dengan cakram sehingga akan menimbulkan gaya gesek (*sliding friction*) yang dapat memperlambat atau memberhentikan kendaraan.

Pada pengereman yang akan dibahas pada penelitian ini ada 2 sifat yang dapat mempengaruhi kinerja dari sistem rem yaitu sifat mekanik dan tribologi. Pada sifat mekanik yaitu kekerasan dan pada sifat tribologi meliputi keausan, kekasaran, dan koefisien gesek.

Pada penelitian ini akan membandingkan sifat mekanik dan tribologi pada cakram orisinal dan imitasi. Setelah mendapatkan perbandingan dari hasil pengujian, dengan perlakuan pengerasan permukaan diharapkan dapat meningkatkan kualitas dari cakram imitasi agar dapat menyamai dari produk orisinal dari segi kualitas, ketahanan, dan biaya yang dikeluarkan. Adanya metode pemanasan induksi pada cakram imitasi, dengan harapan pada penelitian ini kualitas dari cakram imitasi setelah dilakukan perlakuan pengerasan permukaan dapat menyerupai kualitas dari cakram orisinal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka dapat diambil suatu rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana sifat mekanik dan tribologi pada perbandingan cakram orisinal dan imitasi?
2. Bagaimana pengaruh perlakuan panas induksi terhadap sifat mekanik dan tribologi pada cakram orisinal dan imitasi?
3. Bagaimana parameter terbaik pada perlakuan pengerasan induksi untuk meningkatkan kualitas produk cakram imitasi?

1.3 Batasan Masalah

Dalam suatu penelitian tidak mungkin dapat menyelesaikan seluruh masalah yang telah dirumuskan pada rumusan masalah. Dalam batasan masalah kita sampaikan hal-hal apa saja yang membatasi lingkup penelitian menjadi jelas dan tidak meluas untuk membahas hal - hal yang tidak diinginkan. Adapun batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Analisis sifat mekanik dan tribologi dilakukan pada cakram orisinal dan imitasi dengan merek nakano Toyota Agya 1.0 MT.
2. Analisis sifat mekanik hanya pada sifat kekerasan dengan pengujian brinell.
3. Analisis sifat tribologi hanya pada sifat kekasaran, keausan, dan koefisien gesek dengan pengujian *surface roughness tester* dan *pin on disc tribometer*.

4. Pembuatan spesimen menyesuaikan dimensi pada cakram dan alat pada *pin on disc tribometer*.
5. Perlakuan pengerasan permukaan induksi hanya dilakukan pada cakram imitasi, dengan pengujian sebelum perlakuan meliputi uji spektrometri, metalografi, dan kekerasan.
6. Penelitian ini hanya sampai pengujian sifat mekanik, tribologi, perlakuan pengerasan induksi, uji sifat mekanik dan tribologi kembali.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini sebagai berikut :

1. Menganalisis sifat mekanik dan tribologi pada perbandingan cakram orisinal dan imitasi.
2. Mengetahui perbandingan sifat mekanik dan tribologi pada cakram orisinal dan imitasi setelah perlakuan panas induksi.
3. Menentukan parameter terbaik pada perlakuan pengerasan induksi untuk meningkatkan kualitas produk cakram imitasi.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini sebagai berikut :

1. Mengetahui sifat mekanik dan tribologi pada cakram orisinal dan imitasi pada sebelum perlakuan
2. Mengetahui sifat mekanik dan tribologi pada cakram orisinal dan imitasi pada setelah perlakuan

1.6 Sistematika Penulisan

Pada bagian ini berisikan urutan dan sistematika penulisan pada laporan tugas akhir ini. Setiap bab pada laporan tugas akhir ini akan dijabarkan secara umum sehingga dapat mengetahui gambaran dari masing-masing bab secara berurutan. Penulisan bagian sistematika ini laporan tugas akhir ini dimaksudkan untuk mempermudah dalam pembahasan dari laporan tugas akhir ini. Sistematika penulisan pada laporan tugas akhir ini dapat dijabarkan sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan

Pada bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini berisi kajian pustaka dan dasar teori yang digunakan dalam penelitian yang dilakukan.

BAB III Metode Penelitian

Pada bab ini berisikan diagram alir penelitian, alat dan bahan, dan metode penelitian yang digunakan.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Bagian ini berisi tentang hasil dan pembahasan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan.

BAB V Penutup

Pada bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Kajian Pustaka pertama yang dijadikan sebagai dasar penelitian ini berjudul “Analisa Keausan Kampas Rem pada Disc Brake dengan Variasi Material Kampas Rem” oleh Asri dan Darmanto [1]. Meneliti keausan suatu kampas rem terhadap cakram menggunakan variasi kampas yang berbeda. Spesimen yang digunakan yaitu terdapat 3 macam spesimen I dan II merupakan spesimen berbahan asbestos dan spesimen III berbahan non-asbestos. Berdasarkan penelitian tersebut semakin besar nilai kekerasan suatu material kampas semakin besar pula nilai laju keausan, volume yang hilang, koefisien keausan yang terjadi pada material kampas dan umur pakai material kampas cenderung lebih cepat habis. Nilai laju keausan tertinggi pada kampas yang mengandung material asbestos (material III) dan prediksi umur pakai material kampas paling panjang adalah kampas yang mengandung material non-asbestos (material II).

Kajian Pustaka yang kedua yaitu dari penelitian yang berjudul “Analisis Keausan Kampas Rem pada Disc Brake dengan Variasi Kecepatan” oleh Ahmad Taufik, Darmanto dan Imam Syafa’at, [2]. Pada penelitian tersebut meneliti tentang keausan pada kampas rem dengan menggunakan alat uji keausan kampas rem dengan variasi kecepatan 60 Km/jam, 80 Km/jam dan 100 Km/jam dengan beban pengereman 2 Kg. Durasi waktu pengujian yaitu 10, 15, 20, 25, 30, 35 menit. Volume keausan pada kampas berbanding lurus dengan lama waktu pengujian, hasil volume aus terbesar yaitu dengan waktu 35 menit pada kecepatan 100 Km/jam pada sisi kampas A $89,16 \text{ mm}^3$ dan volume aus terkecil terjadi pada kecepatan 60 Km/jam pada sisi kampas B $30,45 \text{ mm}^3$

Kajian Pustaka yang ketiga yaitu dari penelitian yang berjudul “Pengamatan Struktur Mikro dan Kekerasan pada Roda Gigi Pasca Pengerasan Permukaan Menggunakan Pemanas Induksi” oleh Ismail, Nizar, dan Sugiyanto, [3]. Pada penelitian tersebut membahas tentang kegunaan pengerasan permukaan pada komponen otomotif seperti roda gigi, katup, dan *crankshaft*. Tujuan dari

pengerasan permukaan adalah menjaga keuletan dari bagian dalam komponen tersebut. Objek pada penelitian ini adalah roda gigi transmisi yang membutuhkan tahan aus dan sifat keras pada permukaan serta tangguh dan ulet di bagian dalam. Proses pengerasan permukaan dilakukan menggunakan alat pemanas induksi. Material yang digunakan adalah baja AISI 4140 dan baja ST60. Hasil kekerasan macro hardness dan micro vickers menunjukkan 6 spesimen roda gigi ST 60 dan AISI 4140 setelah di induksi mengalami kenaikan curva kekerasan permukaan dari sebelum perlakuan dan setelah perlakuan induksi, spesimen roda gigi ST 60 naik menjadi 3 kali lipat nilai kekerasannya sedangkan pada roda gigi AISI 4140 naik 2 kali lipat.

Kajian Pustaka yang keempat yaitu dari penelitian yang berjudul “Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap Laju Korosi Baja API 5L dalam Larutan Asam, Basa, dan, Garam” oleh Rizky Ichwani, [4]. Penelitian tersebut membahas tentang kekasaran suatu material terhadap laju korosi dalam larutan asam, basa, dan garam. Bahwasannya kekasaran permukaan dari benda kerja akan mempengaruhi dari serangan korosif sekitar. Benda yang lebih kasar akan mudah terkena korosi dibandingkan dengan logam yang permukaannya halus. Hasil eksperimen dari penelitian tersebut dengan perlakuan pengamplasan menggunakan kertas gosok grid 220, 600, dan 1000 kekasaran yang didapat yaitu 0,74 mikrometer, 0,65 mikrometer, dan 0,6 mikrometer. Hasil korosi terbaik pada penelitian tersebut terbukti yaitu pada material yang paling halus material yang paling sedikit mengalami korosi.

Kajian Pustaka yang kelima yaitu dari penelitian yang berjudul “Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan pada Proses Karburasi Cair Terhadap Kekerasan Baja AISI 1025 dengan Media Pendingin Air” oleh Wahyu dan Teguh, [5]. Penelitian ini membahas tentang pengaruh temperatur dan waktu tahan pada proses *liquid carburizing* terhadap peningkatan nilai kekerasan baja AISI 1025. Variasi temperature yang digunakan yaitu 750°C, 800°C, dan 850°C. Waktu penahanan yang digunakan 30, 60, dan 90 menit. Hasil dari proses tersebut yaitu nilai kekerasan terendah pada temperatur 750°C dengan waktu tahan 30 menit yaitu dari 193,7 VHN menjadi 249,3 VHN. Peningkatan kekerasan tertinggi

terjadi pada temperature 850°C dengan waktu penahanan 90 menit dengan kekerasan menjadi 982,3 VHN.

Kajian pustaka keenam yang digunakan sebagai dasar dalam melakukan penelitian ini berjudul “Pemanfaatan Mesin Pemanas Induksi Untuk Pengerasan Permukaan Roda Gigi Produk UKM” oleh Rifky Ismail, M. Tauviqirrahman, dll [6]. Penelitian tersebut membahas analisis perbandingan kualitas produk UKM pada roda gigi transmisi sepeda motor antara orisinal dan produk OEM lokal pada sepeda motor bebek. Pada penelitian tersebut menganalisis dari segi massa, geometri an komposisi. Dengan hasil yang sama untuk kedua produk, namun pada produk UKM mengalami kegagalan ketika diuji ketahanan lelahnya. Dengan upaya untuk dapat bersaing antara produk UKM dan orisinal. Kualitas dari kekerasannya ditingkatkan menggunakan metode pengerasan induksi. Lingkupnya yakni pada permukaan roda gigi yang keras diharapkan dapat menahan beban kontak dan keausan saat roda gigi bekerja sedangkan bagian dalam roda gigi diharapkan mampu menahan beban puntir yang besar. Dengan hasil Rangkaian yang lebih baik ditemukan pada rangkaian yang kedua menggunakan 3 buah trafo *step down* dan 6 buah MOSFET tipe IRFP 460 dalam rangkaian *half bridge*. Rangkaian ini mampu menghasilkan peningkatan temperatur yang lebih cepat dan mencapai temperatur maksimal yang lebih tinggi. Frekuensi terukur dari rangkaian ini adalah 30 kHz. Menunjukkan kesimpulan untuk keseluruhannya adalah perubahan dari penggunaan peleburan yang beralih ke mesin pemanas induksi dapat meningkatkan keseragaman dan ketepatan proses pemanasan roda gigi.

2.2 Dasar Teori

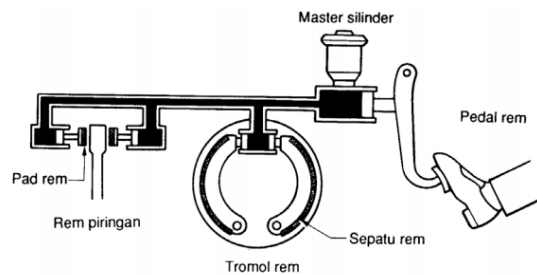
Dalam sub bab ini akan membahas beberapa dasar teori yang akan menjadi landasan untuk mendukung penelitian, diantaranya adalah.

2.2.1 Rem

Pengertian rem secara umum adalah sebuah sistem yang berfungsi untuk memperlambat atau menghentikan putaran. Prinsip utama dari rem yaitu mengubah energi kinerik menjadi energi panas yaitu dengan gesekan antara dua

material yang berputar kemudian putaran tersebut bengangsur - angsur melambat, hal ini laju dari sebuah benda akan menjadi pelan atau diam dengan adanya kerja dari rem. Rem merupakan piranti keselamatan yang berfungsi untuk memperlambat atau menghentikan laju pada kendaraan bermotor yang dikatagori sebagai komponen kritis bagi kendaraan bermotor sehingga dikenai persyaratan aturan yang ketat [7].

Menurut para ahli industri otomotif, rem adalah merupakan kebutuhan sangat penting yang harus ada pada sebuah kendaraan untuk keamanan maupun keselamatan dan juga dapat digunakan untuk berhenti di tempat manapun sebagai rem parkir, dan dalam berbagai kondisi dapat berfungsi dengan baik dan aman.

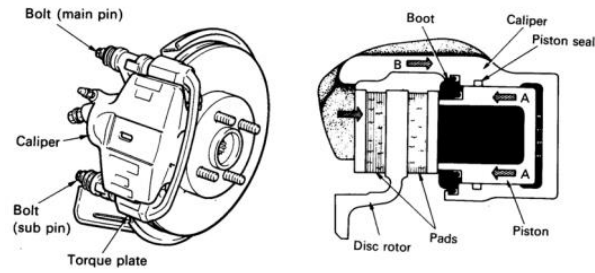


Gambar 2- 1 Rem[8]

Berberdasarkan dari beberapa sumber menyatakan bahwa, rem cakram aus lebih cepat dan kehilangan kemampuannya terutama pada kendaraan *modern*, walaupun pemakaian kendaraan tersebut masih kurang dari 40.000 Km. Keausan dini rem tersebut karena kampas yang modern lebih abrasif karena *compound* yang keras, juga kualitas buruk rem cakram yang diimpor dari beberapa negara Asia Timur [8].

2.2.2 Cakram

Cara kerja rem cakram adalah gaya tekan hidrolis dari master rem atau *booster* rem, kemudian mendorong piston pada kaliper dan selanjutnya menekan pada cakram. Pada saat yang sama tekanan hidrolis menekan sisi kampas sehingga menjepit cakram dan terjadilah usaha pengereman. cakram digunakan sebagai pembaharuan dari sistem rem tromol yang sudah ada sebelumnya, Pada dasarnya piringan cakram, terdiri dari cakram yang berputar dengan roda dan bahan gesek yang mendorong dan menjepit cakram [9].



Gambar 2- 2 Cakram[9]

2.2.3 Kampas

Kampas rem dianggap sebagai salah satu komponen dasar dalam sistem rem kendaraan bermotor ditempatkan pada rem cakram, terdiri dari pelat baja dengan bahan gesekan yang diikat ke permukaan yang menghadap ke cakram rem [10]. Kampas rem memiliki peranan yang sangat penting sebagai pencengkram piringan cakram agar laju kendaraan dapat dikurangi atau berhenti. Gesekan yang terjadi antara kampas dengan piringan cakram saat proses pengereman mengharuskan kampas rem memiliki kualitas yang baik agar daya pengeremannya optimal dan umur pemakaiannya tahan lama. [10]



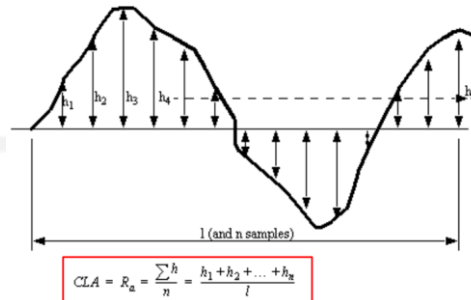
Gambar 2- 3 Kampas[10]

2.2.4 Kekasaran

Kekasaran merupakan salah satu perbedaan yang diakibatkan dari pemotongan proses permesinan. Oleh sebab itu, untuk dapat mendapatkan produk yang berkualitas berupa memiliki kepresisian yang tinggi dan kekasaran yang diinginkan maka diperlukan sebuah proses permesinan yang baik [4]. Untuk mengetahui tingkat kekasaran dari sebuah hasil pemotongan dari suatu material terdapat beberapa cara yang dapat digunakan untuk mengetahui tingkat kekasaran, antara lain :

1. Roughness Average (Ra)

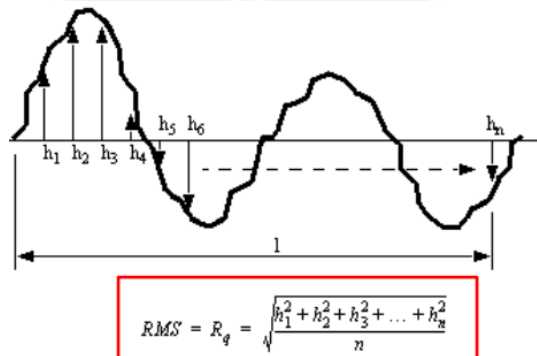
Roughness Average atau Ra. merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur nilai kekasaran pada suatu permukaan, Ra adalah besaran kekasaran yang paling sering dan biasa digunakan di berbagai alat banyak negara.



Gambar 2- 4 Ra

2. Root Mean Square (Rq)

Root mean square atau Rq merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur nilai kekasaran sama seperti halnya Ra, tetapi pada Rq memiliki nilai keakuratan 11% lebih tinggi dari pada Ra.



Gambar 2- 5 Rq

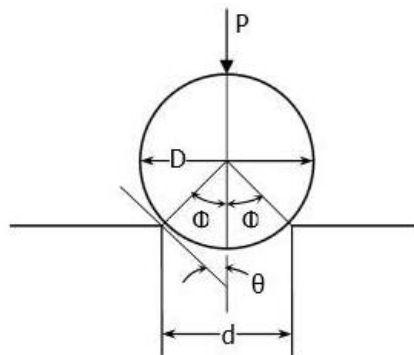
2.2.5 Kekerasan

Kekerasan merupakan ketahanan sebuah material (baja karbon) terhadap penetrasi atau daya tembus dari bahan lain yang lebih keras (*penetrator*). Kekerasan merupakan suatu sifat dari bahan yang sebagian besar dipengaruhi oleh unsur unsur paduannya. Kekerasan suatu baja tersebut dapat berubah bila dikerjakan dengan pengerjaan dingin, seperti pengerolan, penarikan pemakanan, dan lainnya [5]. Dengan perlakuan panas kekerasan baja dapat ditingkatkan sesuai

kebutuhan. Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi hasil kekerasan dalam perlakuan panas diantaranya :

1. Komposisi Kimia
2. Langkah perlakuan panas
3. Cairan pendingin
4. Temperatur
5. Waktu pemanasan

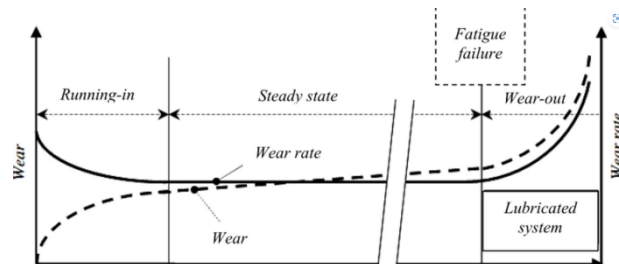
Kekerasan dari baja dapat kita ketahui dengan metode uji kekerasan, ada beberapa alat uji yang dapat digunakan dalam pengujian kekerasan ini yaitu metode Rocimitasiell, Vickers, dan Brinell.



Gambar 2- 6 Brinell[5]

2.2.6 Aus

Keausan (*wear*) adalah hilangnya materi dari permukaan benda padat sebagai akibat dari adanya gerakan mekanik. Keausan umumnya dianalogikan sebagai hilangnya materi akibat interaksi mekanik dua permukaan yang bergerak sliding dan dibebani. Ini merupakan fenomena normal yang terjadi jika dua benda permukaannya saling bergesekan, maka akan ada keausan atau perpindahan materi yang terjadi antara dua benda yang bergesekan [2].



Gambar 2- 7 Tahap Keausan[2]

1. Koefisien Keausan

Koefisien keausan pada kampas rem bisa dilakukan perhitungan dengan rumus.

$$K_D = \frac{V}{F_N \times S} \dots \dots \dots (1)$$

- K_D = koefisien keausan
- V = volume material yang hilang (mm^3)
- S = jarak (mm)
- F_N = beban (N)

2. Volume Keausan

Volume keausan pada kampas rem bisa dilakukan perhitungan dengan rumus.

$$V = \frac{m_1 - m_2}{\rho} \dots \dots \dots (2)$$

- V = volume keausan (mm^3)
- m_1 = berat awal (gram)
- m_2 = berat setelah pengujian (gram)
- ρ = massa jenis material ($gram/mm^3$)

3. Laju Keausan

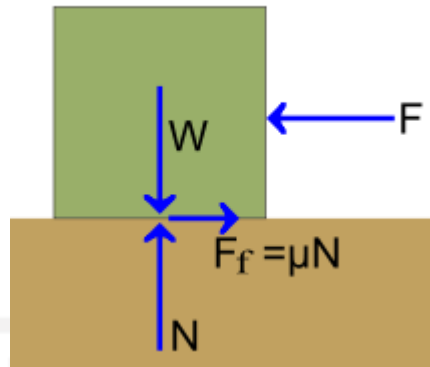
Laju keausan pada kampas rem bisa dilakukan perhitungan dengan rumus.

$$N = \frac{m_1 - m_2}{t \times A} \dots \dots \dots (3)$$

- m_1 = berat awal (gram)
- m_2 = berat setelah pengujian (gram)
- N = nilai laju keausan ($gram/detik.mm^3$)
- A = luas penampang material (mm^2)

2.2.7 Gaya Gesek

Gaya gesek adalah gaya yang berarah melawan gerak benda atau arah kecenderungan benda akan bergerak. Gaya gesek muncul apabila dua buah benda bersentuhan. Gaya gesek antara dua buah benda padat misalnya gaya gesek statis dan kinetis. Gaya gesek dapat merugikan dan juga dapat bermanfaat. Bila permukaan suatu benda saling kontak, maka permukaan bergerak terhadap benda lainnya dan menimbulkan gaya tangensial disebut gaya gesek [11].



Gambar 2- 8 Gaya Gesek[11]

Terdapat dua macam gaya gesek antara kedua buah benda padat yang saling bergerak lurus, yaitu gaya gesek statis dan gaya gesek dinamis

1. Gaya gesek statis

Gaya gesek statis adalah gesekan antara dua benda padat yang tidak bergerak relatif satu sama lainnya. Gaya gesek statis dihasilkan dari sebuah gaya yang diaplikasikan sebelum benda tersebut bergerak. Ketika tidak ada gesekan yang terjadi, gaya gesek dapat memiliki nilai dari nol hingga gaya gesek maksimum. Gaya gesek statis terjadi saat benda dalam keadaan diam atau tepatnya akan bergerak [12].

$$F_s = \mu_s \cdot N \dots \dots \dots (4)$$

F_s = Gaya gesek statis maks (Kgf)

μ_s = koefisien gesek statis

N = Gaya (N)

2. Gaya gesek dinamis

Gaya gesek dinamis adalah gesekan yang terjadi ketika dua benda bergerak relatif satu sama lainnya dan saling bergesekan. Gaya gesek kinetik terjadi saat benda dalam keadaan bergerak [12].

$$F_d = \mu_d \times N \dots \dots \dots (5)$$

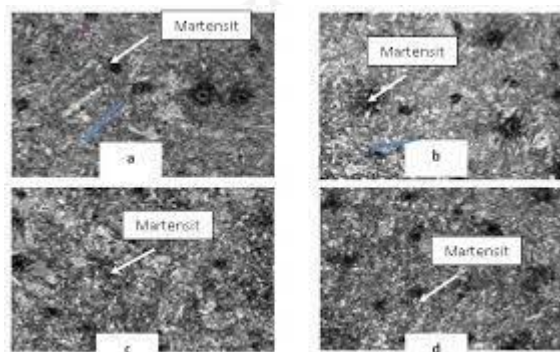
F_d = Gaya gesek dinamis maks (Kgf)

μ_d = koefisien gesek dinamis

N = Gaya (N)

2.2.8 Struktur Mikro

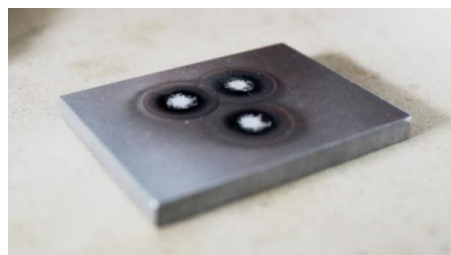
Struktur mikro adalah gambaran dari kumpulan fasa - fasa yang dapat diamati melalui teknik metalografi. Struktur ini tidak dapat dilihat dengan mata telanjang tetapi harus menggunakan alat misalnya mikroskop optik. Ada beberapa struktur mikro dari baja yang kita kenal yaitu; ferit, perlit, sementit, austenit dan martensit. Penambahan unsur paduan biasanya dilakukan pada perlakuan pemanasan baja yang memiliki unsur karbon, penambahan unsur ini dapat meningkatkan kekuatan baja tanpa mengurangi keuletannya. Pelat baja karbon dapat dilakukan dengan cara *quenching* dan *tempering* dan hasilnya akan baik bila persiapannya sempurna dan persyaratannya dipenuhi [13].



Gambar 2- 9 Struktur Mikro[13]

2.2.9 Komposisi

Untuk mengetahui persentase unsur kimia yang terkandung pada spesimen dapat dilakukan pengujian komposisi dengan menggunakan alat bernama spektrometer. Alat ini sangat detail dapat mengetahui apa saja penyusun logam yang ada di dalam spesimen, seperti halnya unsur karbon dan besi. Pada alat tersebut dapat mengetahui secara akurat unsur karbon yang ada di dalam spesimen tersebut dengan menggunakan bantuan laser [14].



Gambar 2- 10 Spektrometri[14]

2.2.10 Perlakuan Panas

Perlakuan Panas (*Heat Treatment*) adalah suatu proses mengubah sifat mekanis (*Mechanical Properties*) 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. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki perubahan kekerasan dan struktur mikro akibat perlakuan panas yang terjadi pada saat proses tempering pada baja [15].

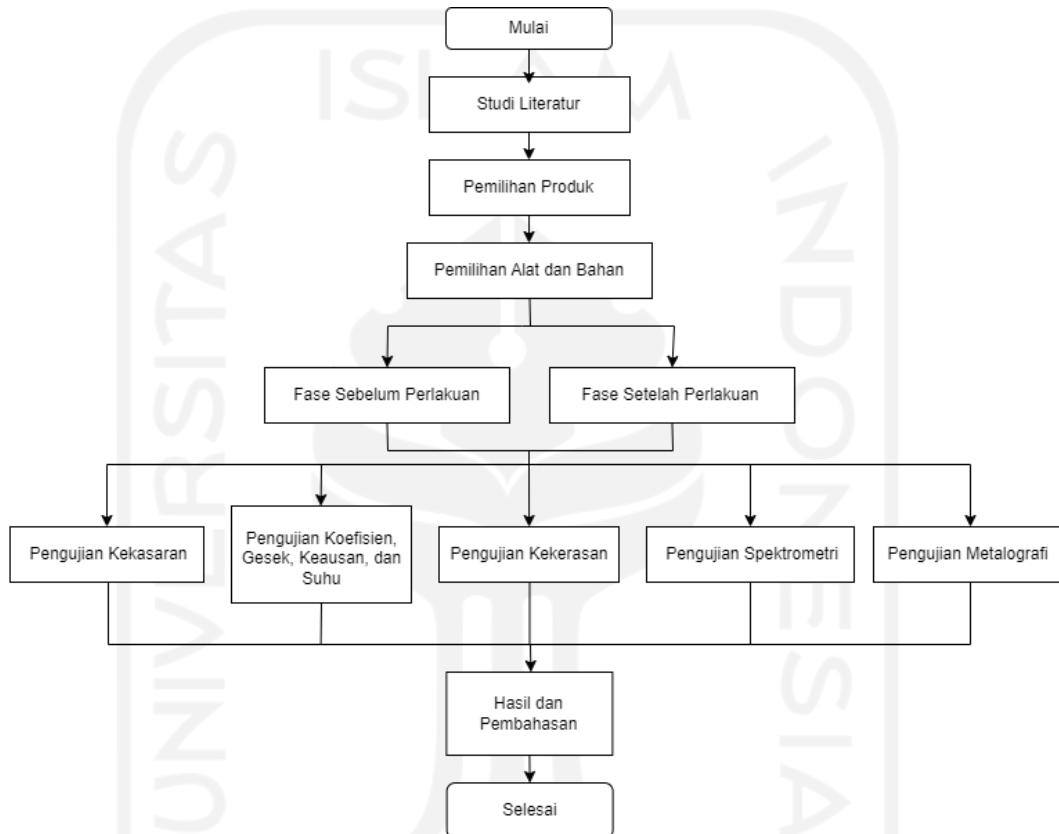


Gambar 2- 11 Perlakuan Panas [15]

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Berikut adalah contoh *outline* untuk Bab 3.



Gambar 3- 1 Diagram Alir

Tabel 3- 1 Matriks Pengujian

| Matriks Pengujian | | | | |
|-----------------------------|--------------------------------------|--|--------------------------------------|----------------------------------|
| Pengujian | Alat | Parameter | Fase Perlakuan | |
| | | | Sebelum (Orisinal dan Imitasi) | Pengerasan Induksi (K1-K6) |
| Kekasaran | Surface Roughness Tester | Kecepatan = 0,3 mm/s Sample length/ λ_c (mm) = 0,8 (Orisinal, Imitasi, dan K1- K6) Eval. Length (mm) = 4 (Orisinal, Imitasi, dan K1- K6) | ✓ | ✓ |
| Aus & Koefisien Gesek | Tribometer | RPM = 728 rpm = 80 km/Jam Gaya = 12 N Waktu = 45 Menit Wear track = 24 mm | ✓ | ✓ |
| Suhu | Thermal Imager | °C | ✓ | ✓ |
| Kekerasan | Universal Hardness Tester | Beban = 187,5 Kgf Diameter Indentor = 2,5 mm | ✓ | ✓ |
| Spektrometer | Thermo ARL 3560 OES | Program = FE - LOW | ✓ | |
| Metalografi | Microskop Sony Olympus PME3 | Pembesaran 200X | ✓ | ✓ |

Tabel 3- 2 Matriks Eksperimental

| Matriks Eksperimental | | | |
|-----------------------------------|------------------|------------------|---------|
| Fase Perlakuan | Parameter | | |
| Sebelum (Orisinal dan Imitasi) | - | | |
| Pengerasan Induksi (K1-K6) | Arus (Ampere) | Waktu (Detik) | Imitasi |
| | 1200 | 15 | K1 |
| | | 20 | K2 |
| | 1000 | 15 | K3 |
| | | 20 | K4 |
| | 800 | 15 | K5 |
| | 20 | K6 | |

3.2 Peralatan dan Bahan

Pada penelitian ini terdapat peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian yang telah dilakukan. Pada tabel 3-3 merupakan alat dan tabel 3-4 merupakan bahan – bahan apa saja yang dibutuhkan dalam penelitian kali ini dapat dilihat di bawah.

Tabel 3- 3 Alat

| No | Peralatan | Fungsi |
|----|--|---|
| 1 | Laptop/PC | Perangkat utama dalam melakukan tahap literasi dan pengolahan data |
| 2 | <i>Solidworks 2018</i> | Perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan desain dan pengukuran |
| 3 | <i>Pin On Disc Tribometer</i> | Perangkat untuk melakukan pengujian gesek dan aus |
| 4 | <i>Stylush Probe/ Surfcom Touch 50</i> | Perangkat untuk melakukan pengujian kekasaran |
| 5 | <i>Thermal Imager</i> | Perangkat untuk melakukan pengujian suhu |
| 6 | <i>Tripod</i> | Alat pembantu untuk melakukan pengujian suhu |
| 7 | <i>Brinell Hardness Tester</i> | Perangkat untuk melakukan pengujian kekerasan |
| 8 | Timbangan | Perangkat untuk melakukan pengujian pengurangan massa |
| 9 | Mesin Penggosok Dan | Perangkat untuk melakukan preparasi metalografi dan perlakuan pada cakram |

| | | |
|----|--------------------------------------|---|
| | Pemoles Logam | |
| 10 | Amplas grid 100-1500 | Perangkat untuk melakukan pemolesan |
| 11 | Mesin 3D Print | Perangkat untuk membuat holder pada pin tribometer |
| 12 | Mesin <i>CNC Milling</i> | Perangkat untuk pembuatan sampel pengujian |
| 13 | Mikroskop | Perangkat untuk melakukan pengujian metalografi |
| 14 | Mesin Pengerasan Pemanasan Induksi | Perangkat untuk melakukan perlakuan pengerasan induksi |
| 15 | Jangka Sorong 0,2 mm | Perangkat untuk melakukan pengujian geometri |
| 16 | <i>Micrometer</i> 0,1 mm | Perangkat untuk melakukan pengujian geometri |
| 17 | Spidol permanen | Digunakan untuk memberi tanda spesimen |
| 18 | <i>Rocimitaliell Hardness Tester</i> | Perangkat untuk melakukan pengujian kekerasan pada percobaan |
| 19 | Kikir | Digunakan untuk membuat alas kramik pada perlakuan kekerasan |
| 20 | Flaskdisk | Digunakan sebagai penyimpanan sementara pada pengujian |
| 21 | Pompa | Digunakan sebagai pendukung mesin pengerasan pemanasan induksi |
| 22 | Ember | Digunakan sebagai tempat pendinginan mesin induksi |
| 23 | <i>Termogun</i> | Perangkat untuk melakukan pengujian suhu |
| 24 | Kunci pas L | Digunakan untuk pemasangan spesimen pada tribometer |
| 25 | Mesin Spetrometer | Perangkat untuk melakukan pengujian spektrometer (komposisi material) |

الجامعة الإسلامية
الاستاذ الدكتور

Tabel 3- 4 Bahan

| No | Bahan | Fungsi |
|----|--|---|
| 1 | Cakram Orisinal Toyota Agya 1.0 MT | Sebagai bahan uji |
| 2 | Kampas Rem Orisinal Toyota Agya 1.0 MT | Sebagai bahan bantu pengujian koefisien gesek dan aus |
| 3 | Cakram Imitasi Toyota Agya 1.0 MT (nakano) | Sebagai bahan uji |
| 4 | Amplas grid 100-1500 | Perangkat untuk melakukan pengamplasan |
| 5 | <i>polycarbonate (Fillament 3D print)</i> | Sebagai bahan bantu pengujian koefisien gesek dan aus |
| 6 | Cairan Esta (NH O3) | Digunakan dalam preparasi sampel metalografi |
| 7 | Autosol | Digunakan dalam preparasi sampel metalografi |
| 8 | Alas Kramik | Digunakan untuk tempat di letakkanya spesimen perlakuan kekerasan |
| 9 | Air | Digunakan dalam preparasi sampel metalografi dan pengerasan induksi |
| 10 | Aseton | Digunakan membersihkan spesimen |

3.3 Kriteria Ideal Cakram

Pada kriteria yang diinginkan terdapat beberapa hal yang diinginkan pada cakram mobil[16], diantaranya adalah :

1. Memiliki aus yang rendah pada kampas agar dapat bertahan lebih lama. Aus berhubungan dengan koefisien gesek, kekerasan, dan kekasaran.
2. Memiliki koefisien gesek yang tinggi agar kemampuan dalam mengerem maksimal dengan waktu yang lebih singkat ($\mu = 0.3-0.4$).
3. Memiliki kekerasan yang tinggi pada cakram agar tidak mudah mengalami *fatigue* pada material (300-321 BHN).
4. Memiliki suhu yang rendah pada saat pengereman terjadi (penurunan peforma sekitar $350^{\circ}\text{C}-400^{\circ}\text{C}$ [17] dan pengereman normal sekitar $200^{\circ}\text{C}-250^{\circ}\text{C}$)[18].
5. Memiliki harga yang terjangkau.

3.4 Dimensi Spesimen dan Pembuatan Spesimen

3.4.1 Dimensi Spesimen

Pada tahap ini dilakukan pemotongan spesimen yang akan digunakan pada penelitian, yaitu diantaranya pemotongan cakram dan kampas rem. Bentuk dari spesimen cakram yaitu berbentuk silinder pejal dengan menyesuaikan bahan dan alat yang digunakan dalam pengujian kali ini. Material kampas yang digunakan merupakan produk kampas asli dari Toyota Agya 1.0 MT, bentuk dari spesimen kampas dipotong berbentuk silinder serta menyesuaikan *holder* yang dapat dicekam dari alat uji keausan.

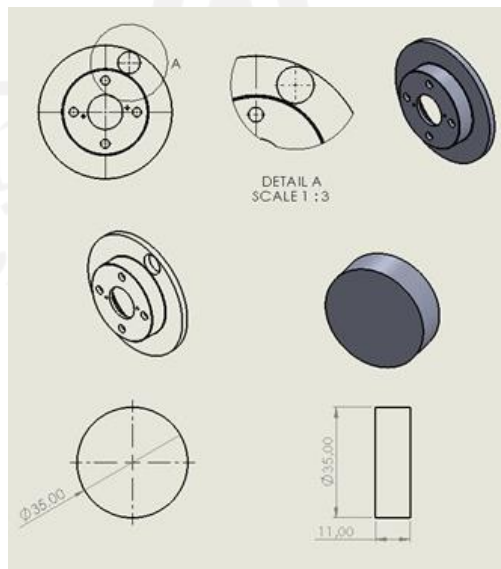
Berikut merupakan dimensi spesimen yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3-5 di bawah.

Tabel 3- 5 Dimensi Spesimen

| No | Spesimen | Ukuran |
|----|--|--------|
| 1 | Diameter Spesimen kampas | 6 mm |
| 2 | Diameter Spesimen Cakram Orisinal dan Imitasi | 35 mm |
| 3 | Ketebalan Spesimen Cakram Orisinal dan Imitasi | 11 mm |

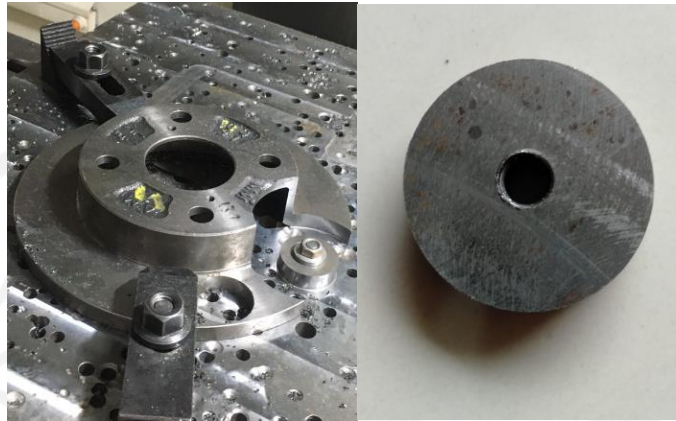
3.4.2 Pembuatan Spesimen

1. Pembuatan desain pada proses pemotongan cakram



Gambar 3- 2 Desain Pemotongan Spesimen Cakram

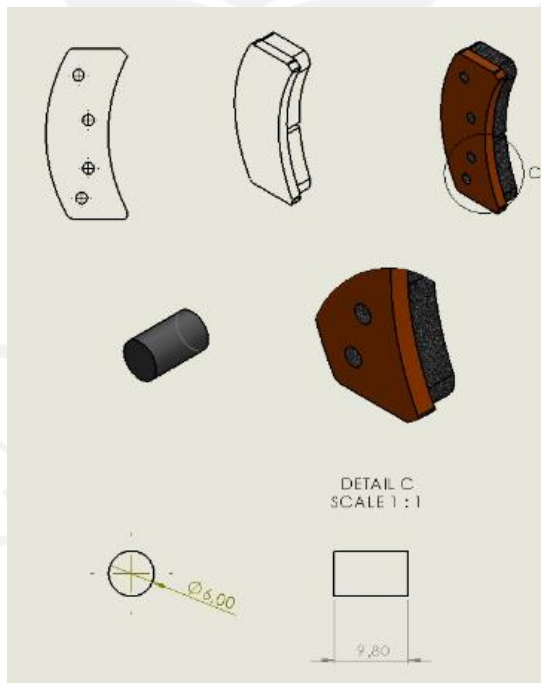
Gambar diatas adalah bagian cakram yang akan dipotong menggunakan mesin CNC, spesimen orisinal dan imitasi memiliki dimensi yang sama yaitu dengan ketebalan 11 mm dan diameter 35 mm, ukuran tersebut menyesuaikan dari ukuran cakram yang ada.



Gambar 3- 3 Hasil Pemotongan Spesimen

Gambar diatas merupakan spesimen yang telah dipotong menggunakan mesin CNC antara spesimen cakram orisinal dan imitasi

2. Pemotongan kanvas



Gambar 3- 4 Desain Pemotongan Spesimen Kanvas

Gambar diatas merupakan desain kanvas Toyota Agya 1.0 MT yang akan dipotong menggunakan mesin CNC yang memiliki diameter sebesar 6 mm.



Gambar 3- 5 Hasil Pemotongan Spesimen Kanvas

Gambar diatas merupakan spesimen kanvas yang telah dipotong menggunakan CNC, ukuran diameter kanvas yaitu 6 mm.

3.5 Preparasi Sampel Pengujian

3.5.1 Preparasi Pengujian Kekasaran

Sebelum pengujian kekasaran, spesimen yang akan dilakukan pengujian harus dibersihkan terlebih dahulu, spesimen dibersihkan menggunakan cairan aseton agar terhindar dari debu dan kotoran yang menempel, cairan aseton dioleskan pada spesimen kemudian dilap menggunakan tisu yang kering. Setelah permukaan dipastikan bersih dan terhindar dari kotoran kemudian dapat langsung dilakukan pengujian kekasaran.

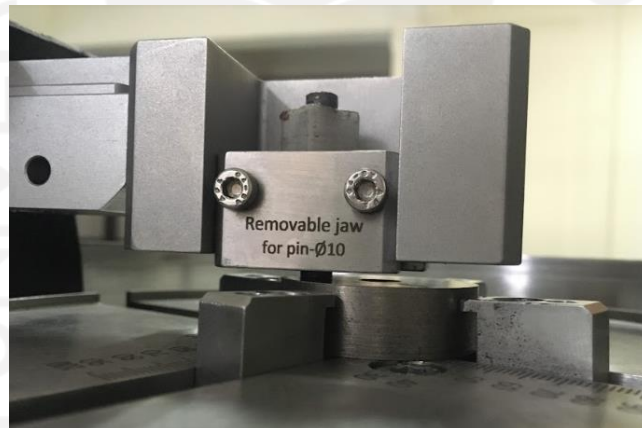
3.5.2 Preparasi Pengujian Aus dan Koefisien Gesek

Sebelum pengujian tribometer dilakukan persiapan terlebih dahulu spesimen kanvas dan cakram sebelum digunakan. Hasil potongan cakram tersebut dilekatkan pada *pin holder* yang terbuat dari 3D *print* dan pastikan melekat dengan erat kemudian timbang massa dari *pin holder* tersebut.



Gambar 3- 6 Kampas dan Pencekam 3D Print

Pasang spesimen cakram pada pencekam dan pin kampas pada *holder* yang ada di tribometer. *Input* parameter yang telah ditentukan pada Aplikasi winducom seperti RPM, waktu, beban, dan *weartrack*. Timbang kembali pin kampas yang telah dilakukan pengujian untuk dihitung massa aus dari kampas dan ambil data koefisien gesek tersebut.



Gambar 3- 7 Pemasangan Pin dan Spesimen

3.5.3 Preparasi pengujian Kekerasan

Sebelum melakukan pengujian kekerasan dilakukan pengamplasan pada spesimen cakram sampai halus agar hasil yang dihasilkan menjadi akurat. Pengamplasan dilakukan menggunakan mesin amplas dengan *grade* 400-600-800 kemudian baru dapat dilakukan pengujian kekerasan.

3.5.4 Preparasi Pengujian Spektrometri

Sebelum melakukan pengujian spektrometri, spesimen pastikan terhindar dari karat dan kotoran yang mengganggu dengan menggunakan amplas dan cairan aseton. Dikarenakan jika terdapat korosi maupun kotoran akan mengganggu hasil komposisi pada pengujian spektrometri. Amplas yang digunakan dari *grade* 400-600-800

3.5.5 Preparasi Pengujian Struktur Mikro

Sebelum melakukan pengujian struktur mikro dilakukan pengamplasan. Pengamplasan dilakukan menggunakan mesin amplas dengan *grade* 400-600-800-1000. Pada spesimen cakram dan pemolesan menggunakan autosol dengan kain bludru sampai mengkilap seperti kaca agar hasil yang dihasilkan menjadi akurat. Setelah dirasa mengkilap dilakukan pembersihan dengan cairan etsa bertujuan untuk melarutkan batas butir, bahan etsa yang digunakan menggunakan cairan HNO₃ dengan konsentrasi 5%, kemudian baru dapat dilakukan pengujian struktur mikro.

3.5.6 Preparasi Perlakuan Pengerasan Permukaan

Untuk membuat suatu material menjadi lebih keras, maka dapat dilakukan salah satunya dengan proses pengerasan permukaan menggunakan mesin pemanas induksi. Pada proses pengerasan ini terdapat parameter arus dan waktu untuk tiap perlakuannya. Pada penelitian ini berupaya meningkatkan kekerasan dari produk imitasi dikarenakan sifat mekanik material tersebut lebih rendah kekerasannya dari pada produk yang orisinal dan bertujuan apakah dilakukan proses perlakuan panas induksi dapat menyamai bahkan melebihi dari produk orisinal apa tidak. Setelah dilakukan proses pemanasan selanjutnya dilakukan proses *quenching*, proses ini merupakan proses dimana menurunkan suhu setelah proses pemanasan secara cepat. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan sifat material tertentu dan pengerasan induksi dapat berhasil. Proses *quenching* dapat menggunakan air, larutan garam, dan oli. Untuk penelitian ini proses *quenching* dilakukan menggunakan air dikarenakan air memiliki viskositas rendah dan dapat mempercepat penurunan suhu tersebut [19].

BAB 4

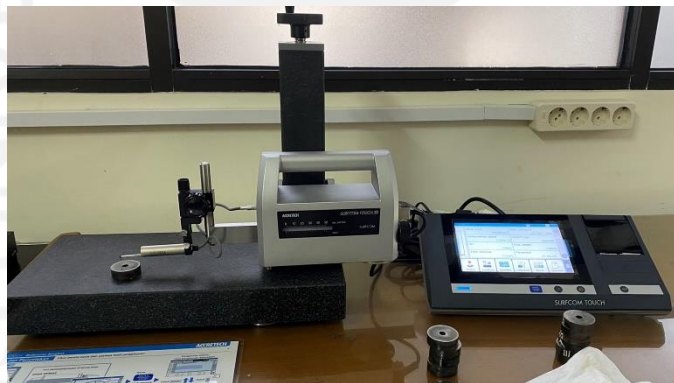
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Sebelum Perlakuan

Pada pengujian kali ini dilakukan dua bagian pengujian, yang pertama pengujian sebelum perlakuan, kemudian pengujian setelah perlakuan. Pengujian yang dilakukan yaitu sifat mekanik (kekerasan), sifat tribologi (kekasaran, aus, dan koefisien gesek), dan suhu.

4.1.1 Pengujian Kekasaran

Pengujian spesimen yang pertama dilakukan adalah pengujian kekasaran dengan menggunakan alat *Stylush Probe* dengan nama *Surfcom Probe*. Spesimen yang digunakan berukuran silinder dengan diameter 35 mm dengan tinggi 11 mm. Pengujian kekasaran dilakukan sebanyak 3 kali dengan menggunakan parameter λ_c 0,8, eval length 4 mm, dan kecepatan 0,3 mm/s pada permukaan cakram.



Gambar 4- 1 Alat Pengujian Kekasaran Permukaan

Untuk parameter pada pengujian kekasaran dapat dilihat pada tabel 4-1 di bawah.

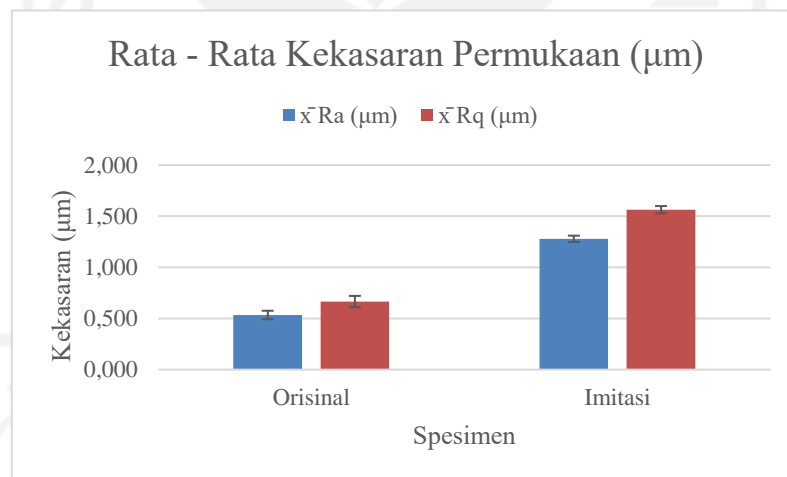
Tabel 4- 1 Parameter Pengujian Kekasaran

| No | Benda | mm/s | λc (mm) | Eval. Length (mm) |
|----|----------|------|---------------------|-------------------|
| 1 | Orisinal | 0.3 | 0,8 | 4 |
| 2 | Imitasi | 0.3 | 0,8 | 4 |

Berikut merupakan pengujian kekasaran terhadap kedua produk yaitu cakram orisinal dan imitasi dapat dilihat pada tabel 4-2 dan gambar 4-2.

Tabel 4- 2 Kekasaran Kekasaran Permukaan

| Pengujian kekasaran permukaan cakram | | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------|------|-------------|----------------------|-------|-------|--------------------------------|------------|
| No | Benda | mm/s | λc | Ra (μm) | | | \bar{x} Ra (μm) | σ/s |
| | | | | 1 | 2 | 3 | | |
| 1 | Orisinal | 0.3 | 0,8 | 0,478 | 0,551 | 0,575 | 0,535 | 0,041 |
| 2 | Imitasi | 0.3 | 0,8 | 1,323 | 1,261 | 1,254 | 1,279 | 0,031 |
| No | Benda | mm/s | λc | Rq (μm) | | | \bar{x} Rq (μm) | σ/s |
| | | | | 1 | 2 | 3 | | |
| 1 | Orisinal | 0.3 | 0,8 | 0,589 | 0,695 | 0,714 | 0,666 | 0,055 |
| 2 | Imitasi | 0.3 | 0,8 | 1,586 | 1,514 | 1,592 | 1,564 | 0,0354 |



Gambar 4- 2 Rata – Rata Ra dan Rq Permukaan Cakram

Berdasarkan data dari pengujian kekasaran pada permukaan, cakram pada jenis imitasi memiliki permukaan yang kasar dibandingkan dengan cakram orisinal berdasarkan hasil Ra dan Rq.

4.1.2 Pengujian Tribometer

Pengujian koefisien gesek dan aus menggunakan alat *Pin On Disc Tribometer*. *Output* dari alat ini yaitu koefisien gesek dan massa aus. Pin kampas yang telah dilekatkan pada pencekam 3D *print* kemudian letakkan pada pencekam pada tribometer dan juga spesimen cakram yang telah dipotong pada pencekam di bagian yang berputar pada *tribometer*.



Gambar 4- 3 Alat Pengujian Koefisien Gesek dan Aus

Ada beberapa parameter yang harus dimasukkan pada *tribometer* yaitu beban, *weartrack*, RPM, dan waktu. Untuk ukuran *weartrack* dengan menyesuaikan dari spesimen yaitu 24 mm dan pada waktu menggunakan 45 menit karena pada spesimen baja untuk lama pengujian yaitu antara 30 menit sampai satu jam. Proses pengujian dilakukan selama tiga kali pengulangan pada setiap spesimen agar mendapatkan data yang akurat.

Untuk parameter pada pengujian *tribometer* dapat dilihat pada tabel 4-3 dibawah.

Tabel 4- 3 Parameter Pengujian Koefisien Gesek dan Aus

| Parameter Data Input | |
|----------------------|---------------------|
| RPM | 728 RPM = 80 Km/Jam |
| Beban | 12 N |
| Waktu | 45 Menit |
| <i>Weartrack</i> | 24 mm |

Berikut merupakan asumsi - asumsi pada pengujian *pin on disc tribometer*.

1. Kecepatan mobil berjalan 80 Km/j.
2. Gaya pengereman menggunakan penelitian sebelumnya yang telah ada pada jarak 10 m[20].
3. Gaya yang digunakan tetap menggunakan data dari minitruck[20].
4. *Safety factor* berdasarkan gaya tertinggi.
5. Gaya terjadi pada satu sisi kampas.
6. Luas permukaan kampas sebesar 62,29° dengan menggunakan desain *solidworks*.

Untuk dimensi ban standar agya dapat dilihat pada tabel 4-4 dibawah

Tabel 4- 4 Dimensi Ban Standar Agya

| Ukuran geometri ban standar agya | | | |
|----------------------------------|-----------------|----------|-------|
| Lebar ban (mm) | Aspek rasio (%) | Diameter | |
| | | (Inch) | (mm) |
| 175 | 65 | 14 | 355,6 |

Pada tabel 4-4 menunjukkan dimensi dari ban agya berdasarkan yang menjadi dasar perhitungan



Gambar 4- 4 Persamaan Perhitungan Sigma X pada Ban

$$\sum X_3 = \sum X_1 = 113,75 \text{ mm}$$

$$\sum X_3 + \sum X_1 = 227,5 \text{ mm}$$

$$\sum X_2 = 355,6 \text{ mm}$$

$$\sum X = 583,1 \text{ mm}$$

Rumus kecepatan sudut dan kecepatan linear

$$\omega = \frac{v}{r}$$

$$v = \omega \times r$$

$$\omega = \text{Kecepatan sudut} \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$$

$$v = \text{Kecepatan linear} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

$$r = \text{Jari - jari (m)}$$

Konversi RPM ke rad/s

$$1 \text{ rpm} = \frac{2\pi}{60} \text{ rad/s}$$

RPM = Angular

v = Linear

$$r = 0,292 \text{ m}$$

$$v = 22,22 \text{ m/s}$$

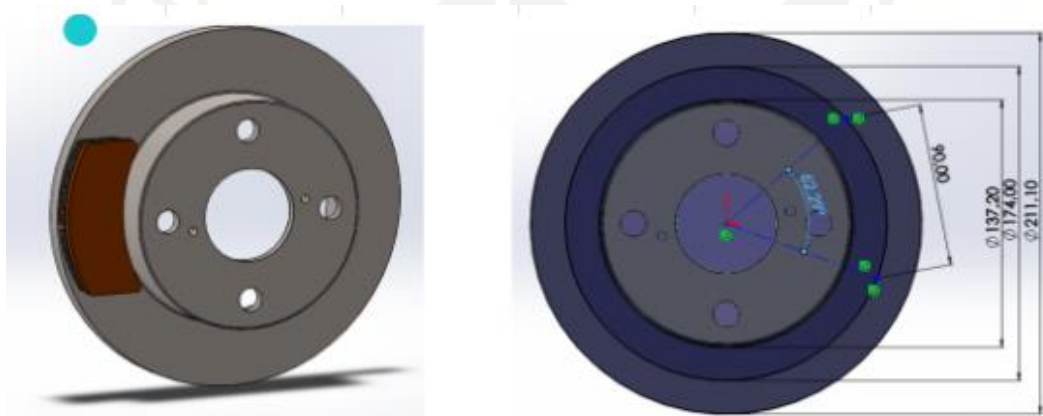
$$\omega = 76,22 \text{ rad/s}$$

$$\text{Satu RPM} = \frac{\omega}{2\pi} \times 60$$

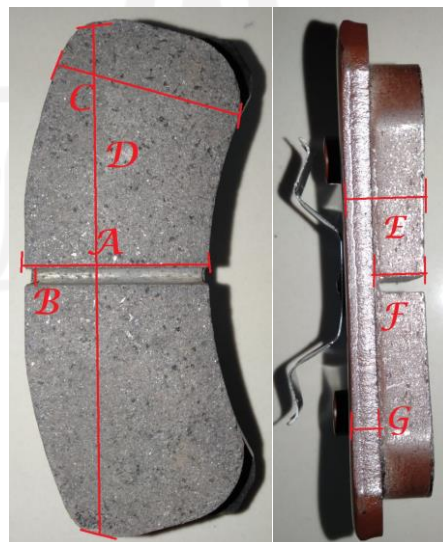
$$\mathbf{RPM = 727,564}$$

| No | V ₀ (km/jam) | a (m/dt ²) | t(dt) | Fp kiri(N) | Fp Kanan(N) |
|----|-------------------------|------------------------|-------|------------|-------------|
| 1 | 40 | 6.161 | 1.80 | 483.48 | 369.72 |
| 2 | 50 | 9.522 | 1.45 | 631.19 | 482.68 |
| 3 | 60 | 13.778 | 1.20 | 818.20 | 625.68 |
| 4 | 70 | 18.818 | 1.03 | 1039.68 | 795.05 |
| 5 | 80 | 24.642 | 0.90 | 1295.59 | 990.74 |

Gambar 4- 5 Data Hasil Jarak Pengereman 10 m[20]



Gambar 4- 6 Dimensi Cakram Orisinal



Gambar 4- 7 Penamaan Sampel Ukur

Untuk hasil pengujian geometri pada kampas dapat dilihat pada tabel 4-5 dibawah

Tabel 4- 5 Hasil Pengukuran Kampas Orisinal

| Dimensi kampas rem | | | | | | |
|--------------------|------------|-------|-------|-------|-----------|------------|
| No | Keterangan | 1 | 2 | 3 | \bar{x} | σ/s |
| 1 | A | 32,0 | 32,0 | 32,0 | 32 | 0 |
| 2 | B | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 0 |
| 3 | C | 33,0 | 33,0 | 33,0 | 33 | 0 |
| 4 | D | 90,0 | 90,0 | 90,0 | 90 | 0 |
| 5 | E | 15,30 | 15,30 | 15,32 | 15,307 | 0,012 |
| 6 | F | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 0 |
| 7 | G | 5,50 | 5,52 | 5,50 | 5,507 | 0,012 |

Berdasarkan desain pada gambar 4-7 dapat diketahui bahwa lebar permukaan cakram adalah 37 mm. Pada tabel 4-5 diketahui lebar permukaan kampas (C) adalah 33 mm.

Perhitungan Kontak Area Cakram

$$D_{\text{besar}} = 207,1 \text{ mm}$$

$$D_{\text{kecil}} = 141,2 \text{ mm}$$

$$\pi = 3,14$$

$$\text{Luas} = \text{Luas } D_{\text{besar}} - \text{L } D_{\text{kecil}}$$

$$\text{Luas cakram} = 18.034,47 \text{ mm}^2$$

Perhitungan Luas Kampas

$$\text{Mencari luas kampas} = (\text{mm}^2)$$

$$\text{Luas kampas} = \text{Luas cakram} \times \text{Luas kampas} \frac{(\text{°})}{360\text{°}}$$

$$\text{Luas kampas} = 3.120,465 \text{ mm}^2$$

Mencari tekanan (P) pada kampas

$$P = \frac{F}{A}$$

$$P = \frac{1.295,59 \text{ N}}{3.120,465 \text{ mm}^2}$$

$$P = 0,415 \text{ N/mm}^2$$

Mencari luas spesimen uji

$$\pi = 3,14$$

$$D = 6 \text{ mm}$$

$$\text{Luas} = \frac{1}{4} \times \pi D^2$$

$$\text{Luas} = 28,29 \text{ mm}^2$$

Tekanan (P) pada kampas sama dengan (P) spesimen uji

$$F = P \times A$$

$$F = 0,415 \text{ N/mm}^2 \times 28,29 \text{ mm}^2$$

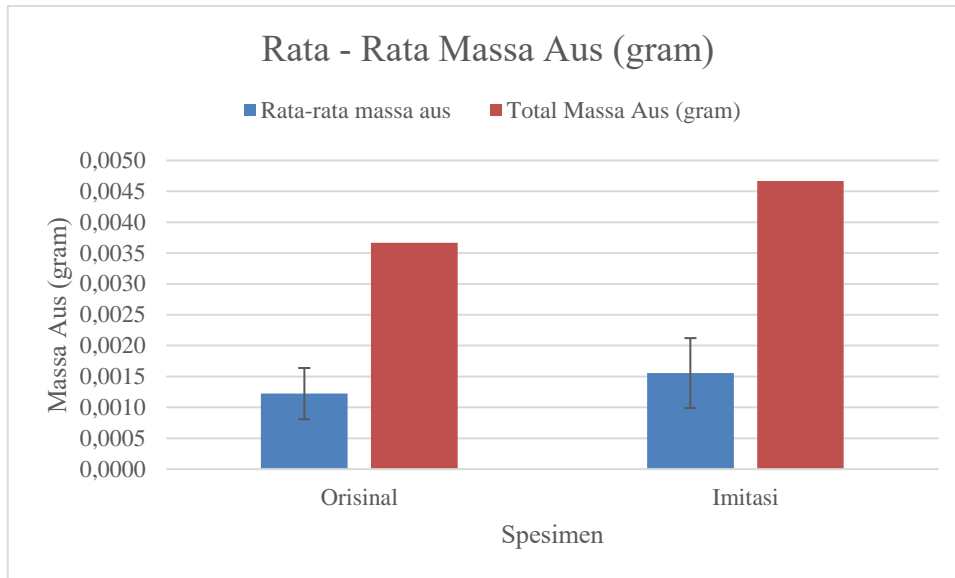
$$F = 11,744 \text{ N}$$

Berdasarkan perhitungan di atas diketahui beban yang diberikan pada pengujian aus dan koefisien gesek yaitu sebesar 12 N agar tekanan pada pengujian sama dengan kondisi asli pengereman. Pada pengujian tribometer terdapat output yang berupa massa aus dan koefisien gesek. Pin yang digunakan yaitu dari kampas orisinal Toyota Agya dan spesimen Orisinal dan Imitasi yang telah disiapkan. Pada saat pengujian berjalan dilakukan pengujian untuk mengetahui perubahan suhu yang terjadi.

Untuk hasil keausan pengujian *pin on disc tribometer* dapat dilihat pada tabel 4-6 dibawah.

Tabel 4- 6 Tabel Keausan

| No | Sampel | Berat Setelah Pengujian (gram) | | | Total Massa Aus (gram) | Rata-rata massa aus | Standar deviasi massa aus |
|----|----------|--------------------------------|--------|--------|------------------------|---------------------|---------------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | | | |
| 1 | Orisinal | 0,0017 | 0,0013 | 0,0007 | 0,0037 | 0,0012 | 0,0004 |
| 2 | Imitasi | 0,0023 | 0,0010 | 0,0013 | 0,0047 | 0,0016 | 0,0006 |



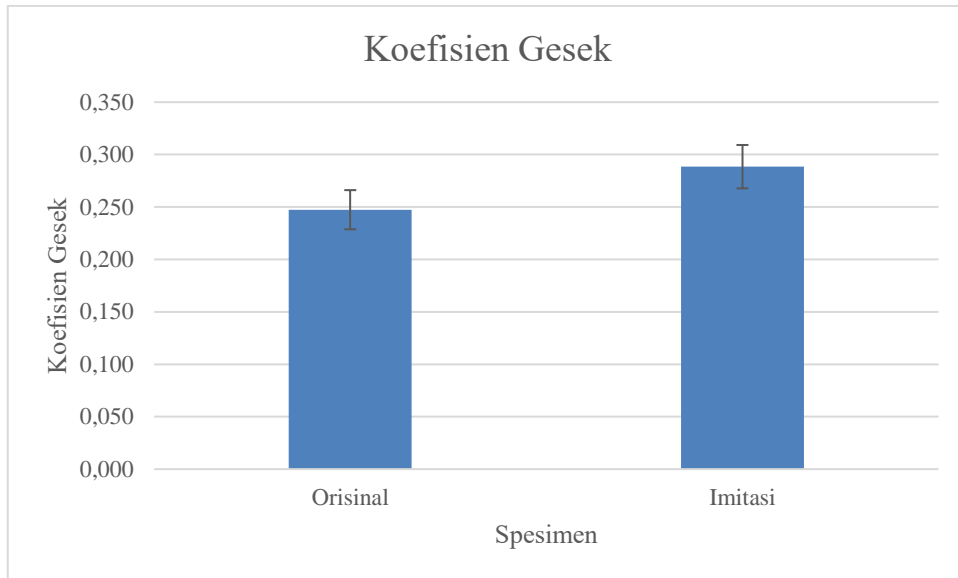
Gambar 4- 8 Hasil Uji Massa Aus

Berdasarkan pengujian aus yang telah dilakukan menggunakan cakram dan kampas rem, didapat hasil rata - rata aus cakram Orisinal sebesar $0,0012 \pm 0,0004$ gram dan cakram imitasi sebesar $0,0016 \pm 0,0006$ gram. Sedangkan untuk total massa aus didapat hasil total massa aus cakram Orisinal sebesar 0,0037 gram dan cakram imitasi sebesar 0,0047 gram. Dari hasil pengujian rata-rata massa aus dan total massa aus diatas, maka dapat disimpulkan bahwa untuk rata - rata massa aus dan total massa aus yang tinggi pada produk cakram imitasi dan rata – rata massa aus dan total massa aus yang rendah pada produk cakram orisinal.

Pada hasil pengujian koefisien gesek dapat dilihat pada tabel 4-7 dibawah

Tabel 4- 7 Hasil Uji Koefisien Gesek

| Tabel Koefisien gesek (Steady state) | | | | |
|--------------------------------------|----------|----------------------|-------------------------|---------------------|
| No | Sampel | Koef. Friction μ | Rata-rata (\bar{x}) | Standar Deviasi (S) |
| 1 | Orisinal | 0,260 | 0,247 | 0,019 |
| | | 0,261 | | |
| | | 0,221 | | |
| 2 | Imitasi | 0,259 | 0,288 | 0,021 |
| | | 0,303 | | |
| | | 0,303 | | |



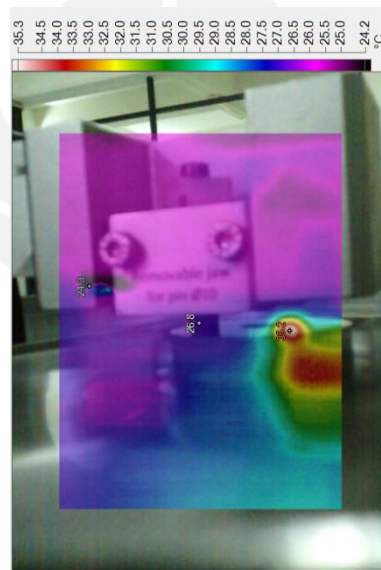
Gambar 4- 9 Grafik Uji Koefisien Gesek

Berdasarkan pengujian tribometer yang telah dilakukan menggunakan cakram dan kampas rem, didapat hasil rata-rata koefisien gesek cakram Orisinal sebesar $0,247 \pm 0,019$, cakram Bekas sebesar $0,383 \pm 0,087$, dan cakram imitasi sebesar $0,288 \pm 0,021$. Dari hasil pengujian rata-rata koefisien gesek diatas, maka dapat disimpulkan bahwa untuk koefisien gesek pada produk cakram imitasi lebih tinggi dari pada cakram orisinal.

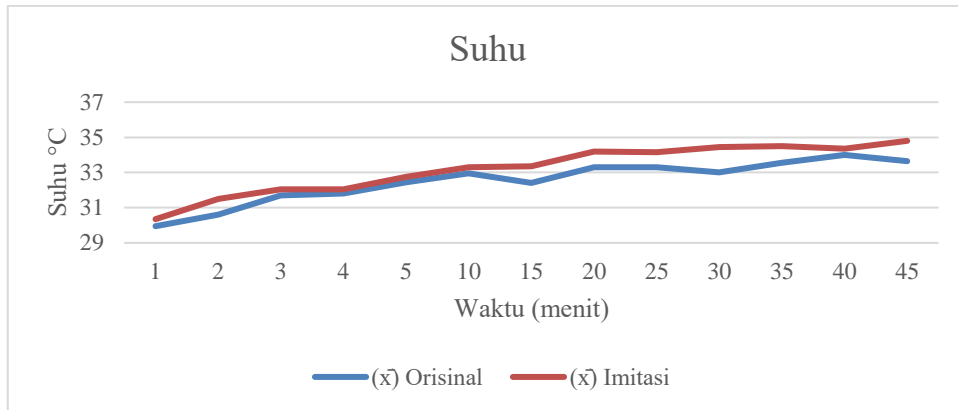
Kemudian selain aus dan koefisien gesek, dilakukan pengujian suhu pada permukaan *disk* dalam lingkup *wear track* pasca dilalui oleh pin. Pengujian suhu pada penelitian ini menggunakan alat yaitu Thermal Imager Fluke, *output* yang didapat dari alat ini berupa foto yang dapat dilihat dari berbagai titik. Fokus dari pengambilan suhu yaitu berada pada spesimen setelah bergesekan dengan pin. Pengujian ini dilakukan bersamaan dengan pengujian aus dan koefisien gesek, proses pengambilan foto dari pertama *run* hingga selesai yaitu pada menit 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45.



Gambar 4- 10 Fluke Thermal Imager



Gambar 4- 11 Hasil Fluke Thermal Imager



Gambar 4- 12 Grafik Hasil Pengujian Suhu

Berdasarkan pengujian suhu yang telah dilakukan menggunakan alat Thermal Imager, didapat hasil suhu pada saat *running* cakram orisinal memiliki keseluruhan suhu paling rendah dengan suhu tertinggi yaitu 34 °C, kemudian cakram imitasi dengan suhu tertinggi yaitu 34,8 °C. Hasil ini berdasarkan rata - rata pengujian suhu sebanyak dua kali pengambilan pada pengujian *pin on disk tribometer*.

4.1.3 Pengujian Kekerasan

Pada pengujian kekerasan sampel yang digunakan sama dengan spesimen sebelumnya. Pengujian ini dilakukan di Lab Bahan Teknik UGM. Alat yang digunakan yaitu dengan kekerasan Brinell, pembebebanan yang digunakan sebesar 187,9 Kgf. Pengujian ini dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan agar mendapatkan hasil yang akurat.



Gambar 4- 13 Universal Hardness Tester

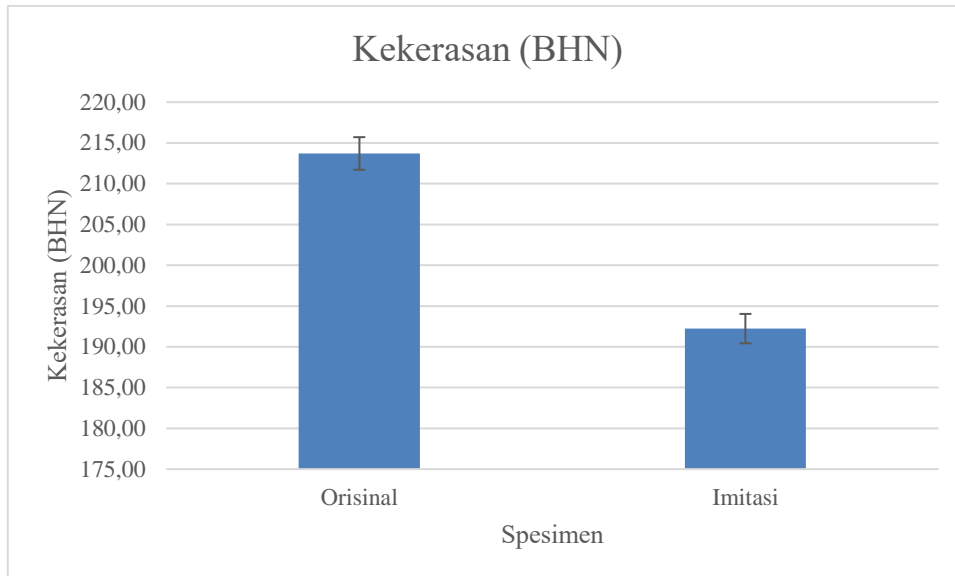
Berikut merupakan hasil pengujian kekerasan yang telah dilakukan. Adapun spesimen hasil dari pengujian kekerasan terdapat bekas lendutan pada spesimen. Dapat dilihat pada gambar 4-14 dan tabel 4-8 dibawah.



Gambar 4- 14 Spesimen Hasil Pengujian Kekerasan

Tabel 4- 8 Data Uji Kekerasan Brinnell

| Variasi Spesimen | Titik Uji | Diameter (mm) | Kekerasan Brinnel (BHN) | Kekerasan Rata-rata (BHN) | Standar Deviasi |
|------------------|-----------|---------------|-------------------------|---------------------------|-----------------|
| Orisinal | 1 | 1,03 | 215,14 | 213,70 | 2,0 |
| | 2 | 1,04 | 210,83 | | |
| | 3 | 1,03 | 215,14 | | |
| Imitasi | 1 | 1,09 | 190,98 | 192,23 | 1,8 |
| | 2 | 1,09 | 190,98 | | |
| | 3 | 1,08 | 194,73 | | |



Gambar 4- 15 Grafik Hasil Uji Kekerasan Brinnell

Berdasarkan pengujian kekerasan yang telah dilakukan menggunakan alat Uji Kekerasan Brinnell, didapat hasil pada cakram orisinal memiliki tingkat kekerasan tertinggi dengan nilai kekerasan rata - rata 213.70 ± 2.0 BHN, kemudian cakram imitasi memiliki kekerasan paling lunak 192.23 ± 1.8 BHN.

4.1.4 Pengujian Spektrometri

Sampel yang digunakan adalah sampel yang sudah dipersiapkan sebelumnya, pengujian ini bertujuan untuk meneliti unsur Karbon yang ada pada spesimen dan menganalisis komposisi material yang ada pada spesimen dengan menggunakan laser dan berhubungan akan dilakukan proses pemanasan induksi. Pengujian ini dilakukan pada bagian QC PT Quick yang berada di Jl Magelang dengan menggunakan alat Thermo ARL 3560 OES Program FE-LOW berdasarkan kalibrasi program alat CV Karya Hidup Sentosa. Pengujian ini dilakukan pada 3 titik agar hasil yang didapatkan akan lebih akurat

Berikut merupakan hasil pengujian spektrometri yang telah dilakukan. Adapun spesimen hasil dari pengujian spektrometri yaitu komposisi kimia yang ada pada cakram imitasi. Dapat dilihat pada tabel 4-9 dibawah.

Tabel 4- 9 Data Spektrometri

| Imitasi | | | | | | | |
|---------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Unsur | C | Si | S | P | Mn | Ni | Cr |
| (%) | >5,176 | 2,1008 | 0,0455 | 0,0209 | 0,6078 | 0,0157 | 0,1206 |
| Unsur | Mo | Cu | W | Ti | Sn | Al | Pb |
| (%) | 0,0031 | >0,1844 | 0 | 0,0091 | 0,0024 | 0,0067 | 0,0003 |
| Unsur | Ca | Zn | Fe | | | | |
| (%) | 0,0017 | 0 | 92,53 | | | | |

Berdasarkan pengujian spektrometri didapatkan hasil yaitu spesimen merupakan besi tuang. Kadar besi pada spesimen yaitu 92,53% dan kadar karbon berjumlah 5,17%. Kemudian terdapat catatan bahwa unsur karbon sudah menjadi grafit sehingga hasil menjadi tidak akurat.

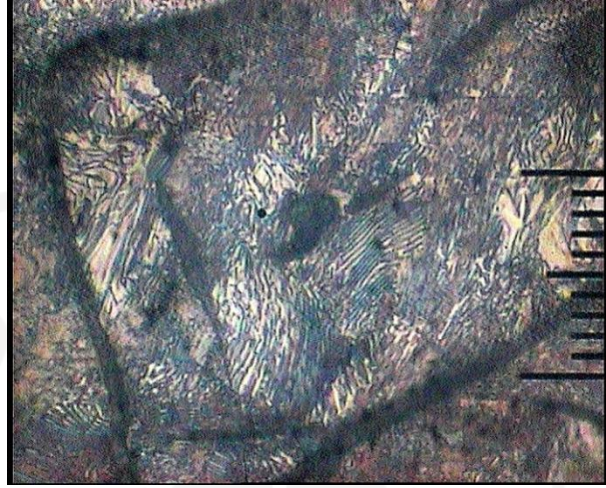
4.1.5 Pengujian Metalografi

Setelah dilakukan proses penyiapan spesimen yang meliputi pengamplasan (*grinding*), pemolesan (*polishing*), dan pengetsaan maka pengujian struktur mikro dapat segera dilakukan. Pengujian struktur mikro dilakukan di Lab Bahan dan Teknik UGM dengan alat mikroskop Sony Olympus PME 3. Dengan perbesaran 200x pengujian ini dilakukan sebanyak 3 kali pada titik yang berbeda pada setiap spesimen agar mendapatkan hasil yang akurat. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan struktur mikro spesimen dari sebelum diberi perlakuan hingga setelah dilakukan perlakuan pemanasan induksi.



Gambar 4- 16 Mikroskop Sony Olympus PME 3

Berikut merupakan hasil pengujian metalografi yang telah dilakukan. Adapun hasil dari foto mikro terdapat 3 titik pemotretan yang berbeda. Dapat dilihat pada gambar dibawah



Gambar 4- 17 Spesimen Imitasi Sebelum Perlakuan (Titik 1)



Gambar 4- 18 Spesimen Imitasi Sebelum Perlakuan (Titik 2)



Gambar 4- 19 Spesimen Imitasi Sebelum Perlakuan (Titik 3)

4.2 Hasil Pengujian Setelah Perlakuan

4.2.1 Perlakuan Panas Induksi

Proses pengerasan permukaan ini dilakukan menggunakan mesin pemanasan induksi. Pada mesin ini terdapat parameter yang harus dilakukan yaitu parameter arus dan waktu untuk setiap proses perlakuannya.



Gambar 4- 20 Mesin Pemanas Induksi

Pada perlakuan panas ini bertujuan untuk mengetahui peningkatan kekerasan dengan beberapa parameter arus dan waktu. Hal ini dikarenakan pada pengujian kekerasan sebelumnya spesimen imitasi memiliki kekerasan yang lebih rendah dari orisinal. Sehingga mungkin dapat berpengaruh dalam pengujian selanjutnya. Terdapat 6 spesimen yang digunakan pada parameter yang digunakan dan setiap spesimen memiliki parameter yang berbeda beda. Dengan terdapat perbedaan parameter bertujuan untuk mengetahui pada parameter mana yang memiliki kekerasan paling baik. Berikut adalah spesifikasi dari mesin panas induksi pada gambar 4-21.



Gambar 4- 21 Spesifikasi Mesin Panas Induksi



Gambar 4- 22 Koil Pemanas Induksi

Pada perlakuan ini, peletakkan spesimen dilakukan di dalam koil yang menjadi medan magnet. Hal ini bersumber dari arus bolak-balik yang berasal dari mesin induksi. Koil ini memiliki lilitan sebanyak 3 dengan tinggi lilitan



Gambar 4- 23 Peletakan Spesimen

Pada peletakan spesimen proses pengerasan induksi diletakkan pada alas berbahan kramik yang bertujuan untuk memposisikan spesimen berada di tengah lilitan. Sehingga seluruh permukaan spesimen dapat terpengaruh pemanasan induksi secara merata.



Gambar 4- 24 Proses Pendinginan

Setelah proses pemanasan selesai, spesimen yang telah merah membara kemudian didinginkan (*quenching*) menggunakan air. Air memiliki persebaran panas yang bagus dibandingkan dengan oli maupun udara. Hal ini bertujuan untuk

mendapatkan sifat material yang diinginkan dengan menurunkan suhu secara cepat agar proses pemanasan induksi dapat berhasil.

Sebelum melakukan perlakuan panas induksi terdapat beberapa parameter, yaitu waktu dan arus dilakukan pada setiap spesimen yang berbeda. Terdapat 6 spesimen imitasi, kemudian penamaan pada keenam spesimen menjadi K1 sampai dengan K6. Adapun waktu dan arus yang menghasilkan suhu pada spesimen terdapat pada tabel 4-10 di bawah.

Tabel 4- 10 Parameter Waktu dan Arus dengan Hasil Suhu

| Parameter | | Spesimen | |
|---------------|---------------|----------|-----------|
| Arus (Ampere) | Waktu (Detik) | Imitasi | Suhu (°C) |
| 1200 | 15 | K1 | 746 |
| | 20 | K2 | 764 |
| 1000 | 15 | K3 | 613 |
| | 20 | K4 | 722 |
| 800 | 15 | K5 | 458 |
| | 20 | K6 | 505 |

4.2.2 Pengujian Kekasaran

Proses pengamplasan dilakukan yaitu setelah perlakuan panas induksi. Proses ini dilakukan menggunakan grid amplas dari kasar sampai paling halus (220-500-1000) dengan durasi masing masing pengujian selama 10 menit dengan kecepatan 300 RPM. Pada perlakuan ini bertujuan untuk menurunkan kekasaran pada spesimen K1 sampai K6 dikarenakan setelah perlakuan panas induksi kekasaran dari spesimen meningkat. Kekasaran yang diinginkan yaitu mendekati dengan yang orisinal agar pengujian tetap selaras karena setelah dilakukan pemanasan induksi ini, kekerasan permukaan imitasi meningkat. Sehingga mungkin dapat mempengaruhi hasil dari pengujian selanjutnya.



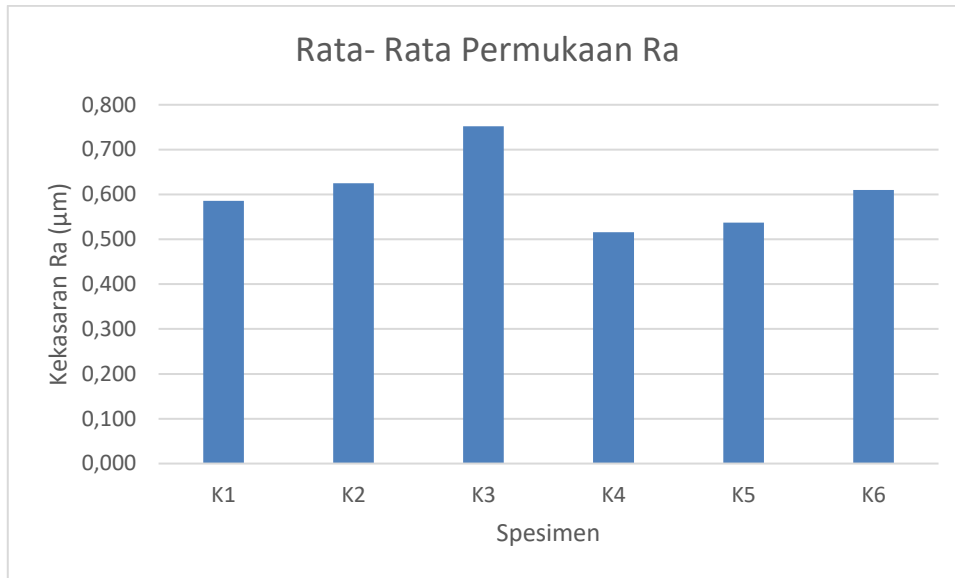
Gambar 4- 25 Mesin Amplas PLATO

Pengujian kekasaran dilakukan bertujuan untuk menyesuaikan dengan kekasaran pada spesimen orisinal, setelah proses perlakuan panas kekasaran permukaan spesimen imitasi berubah. Untuk menjaga kekasaran menyerupai dengan spesimen orisinal yaitu sebesar $Ra\ 0,5347\ \mu\text{m}$ dengan dilakukan pengamplasan pada spesimen K1 sampai K6 yang telah dilakukan perlakuan panas. Berikut merupakan hasil pengujian kekasaran pada spesimen imitasi setelah dilakukan perlakuan panas pada tabel 4-11 di bawah.

Tabel 4- 11 Data Kekasaran Spesimen Imitasi

| Pengujian kekasaran permukaan spesimen cakram imitasi | | | | | | | |
|---|------|--------------|----------------------|-------|-------|--------------------------|------------|
| Benda | mm/s | $\lambda\ c$ | Ra (μm) | | | $\bar{x}\ (\mu\text{m})$ | σ/s |
| | | | 1 | 2 | 3 | | |
| K1 | 0.3 | 2,5 | 0,479 | 0,337 | 0,942 | 0,586 | 0,258 |
| K2 | 0.3 | 2,5 | 0,708 | 0,564 | 0,604 | 0,625 | 0,061 |
| K3 | 0.3 | 2,5 | 0,813 | 0,708 | 0,736 | 0,752 | 0,044 |
| K4 | 0.3 | 2,5 | 0,561 | 0,477 | 0,51 | 0,516 | 0,035 |
| K5 | 0.3 | 2,5 | 0,497 | 0,459 | 0,655 | 0,537 | 0,085 |
| K6 | 0.3 | 2,5 | 0,847 | 0,462 | 0,522 | 0,610 | 0,169 |
| Rata -rata | | | | | | 0,605 | 0,109 |

Berdasarkan tabel diatas dapat disimpulkan bahwa untuk keseluruhan hasil dari uji kekasaran pada spesimen cakram imitasi setelah perlakuan pengerasan induksi sudah mendekati cakram orisinal dengan $Ra\ 0,535\ \mu\text{m}$ dan dapat dilakukan untuk pengujian selanjutnya.



Gambar 4- 26 Rata – Rata Permukaan Spesimen Cakram Imitasi

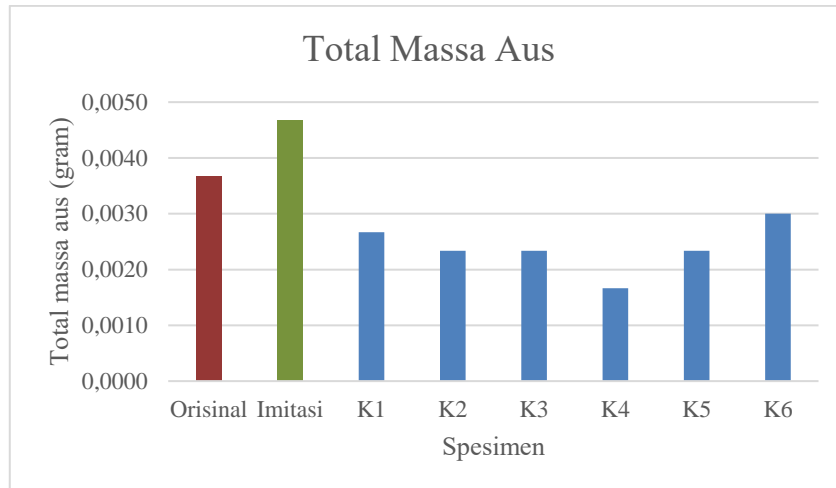
4.2.3 Pengujian Tribometer

Pada pengujian *tribometer* terdapat *output* yang berupa massa aus dan koefisien gesek. Spesimen yang digunakan yaitu dari cakram Imitasi yang telah dilakukan perlakuan panas induksi. Pada saat pengujian berjalan dilakukan pengujian suhu untuk mengetahui perubahan suhu yang terjadi.

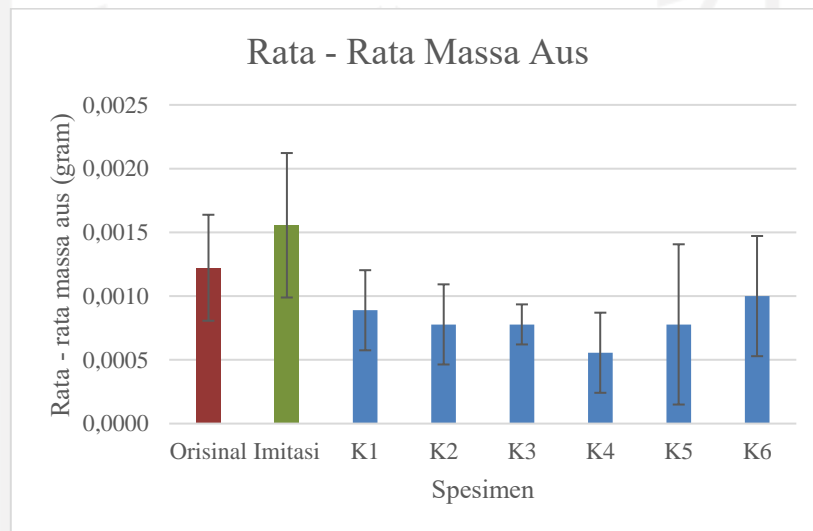
Untuk hasil pengujian *tribometer* dapat dilihat pada tabel 4-12 dibawah.

Tabel 4- 12 Hasil Uji Aus Cakram Imitasi dengan Perlakuan Panas

| Sampel | Berat Setelah Pengujian (gram) | | | Total Massa Aus (gram) | Rata-rata massa aus | Standar deviasi massa aus |
|----------|--------------------------------|--------|--------|------------------------|---------------------|---------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | | | |
| Orisinal | 0,0017 | 0,0013 | 0,0007 | 0,0037 | 0,0012 | 0,0004 |
| Imitasi | 0,0023 | 0,0010 | 0,0013 | 0,0047 | 0,0016 | 0,0006 |
| K1 | 0,0013 | 0,0007 | 0,0007 | 0,0027 | 0,0009 | 0,0003 |
| K2 | 0,0003 | 0,0010 | 0,0010 | 0,0023 | 0,0008 | 0,0003 |
| K3 | 0,0007 | 0,0007 | 0,0010 | 0,0023 | 0,0008 | 0,0002 |
| K4 | 0,0010 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0017 | 0,0006 | 0,0003 |
| K5 | 0,0017 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0023 | 0,0008 | 0,0006 |
| K6 | 0,0017 | 0,0007 | 0,0007 | 0,0030 | 0,0010 | 0,0005 |



Gambar 4- 27 Total Aus Cakram Imitasi dengan Perlakuan Panas



Gambar 4- 28 Rata - Rata Aus Cakram Imitasi dengan Perlakuan Panas

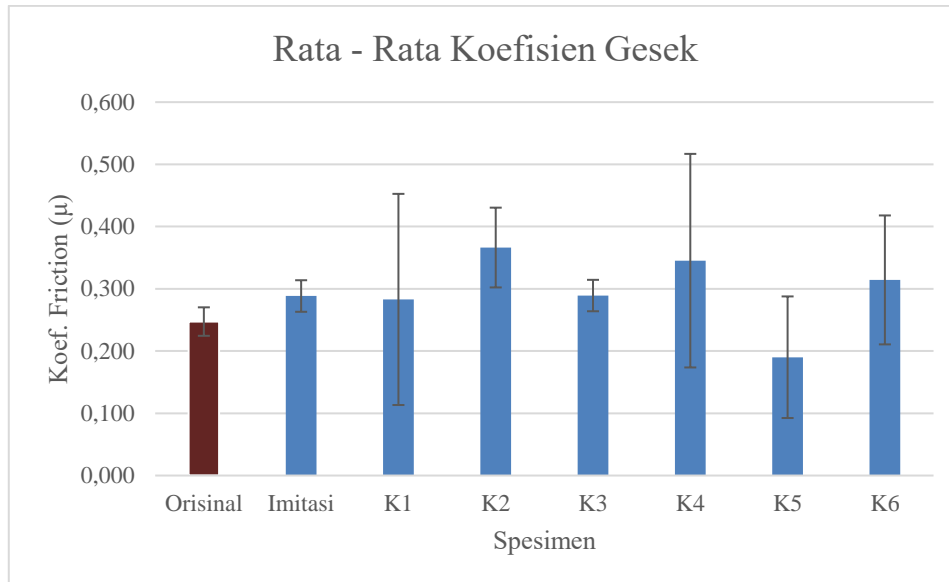
Berdasarkan pengujian aus yang telah dilakukan menggunakan cakram dan kampas rem, didapat hasil rata-rata aus cakram Orisinal sebesar $0,0012 \pm 0,0004$ gram, cakram imitasi sebesar $0,0016 \pm 0,0006$ gram, spesimen K1 sebesar $0,0009 \pm 0,0003$ gram, spesimen K2 sebesar $0,0008 \pm 0,0003$ gram, spesimen K3 sebesar $0,0008 \pm 0,0002$, spesimen K4 sebesar $0,0006 \pm 0,0003$ gram, spesimen K5 sebesar $0,0008 \pm 0,0006$ gram, dan spesimen K6 sebesar $0,0010 \pm 0,0005$ gram. Sedangkan untuk total massa aus didapat hasil total massa aus cakram Orisinal sebesar 0,0037 gram, cakram imitasi sebesar 0,0047 gram, spesimen K1 sebesar 0,0027 gram, spesimen K2 sebesar 0,0023 gram, spesimen K3 sebesar 0,0023 gram, spesimen K4 sebesar 0,0017 gram, spesimen K5 sebesar 0,0023 gram, dan spesimen K6 sebesar 0,0030 gram. Dari hasil pengujian rata-rata massa

aus dan total massa aus diatas, maka dapat disimpulkan bahwa untuk rata-rata massa aus dan total massa aus terbesar adalah produk cakram imitasi. Sedangkan untuk rata-rata massa aus dan total massa aus terkecil adalah spesimen K4.

Pada hasil pengujian koefisien gesek dapat dilihat pada tabel 4-13 di bawah.

Tabel 4- 13 Hasil Uji Koefisien Gesek Cakram dengan Perlakuan Pengerasan Induksi

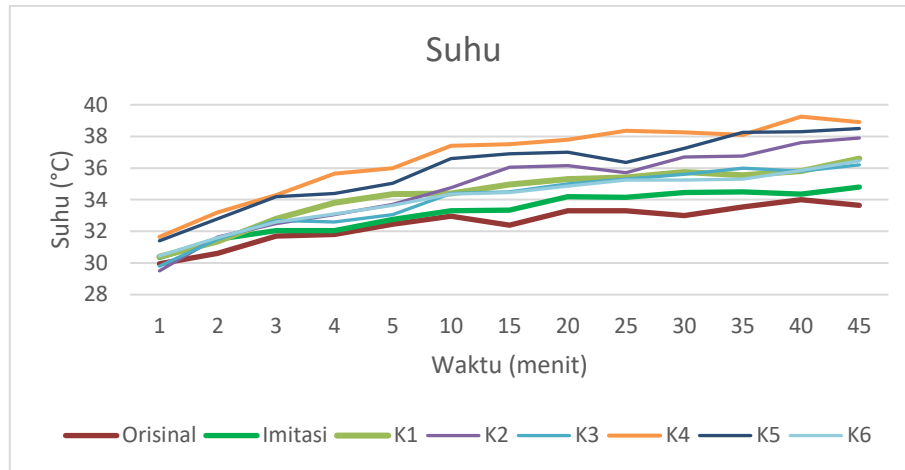
| Tabel Koefisien gesek (Steady state) | | | |
|---|--|---|----------------------------|
| Sampel | Koef. Friction μ | Rata-rata (\bar{x}) | Standar Deviasi (S) |
| ORISINAL | 0,260 | 0,247 | 0,023 |
| | 0,261 | | |
| | 0,221 | | |
| IMITASI | 0,259 | 0,288 | 0,025 |
| | 0,303 | | |
| | 0,303 | | |
| K1 | 0,372 | 0,283 | 0,170 |
| | 0,087 | | |
| | 0,390 | | |
| K2 | 0,415 | 0,366 | 0,064 |
| | 0,390 | | |
| | 0,294 | | |
| K3 | 0,260 | 0,289 | 0,025 |
| | 0,305 | | |
| | 0,303 | | |
| K4 | 0,217 | 0,345 | 0,172 |
| | 0,279 | | |
| | 0,540 | | |
| K5 | 0,135 | 0,190 | 0,098 |
| | 0,303 | | |
| | 0,132 | | |
| K6 | 0,303 | 0,314 | 0,104 |
| | 0,217 | | |
| | 0,423 | | |



Gambar 4- 29 Grafik Rata- Rata Hasil Uji Koefisien Gesek Setelah Perlakuan Panas

Berdasarkan pengujian koefisien gesek yang telah dilakukan pada spesimen kampas dan cakram, didapatkan hasil koefisien gesek pada spesimen K1 $0,247 \pm 0,023$, K2 $0,366 \pm 0,064$, K3 $0,289 \pm 0,025$, K4 $0,345 \pm 0,172$, K5 $0,190 \pm 0,098$, dan K6 $0,314 \pm 0,104$. Dari hasil pengujian koefisien gesek diatas dapat disimpulkan secara keseluruhan spesimen yang telah mengalami perlakuan panas nilai koefisien gesek menjadi lebih tinggi dari pada spesimen Orisinal dan Imitasi, tetapi pada spesimen K5 koefisien gesek yang dihasilkan lebih buruk dibandingkan spesimen Orisinal dan Imitasi.

Kemudian selain aus dan koefisien gesek, dilakukan pengujian suhu pada permukaan *disk* dalam lingkup *wear track* pasca dilalui oleh pin. Kemudian pengujian ini dilakukan bersamaan dengan pengujian koefisien gesek dan keausan, diambil mulai dari proses *running* sampai selesai pada menit 1-5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45.



Gambar 4- 30 Grafik Hasil Uji Suhu Cakram dengan Perlakuan Panas

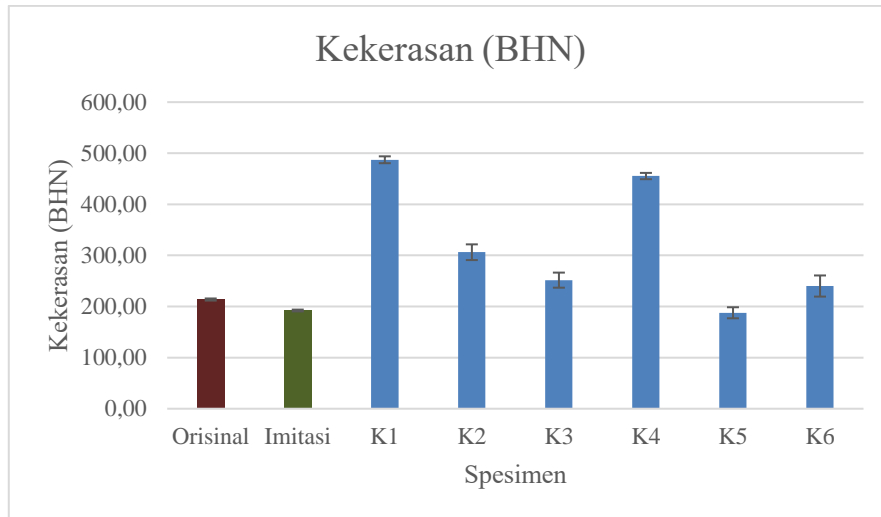
Berdasarkan pengujian suhu yang telah dilakukan menggunakan alat *Thermal Imager*, didapat hasil suhu pada saat *running* cakram K1-K6 mengalami kenaikan suhu secara keseluruhan dibandingkan spesimen Orisinal dan Spesimen Imitasi sebelum perlakuan. Namun pada spesimen K4 memiliki suhu yang paling tinggi dari keseluruhan pengujian suhu yang telah dilakukan pada setiap spesimen. Pada spesimen K3 memiliki suhu terendah dibandingkan kelima spesimen lainnya dengan suhu tertinggi yaitu 36,2 °C. Hasil ini berdasarkan rata - rata pengujian suhu sebanyak dua kali pengambilan pada pengujian *pin on disk tribometer*.

4.2.4 Pengujian Kekerasan

Berikut merupakan hasil dari pengujian kekerasan yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel 4-14 di bawah.

Tabel 4- 14 Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen Imitasi setelah Perlakuan Panas

| Variasi Spesimen | Titik Uji | Diameter (mm) | Kekerasan Brinnel (BHN) | Kekerasan Rata-rata (BHN) | Standar Deviasi |
|------------------|-----------|---------------|-------------------------|---------------------------|-----------------|
| Orisinal | 1 | 1,03 | 215,14 | 213,70 | 2,0 |
| | 2 | 1,04 | 210,83 | | |
| | 3 | 1,03 | 215,14 | | |
| Imitasi | 1 | 1,09 | 190,98 | 192,23 | 1,8 |
| | 2 | 1,09 | 190,98 | | |
| | 3 | 1,08 | 194,73 | | |
| K1 | 1 | 0,69 | 491,9 | 487,20 | 6,71 |
| | 2 | 0,69 | 491,9 | | |
| | 3 | 0,70 | 477,7 | | |
| K2 | 1 | 0,90 | 285,0 | 306,28 | 15,37 |
| | 2 | 0,85 | 320,7 | | |
| | 3 | 0,86 | 313,1 | | |
| K3 | 1 | 0,92 | 272,3 | 251,65 | 14,75 |
| | 2 | 0,98 | 238,7 | | |
| | 3 | 0,97 | 243,9 | | |
| K4 | 1 | 0,72 | 451,0 | 455,35 | 6,16 |
| | 2 | 0,71 | 464,1 | | |
| | 3 | 0,72 | 451,0 | | |
| K5 | 1 | 1,13 | 177,0 | 187,76 | 10,82 |
| | 2 | 1,11 | 183,8 | | |
| | 3 | 1,06 | 202,6 | | |
| K6 | 1 | 0,95 | 254,7 | 240,10 | 20,70 |
| | 2 | 1,04 | 210,8 | | |
| | 3 | 0,95 | 254,7 | | |

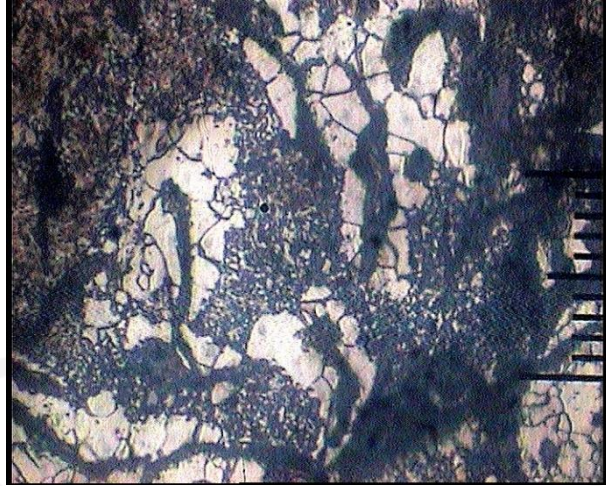


Gambar 4- 31 Grafik Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen Imitasi setelah Perlakuan Panas

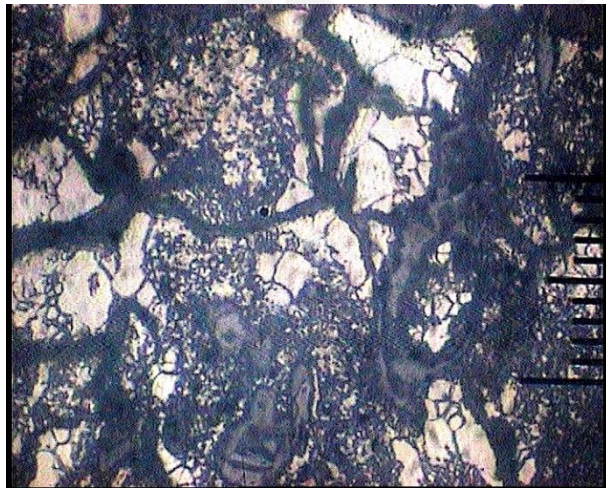
Hasil dari pengujian kekerasan yang telah dilakukan pada 6 spesimen cakram imitasi, spesimen yang memiliki kekerasan paling tinggi yaitu pada K1 dengan nilai kekerasan $487,20 \pm 6,71$, kemudian pada spesimen K4 $455,35 \pm 6,16$, K2 $306,28 \pm 15,37$, K3 $251,65 \pm 14,75$, K6 $240,10 \pm 20,70$, dan spesimen paling lunak yaitu pada spesimen K5 $187,76 \pm 10,82$.

4.2.5 Pengujian Metalografi

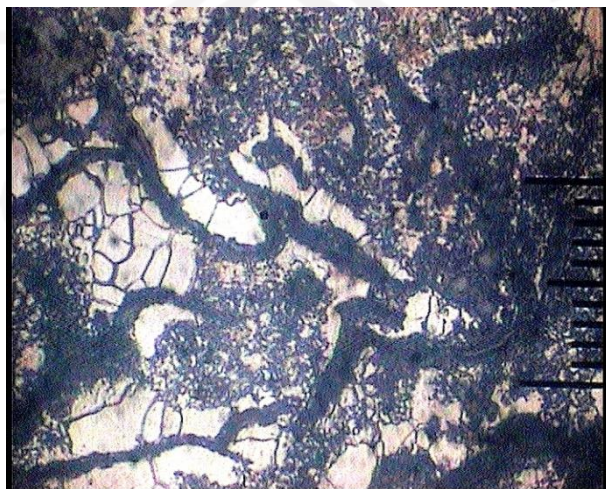
Pengujian dilakukan dalam 3 titik pengambilan gambar pada mikroskop yang berbeda agar mendapatkan hasil keakuratan yang tinggi. Detailnya untuk mengetahui struktur penyusun pada spesimen cakram. Pengujian ini dilakukan pada spesimen paling keras dan paling lunak setelah dilakukan perlakuan panas induksi. Untuk hasil pengujian metalografi dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 4- 32 Struktur Mikro K1 (keras) Setelah Induksi (Titik 1)

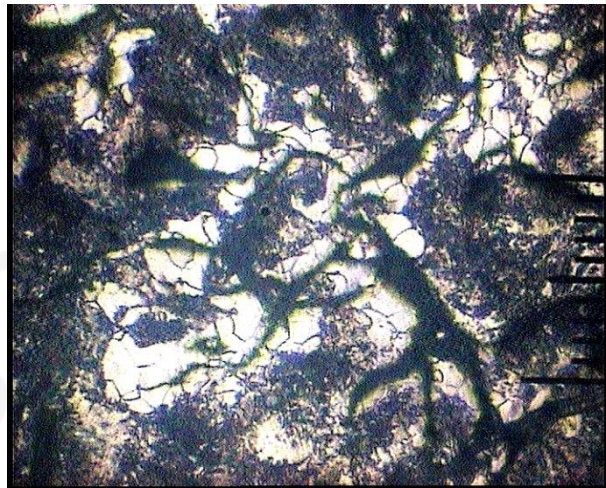


Gambar 4- 33 Struktur Mikro K1 (keras) Setelah Induksi (Titik 2)



Gambar 4- 34 Struktur Mikro K1 (keras) Setelah Induksi (Titik 3)

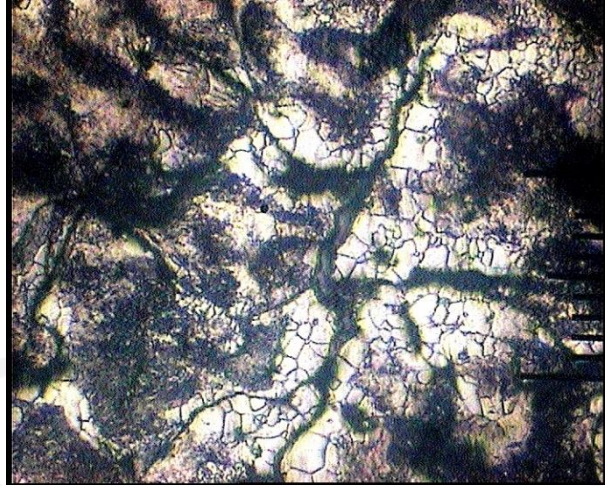
Hasil pengujian metalografi setelah perlakuan panas pada spesimen cakram imitasi dengan spesimen paling lunak dapat dilihat pada gambar dibawah



Gambar 4- 35 Struktur Mikro K5 (lunak) Setelah Induksi (Titik 1)



Gambar 4- 36 Struktur Mikro K5 (lunak) Setelah Induksi (Titik 2)



Gambar 4- 37 Struktur Mikro K5 (lunak) Setelah Induksi (Titik 3)

4.3 Analisis dan Pembahasan

Pada analisis dan pembahasan terdapat beberapa sub bab yang membahas dua tahapan hasil pengujian, yaitu tahap sebelum perlakuan dan setelah proses perlakuan panas induksi.

4.3.1 Sebelum Perlakuan

Pada tahap sebelum perlakuan dilakukan beberapa pengujian pada produk orisinal dan imitasi. Pengujian yang dilakukan diantaranya adalah pengujian kekasaran, pengujian kekerasan, pengujian aus, pengujian koefisien gesek, dan pengujian suhu. Dimensi yang dibutuhkan untuk pengujian ini membuat kampas rem harus di potong berbentuk tabung dengan diameter 6 mm. Sehingga menyulitkan saat proses pemotongan. Bahan dari kampas yang mudah hancur. Kemudian pemasangan dengan holder pin yang sering miring menjadi kendala utama. Selain itu terbatasnya dana penelitian dan bahan penelitian membuat pin kampas digunakan berkali-kali.

Pada pengujian suhu di penelitian ini mendapatkan hasil yang sangat jauh dari hasil literasi, yakni suhu rawan pengereman pada kampas rem dengan bahan non asbestos dan cakram akan mengalami penurunan peforma pada suhu sekitar 350–400 °C[17]. Suhu pada cakram dan kampas ketika pengereman, saat kecepatan 80 km/jam adalah 200-250°C[18]. Pada pengujian ini hanya berkisar 29-34°C, namun hal tersebut bukan merupakan kesalahan dikarenakan yang

digunakan saat pengujian yakni spesimen dengan luas penampang dan konversi gaya tertentu dengan metode pengujian *pin on disc tribometer* bukan pada pengereman. Jadi suhu penelitian ini adalah suhu asli berdasarkan hasil yang didapat dari pengujian dan pengambilan suhu menggunakan alat *Thermal Imager*.

Pada produk cakram orisinal mendapatkan hasil paling baik dengan aus yang rendah dan koefisien gesek yang cukup. Terdapat beberapa yang menyebabkan hal ini terjadi, diantaranya kekerasan pada spesimen orisinal paling tinggi yang menyebabkan *real contact area* permukaan yang bersentuhan antara cakram dan kampas kecil sehingga aus yang ditimbulkan sedikit. Kemudian pada produk orisinal memiliki kekasaran yang cukup sehingga menimbulkan keausan dan koefisien gesek yang seimbang. Pada pengujian suhu produk orisinal memiliki suhu yang rendah dibandingkan produk imitasi. Pada pengereman suhu yang rendah merupakan hal yang baik, banyak kasus kegagalan pengereman dikarenakan suhu yang terlalu tinggi. Nilai kekasaran pada produk orisinal juga sudah sesuai dikarenakan kekasaran akan berpengaruh pada keausan dan koefisien gesek yang ditimbulkan. Aus yang rendah pada produk orisinal juga merupakan hal yang baik juga karena dapat memperpanjang umur dari kampas sendiri. Kekerasan pada cakram orisinal memiliki nilai yang tinggi juga berperan sebagai durasi penggunaan yang lama pada cakram.

Pada produk imitasi memiliki kekerasan yang paling lunak dan nilai kekasaran yang paling tinggi yang menyebabkan koefisien gesek lebih tinggi dari orisinal tetapi keausan tetap lebih tinggi dari orisinal. Pada produk imitasi nilai koefisien gesek dapat dikatakan lebih bagus dari pada produk orisinal tetapi keausan yang ditimbulkan lebih tinggi dari orisinal. Mengacu dari nilai kekerasan produk imitasi yang rendah, selanjutnya berupaya untuk meningkatkan kualitas dengan cara meningkatkan nilai kekerasan serta menurunkan kekasaran agar keausan yang ditimbulkan dapat mendekati produk cakram yang orisinal.

4.3.2 Setelah Perlakuan

Pada perlakuan panas induksi bertujuan untuk meningkatkan kualitas produk imitasi agar dapat menyerupai produk orisinal. Perlakuan ini dilakukan pada enam spesimen dikarenakan produk yang telah ada sebelumnya hanya dapat

dibuat enam sampel spesimen. Setelah dilakukan pengujian spektrometri spesimen cakram Imitasi terbuat dari besi tuang kelabu dengan tingkat karbon yang tinggi. Pada pengujian metalografi spesimen menunjukkan bahwa material terdiri dari grafit dengan struktur perlit dan ferit. Proses pembentukan grafit yaitu dibantu oleh tinggi rendahnya jumlah karbon pada spesimen dan proses perlakuan panas induksi pada proses pembentukannya. Dengan dasar tersebut proses perlakuan panas dapat dilakukan pada spesimen ini. Pada material besi tuang kelabu dengan unsur karbon tinggi proses pengerasan permukaan dapat dilakukan dengan suhu 550°C dan optimal di 800°C, Kemudian akan leleh pada suhu 860°C-930°C[19].

Pada proses perlakuan panas induksi menentukan beberapa parameter berbeda pada setiap spesimen dengan hasil spesimen K2 memiliki suhu tertinggi dan pada spesimen K5 memiliki suhu terendah. Pada metode panas induksi ini kekasaran pada spesimen berubah menjadi lebih kasar kemudian dilakukan pengamplasan dengan tujuan menyamakan nilai kekasaran dengan produk orisinal dan kemudian kekasaran dianggap tidak berpengaruh dan dapat dilakukan pengujian selanjutnya. Pada pengujian kekerasan pada spesimen K1 memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi dengan dua kali lipat lebih dengan produk orisinal, kemudian spesimen K4, spesimen K2, spesimen K3, spesimen K6, dan pada spesimen K5 kekerasan melunak daripada produk sebelumnya. Pada pengujian metalografi untuk melihat struktur mikro dilakukan pada spesimen paling keras dan paling lunak yakni K1 dan K5. Pada K1 menunjukkan struktur yang masih grafit namun berbeda dengan *raw material* dikarenakan sudah didominasi oleh perlit yang membuat spesimen ini lebih keras. Namun pada B5 struktur mikro keseluruhannya masih hampir menyerupai *raw material*.

Secara keseluruhan setelah proses perlakuan pengerasan permukaan seluruh spesimen yang dilakukan pengerasan permukaan memiliki keausan yang lebih rendah daripada yang orisinal maupun imitasi dan pada spesimen K4 yang memiliki aus paling kecil diantara kelima spesimen yang lain. Hal ini dapat dikatakan baik karena pada proses pengeraman akan memberi umur kampas menjadi lebih Panjang.

Spesimen K1 sampai K6 hampir semua memiliki koefisien gesek yang lebih tinggi daripada yang orisinal kecuali pada spesimen K5. Hal ini dapat

dikatakan baik karena koefisien gesek yang tinggi dapat meningkatkan kemampuan pengereman. Dengan koefisien gesek tertinggi pada K2, K4, K6, K3, K1, dan K5.

Pada keseluruhan spesimen pengerasan induksi mendapatkan hasil suhu lebih tinggi dari pada dengan produk orisinal dan imitasi. Pada spesimen K3 memiliki suhu terbaik dibandingkan kelima spesimen lain. Dengan mempertimbangkan kekerasan terbaik untuk cakram lebih awet, keausan cukup untuk memperpanjang masa pakai kampas, koefisien gesek yang cukup untuk meningkatkan kemampuan pengereman dan suhu. Maka dapat diambil kesimpulan spesimen K3 dengan parameter pemanasan induksi arus 1000A dan waktu 15 detik.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa apabila seorang pemilik mobil memiliki kendala pada pengereman seperti cakram mulai tidak rata dapat diganti dengan produk cakram imitasi. Mengingat harga cakram orisinal yang sangat mahal seperti mobil – mobil premium eropa. Dengan melakukan perlakuan pengerasan permukaan dengan parameter arus dan waktu yang sesuai dapat membuat kualitas cakram imitasi tersebut meningkat menjadi lebih bagus dari produk orisinal. Seperti dari segi keausan kampas rem, keausan cakram, koefisien gesek, dan tentunya penggunaan akan menjadi lebih awet dan tahan lama.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Cakram imitasi memiliki hasil yang negatif dari segi aus dan suhu yang lebih tinggi. Begitu juga pada kekerasan menunjukkan hasil yang negatif dengan nilai yang lebih rendah. Namun pada koefisien gesek menunjukkan hasil yang positif dengan nilai yang lebih tinggi dari cakram orisinal.
2. Secara keseluruhan pada spesimen K1-K6 memiliki tingkat keausan yang lebih rendah dari produk orisinal. Pada nilai koefisien gesek dan kekerasan telah lebih baik dari produk orisinal. Suhu pada spesimen K1-K6 menjadi lebih buruk dari produk imitasi
3. Spesimen K3 memiliki keseluruhan pengujian terbaik, Massa aus K3 $0,0008 \pm 0,0002$ gram, koefisien gesek K3 $0,289 \pm 0,025$, Suhu tertinggi $36,2$ °C. Parameter yang digunakan pada pemanas induksi yaitu 1000 A dengan waktu 15 detik menghasilkan suhu 613 °C dan nilai kekerasan $251,65 \pm 14,75$ BHN

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Pada penelitian ini terdapat beberapa saran agar penelitian ini lebih baik kedepannya, berikut saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Timbangan yang digunakan saat pengujian tribometer perlu menggunakan timbangan dengan 4 angka dibelakang koma atau lebih agar massa aus dapat terbaca secara jelas
2. Perlunya UPS pada alat tribometer agar tidak ada kegagalan dan pengulangan pengujian
3. Perlu adanya alat pengujian kekerasan dan metalografi yang memadahi agar mempermudah dalam mengamati pengaruh pengerasan permukaan
4. Pada penelitian selanjutnya diharap bisa meneliti tentang sebab dan akibat pada data hasil pengujian, disarankam menggunakan uji SEM untuk kasus tribologi.
5. Pada penelitian selanjutnya diharap bisa meneliti tentang pengaruh perlakuan pengerasan induksi pada cakram dengan variabel arus dan waktu yang lebih bervariasi, agar parameter terbaik lebih akurat.
6. Pada penelitian selanjutnya dapat meneliti mengenai energi yang digunakan pada panas induksi serta mengetahui perbedaan suhu yang terjadi pada pengujian dengan *real* mengenai performa pada pengereman.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asri and Darmanto, “Analisa Keausan Kampas Rem pada Disc Brake dengan Variasi Material Kampas Rem,” 2018.
- [2] D. A. Manullang, M. Idris, and F. A. K. Nasution, *ANALISIS KEAUSAN KAMPAS REM PADA DISC BRAKE DENGAN VARIASI KECEPATAN*. 2022.
- [3] R. Ismail, N. Aprilitama, and Sugiyanto, “PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN PADA RODA GIGI PASCA Pengerasan Permukaan Menggunakan Pemanas Induksi,” 2015.
- [4] M. R. Ichwani, “PENGARUH KEKASARAN PERMUKAAN TERHADAP LAJU KOROSI BAJA API 5L DALAM LARUTAN ASAM, BASA, DAN GARAM,” 2014.
- [5] J. Waluyo, “Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan pda Proses Karburasi Cair terhadap Kekerasan Baja Media Air,” 2009.
- [6] R. Ismail, M. Tauviqirrahman, A. Warsito, and dan Abdul Syakur, “PEMANFAATAN MESIN PEMANAS INDUKSI UNTUK Pengerasan Permukaan Roda Gigi Produk UKM,” 2011.
- [7] M. F. Ramadhany and G. D. Haryadi, “PENGARUH VARIASI PUTARAN MESIN DAN WAKTU Pengereman Terhadap Temperatur dan Koefisien Gesek Pada Brake Pads dan Brake Shoedengan Alat Uji Berbasis Remote Monitoring System,” 2016.
- [8] A. A. Dzikrullah, Qomaruddin, and M. Khabib, *Prosiding Seminar Nasional: ANALISA GESEKAN Pengereman Hidrolis (Rem Cakram) dan Tromol Pada Kendaraan Roda Empat Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga*. 2017.
- [9] S. Diki, S. B. St, I. Melya, D. Sebayang, and S. Si, “PRINSIP KERJA REM DISC BRAKE DAN PERAWATANNYA.”
- [10] N. Upara and T. B. Laksono, “ANALISIS KOMPARASI KUALITAS PRODUK KAMPAS REM CAKRAM ANTARA ORIGINAL DENGAN

- AFTER MARKET,” 2019. [Online]. Available: <http://teknik.univpancasila.ac.id/asiimetrik/>
- [11] M. B. Fitrianto, Darmanto, and I. Syafa'at I, “PENGUJIAN KOEFISIEN GESEK PERMUKAANPLAT BAJA ST 37 PADA BIDANG MIRING TERHADAP VISKOSITAS PELUMAS DAN KEKASARAN PERMUKAAN,” 2015.
- [12] Rusmadi, “ANALISIS PERCOBAAN GESEKAN (FRICTION) UNTUK PENGEMBANGAN TEKNOLOGI Pengereman PADA KENDARAAN BERMOTOR,” 2008.
- [13] S. Rizal and Sailon, “ANALISIS PERUBAHAN KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO HASIL PERLAKUAN PANAS PRODUK PANDAI BESI DENGAN MENGGUNAKAN MEDIA PENDINGIN BATANG PISANG,” vol. 7, no. 1, 2014.
- [14] J. Karya and T. Sipil, “STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH TEMBAGA TERHADAP KUAT TARIK BAJA,” Halaman, 2015. [Online]. Available: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jkts>
- [15] A. Mersilia, P. K. Karo, D. Yayat, and I. Supriyatna, “Pengaruh Heat Treatment Dengan Variasi Media Quenching Air Garam dan Oli Terhadap Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan Baja Pegas Daun AISI 6135,” 2016.
- [16] Grzegorz Kinal and Michał Libera, “Grzegorz KINAL*, Michał LIBERA* ANALISIS KEKERASAN KELOMPOK ROTOR REM COR BESI TERPILIH ANALIZA TWARDOŚCI WYBRANEJ GRUPY ELIWNYYCH TARCZ HAMULCOWYCH,” 2017, [Online]. Available: www.onlinedoctranslator.com
- [17] D. Sumadi, *Isuzu Training Modul*. 2002.
- [18] S. V. Nababan, “Distribusi Temperatur pada Rem Cakram Mobil Tipe Multi Purpose Vehicle (MPV),” 2016.
- [19] V. Rudnev, “Induction Hardening of Cast Irons,” 2018. [Online]. Available: www.ductile.org.
- [20] R. Setiyono, “ANALISIS GAYA Pengereman PADA MOBIL NASIONAL MINI TRUCK,” 2015.

LAMPIRAN

Kampas



Cakram Orisinal



Cakram Imitasi Nakano

