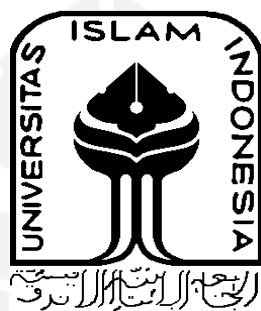


**ANALISIS SIFAT MEKANIK DAN TRIBOLOGI PADA
CAKRAM BARU DAN BEKAS DENGAN PERLAKUAN
PERMUKAAN**

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Alfaarisi Maulana Kasim
No. Mahasiswa : 18525137
NIRM : 2018052902

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

YOGYAKARTA

2022

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**ANALISIS SIFAT MEKANIK DAN TRIBOLOGI PADA
CAKRAM BARU DAN BEKAS DENGAN PERLAKUAN
PERMUKAAN**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Alfaarisi Maulana Kasim
No. Mahasiswa : 18525137
NIRM : 2018052902

Yogyakarta, 18 Oktober 2022

Pembimbing I,

Pembimbing II,



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



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

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

ANALISIS SIFAT MEKANIK DAN TRIBOLOGI PADA CAKRAM BARU DAN BEKAS DENGAN PERLAKUAN PERMUKAAN

TUGAS AKHIR

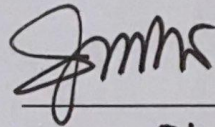
Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Alfaarisi Maulana Kasim
No. Mahasiswa : 18525137
NIRM : 2018052902

Tim Penguji

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

Ketua



Tanggal : 04/11/2022

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

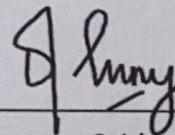
Anggota I



Tanggal : 04/11/2022

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

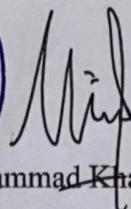
Anggota II



Tanggal : 01/11/2022

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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, 18 Oktober 2022



Muhammad Alfaarisi Maulana Kasim

18525137

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala 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 saya bapak Kasim dan ibu Istikomah 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, penguji, dosen pengajar dan seluruh staf program studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia yang telah membimbing dan membagikan ilmunya kepada penulis secara ikhlas.

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 ilmunya kepada penulis 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

Mahkota seseorang adalah akalnya, derajat seseorang adalah agamanya,
sedangkan kehormatan seseorang adalah budi pekertinya.

(Umar Bin Khattab RA)

Barang siapa yang memberikan kemudahan bagi orang yang mengalami kesulitan
di dunia, maka Allah akan memudahkan urusannya di dunia dan akhirat.

(HR : Tirmidzi -1853)

Berzikir Kuat, Berpikir Cepat, Bertindak Tepat, Berazas Manfaat.

(KH. Muh. As'ad Umar)

Orang boleh salah, agar dengan demikian ia berpeluang menemukan kebenaran
dengan proses autentiknya sendiri.

(Emha Ainun Nadjib)

Proses sama pentingnya dibanding hasil. Hasilnya nihil tak apa. Yang penting
sebuah proses telah dicanangkan dan dilaksanakan.

(Sujiwo Tejo)

Last but not least, I wanna thank me. I wanna thank me for believing in me. I
wanna thank me for doing all this hard work. I wanna thank me for having no
days off. I wanna thank me for, for never quitting.

(Snoop Dog)

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 skripsi ini dengan judul penelitian “Analisis Sifat Mekanik dan Tribologi pada Cakram Baru dan Bekas dengan Perlakuan Permukaan”.

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. Allah SWT tuhan semesta alam yang telah memberikan nikmat kepada kita dengan begitu banyak.
2. Bapak Hari Purnomo, Prof., Dr., Ir., M.T., IPU, ASEAN.Eng selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia
3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP dan bapak Ir. Santo Ajie Dhewanto, S.T., M.M. IPP selaku Dosen Pembimbing skripsi yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan pengarahan, motivasi, semangat, dan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Bapak Kasim dan Ibu Istikomah selaku orang tua serta M. Rizky Maulana K. dan Jihan Qonita Sakhi selaku saudara saya yang telah memberikan doa, semangat, perhatian, motivasi dan dukungan baik secara moral maupun material.

6. Seluruh Dosen Prodi Teknik Mesin yang telah banyak memberikan penulis ilmu pengetahuan yang baik selama perkuliahan.
7. Teman seperjuangan Rhizado, Dhafa, Abdi, Arif, David, Slamet, Eky, Aldo, Agik, Hapes, Ajun, Jen, Ratok, Gufran, Kemal dan teman-teman kontrakan sebelah yang telah membantu dan mendukung dalam pengerjaan skripsi.
8. Irbah Balqis Sabrina, S. Si yang telah menemani, memberikan warna dan motivasi semasa perkuliahan.
9. Teruntuk semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, penulis mengucapkan banyak terimakasih karena telah banyak membantu penulis selama pelaksanaan tugas akhir ini, semoga kebaikan kalian mendapatkan imbalan dari Allah SWT.

Semoga apa yang telah diberikan kepada penulis mendapat pahala yang berlimpah dari Allah *Subhanahu Wata'ala*.

Akhir kata, Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak terdapat kesalahan, maka dari itu penulis mengharap kritik dan saran yang membangun dalam penulisan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Yogyakarta, 18 Oktober 2022



M. Alfaarisi Maulana Kasim

18525137

ABSTRAK

Pengereman memiliki dua komponen penting yakni piringan cakram yang berputar sesuai kecepatan roda mobil dan kampas rem yang akan menghambat kecepatan kendaraan. Kedua komponen tersebut akan bergesekan. Kemudian akan menimbulkan koefisien gesek, aus dan peningkatan temperatur. Hal ini lama kelamaan mengakibatkan peningkatan aus dengan penurunan koefisien gesek dan menyebabkan kedua komponen pengereman mengalami penurunan kualitas pengereman. Pada penelitian ini akan menganalisis sifat mekanik meliputi kekerasan dan sifat tribologi meliputi kekasaran, massa aus, koefisien gesek dan suhu hasil pengujian pada cakram Ayla/Agya transmisi manual 1000cc dengan cakram pejal. Cakram yang digunakan adalah orisinal baru (OB), bekas sebelum di bubut (SB), dan bekas hasil bubut (B). Penelitian ini juga berupaya untuk mengembangkan kualitas pada cakram bekas hasil bubut dengan perlakuan permukaan pengamplasan dan pengerasan induksi.

Berdasarkan hasil keseluruhan pengujian sebelum perlakuan didapat hasil terbaik yaitu pada produk orisinal baru (OB) (dengan hasil kekasaran $0,534 \pm 0,04 \mu\text{m}$, total massa aus $0,0037$ gram, koefisien gesek $0,247 \pm 0,019$, suhu 34°C dan kekerasan $213,7 \pm 2$ BHN), lalu produk sebelum bubut (SB), dan yang paling rendah pada produk bubut (B). Kemudian dilakukan perlakuan pengamplasan terhadap produk bubut (B). Setelah perlakuan pengamplasan mendapatkan hasil pengujian kekasaran $0,742 \pm 0,112 \mu\text{m}$, total massa aus $0,0023$ gram, koefisien gesek $0,231 \pm 0,082$, dan suhu tertinggi pada $32,37^\circ\text{C}$. Berarti pada perlakuan pengamplasan sudah menjadi lebih positif. Selanjutnya dilakukan proses pengerasan permukaan induksi. Hasilnya secara keseluruhan sudah berhasil menyerupai dan melebihi produk orisinal dengan parameter terbaik yaitu pada spesimen (B4) dengan arus 1000 ampere, waktu 20 detik dan suhu 657°C . Mendapatkan hasil pengujian kekasaran $0,480 \pm 0,038 \mu\text{m}$, total massa aus $0,0037$ gram, koefisien gesek $0,387 \pm 0,061$, suhu tertinggi 37°C dan kekerasan $455,71 \pm 16,37$ BHN.

Kata kunci: Cakram, kekasaran, aus, koefisien gesek, suhu dan kekerasan.

ABSTRACT

Braking has two important components, namely a disc that rotates according to the speed of the car's wheels and brake pads which will inhibit the speed of the vehicle. The two components will rub against each other. Then it will cause friction coefficient, wear and increase in temperature. This over time results in an increase in wear with a decrease in the coefficient of friction and causes both braking components to experience a decrease in braking quality. This study will analyze the mechanical properties including hardness and tribological properties including roughness, wear mass, coefficient of friction and temperature test results on the 1000cc manual transmission Ayla/Agya disc with solid disc. The discs used are new original (OB), used before turning (SB), and former lathe (B). This research is also trying to improve the quality of the used disc lathe by sanding surface treatment and induction hardening.

Based on the overall results of the pre-treatment test, the best results were obtained, namely the new original product (OB) (with a roughness of 0.534 ± 0.04 μm , a total wear mass of 0.0037 grams, a coefficient of friction 0.247 ± 0.019 , a temperature of 34°C and a hardness of 213.7 ± 2 BHN), then the product before the lathe (SB), and the worst is the product of the lathe (B). Then the sanding treatment was carried out on the lathe product (B). After the sanding treatment, the results of the roughness test were 0.742 ± 0.112 μm , the total wear mass was 0.0023 grams, the coefficient of friction was 0.231 ± 0.082 , and the highest temperature was at 32.37°C . This means that the sanding treatment has gotten better. Next, the induction surface hardening process is carried out. The results as a whole have succeeded in resembling and exceeding the original product with the best parameters, namely the specimen (B4) with a current of 1000 amperes for 20 seconds at a temperature of 657°C . Obtained the results of a roughness test of 0.480 ± 0.038 μm , a total wear mass of 0.0037 grams, a friction coefficient of 0.387 ± 0.061 , the highest temperature of 37°C and a hardness of 455.71 ± 16.37 BHN.

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

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>	x
Daftar Isi	xi
Daftar Tabel.....	xiv
Daftar Gambar	xvi
Daftar Notasi.....	xix
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
Bab 2 Tinjauan Pustaka	6
2.1 Kajian Pustaka	6
2.2 Dasar Teori.....	9
2.2.1 Pengereman	9
2.2.2 Sifat Mekanik dan Kimia.....	13
2.2.3 Tribologi	17
2.2.4 Perlakuan Kekasaran Amplas.....	23
2.2.5 Perlakuan Pengerasan Permukaan Induksi.....	24
Bab 3 Metode Penelitian	27
3.1 Alur Penelitian	27

3.2	Peralatan dan Bahan.....	29
3.3	Kriteria Ideal Cakram	31
3.4	Pembuatan Spesimen Cakram (<i>Disk</i>)	32
3.5	Preparasi Sampel Pengujian.....	34
3.5.1	Preparasi Sampel Pengujian kekasaran	34
3.5.2	Preparasi Sampel Pengujian Koefisien Gesek, Aus & Suhu	34
3.5.3	Preparasi Sampel Pengujian Kekerasan	37
3.5.4	Preparasi Sampel Pengujian Spektrometer.....	38
3.5.5	Preparasi Sampel Pengujian Metalografi	38
3.6	Proses Pengujian	39
3.6.1	Pengujian Kekasaran	39
3.6.2	Pengujian Koefisien Gesek dan Aus	40
3.6.3	Pengujian Suhu	41
3.6.4	Pengujian Kekerasan	42
3.6.5	Pengujian Spektrometri	43
3.6.6	Pengujian Metalografi	44
3.7	Proses Perlakuan	45
3.7.1	Proses perlakuan amplas.....	45
3.7.2	Proses perlakuan pengerasan induksi	46
Bab 4	Hasil dan Pembahasan.....	49
4.1	Hasil Pengujian Sebelum Perlakuan	49
4.1.1	Pengujian Kekasaran	49
4.1.2	Pengujian Aus, Koefisien Gesek dan Suhu	51
4.1.3	Pengujian Kekerasan	59
4.2	Hasil Pengujian Setelah Perlakuan Amplas.....	61
4.2.1	Pengujian Kekasaran	61
4.2.2	Pengujian Aus, Koefisien Gesek, dan Suhu	63
4.2.3	Pengujian Spektrometri dan Metalografi.....	65
4.3	Hasil Pengujian Setelah Perlakuan Pengerasan Induksi.....	67
4.3.1	Pengujian Kekasaran	67
4.3.2	Pengujian Aus, Koefisien Gesek, dan Suhu	68
4.3.3	Pengujian Kekerasan	73

4.3.4	Pengujian Metalografi	75
4.4	Analisis dan Pembahasan.....	77
4.4.1	Sebelum Perlakuan	77
4.4.2	Setelah Perlakuan Amplas	79
4.4.3	Setelah Perlakuan Pengerasan Induksi	80
Bab 5	Penutup.....	83
5.1	Kesimpulan	83
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	83
Daftar Pustaka	85



DAFTAR TABEL

Tabel 3-1	Matriks Pengujian.....	28
Tabel 3-2	Matriks Eksperimental.....	29
Tabel 3-3	Peralatan	29
Tabel 3-4	Bahan	30
Tabel 3-5	Dimensi Spesimen	33
Tabel 3-6	Parameter Pengujian Kekasaran	39
Tabel 3-7	Parameter Pengujian Koefisien Gesek dan Aus	41
Tabel 4-1	Hasil Uji Kekasaran Permukaan Luar Cakram.....	49
Tabel 4-2	Hasil Uji Kekasaran Permukaan Dalam Cakram	50
Tabel 4-3	Parameter Pengujian Koefisien Gesek dan Aus	52
Tabel 4-4	Dimensi Velg Standar Agya	52
Tabel 4-5	Dimensi Kampas Rem Orisinal	55
Tabel 4-6	Hasil Uji Aus Cakram	56
Tabel 4-7	Hasil Uji Koefisien Gesek Cakram	58
Tabel 4-8	Hasil Uji Kekerasan <i>Brinell</i>	60
Tabel 4-9	Hasil Uji Kekasaran Permukaan Luar Cakram Orisinal Bekas Hasil Bubut Perlakuan Pengamplasan.....	62
Tabel 4-10	Hasil Uji Kekasaran Permukaan Dalam Cakram Orisinal Bekas Hasil Bubut Perlakuan Pengamplasan.....	62
Tabel 4-11	Hasil Uji Aus Cakram Orisinal Bekas Hasil Bubut Perlakuan Pengamplasan	63
Tabel 4-12	Hasil Uji Koefisien Gesek Cakram Orisinal Bekas Hasil Bubut Perlakuan Pengamplasan	63
Tabel 4-13	Hasil Uji Spektrometri Cakram Orisinal Bekas Hasil Bubut	65
Tabel 4-14	Parameter arus (Ampere) dan waktu (Detik) dengan hasil dalam Suhu (°C)	67
Tabel 4-15	Hasil Uji Kekasaran Cakram Orisinal Bekas Hasil Bubut dengan Perlakuan Pengerasan Induksi	67
Tabel 4-16	Hasil Uji Aus Cakram Orisinal Bekas Hasil Bubut dengan Perlakuan Pengerasan Induksi.....	69

Tabel 4-17	Hasil Uji Koefisien Gesek Cakram dengan Perlakuan Pengerasan Induksi.....	71
Tabel 4-18	Hasil Uji Kekerasan Cakram dengan Perlakuan Pengerasan Induksi	73



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1	Kontruksi Rem Piringan Cakram [12]	10
Gambar 2-2	Prinsip Kerja Piringan Cakram [12].	11
Gambar 2-3	Kampas Rem dan Piringan Cakram [13]	11
Gambar 2-4	Piringan Cakram saat Tekanan pada Piston dibebaskan [2]	12
Gambar 2-5	Bentuk Indentor Pengujian Kekerasan [17]	14
Gambar 2-6	Persamaan Kekerasan <i>Brinnell</i>	14
Gambar 2-7	Penamaan, Komposisi kimia, Sifat mekanis, dan aplikasi dari beberapa jenis besi tuang [17]	15
Gambar 2-8	Struktur Mikro Jenis Besi Tuang Kelabu [17]	16
Gambar 2-9	Komposisi Kimia Beberapa Material [17]	17
Gambar 2-10	<i>Adhesive Wear</i> [23]	18
Gambar 2-11	<i>Two Body Abrasion</i> [23]	19
Gambar 2-12	<i>Three Body Abrasion</i> [23]	19
Gambar 2-13	<i>Surface Fatigue Wear</i> [21]	20
Gambar 2-14	<i>Tribo Chemical Wear</i> [21]	20
Gambar 2-15	Definisi Perhitungan <i>Roughness Average</i> [28]	22
Gambar 2-16	Rumus <i>Roughness Average</i> [28]	22
Gambar 2-17	Rumus <i>Real Contact Area</i>	23
Gambar 2-18	Pekerjaan Akhir Proses Permesinan dan Kekasaran Permukaan <i>Ra</i> [29]	23
Gambar 2-19	Angka kekasaran Permukaan Menurut ISO atau DIN 4762 : 1981 [29]	24
Gambar 2-20	Prinsip Pengerasan Induksi [19]	25
Gambar 2-21	Koil Pengerasan Induksi [19]	25
Gambar 2-22	Persamaan besar dana pada benja kerja	25
Gambar 3-1	Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 3-2	Cakram Orisinal Baru-Spesimen OB	32
Gambar 3-3	Cakram Orisinal Bekas Sebelum Bubut-Spesimen SB	32
Gambar 3-4	Cakram Orisinal Bekas Hasil Bubut-Spesimen B	33
Gambar 3-5	Desain Spesimen Cakram Uji	33

Gambar 3-6	Proses Pemotongan <i>CNC Milling</i>	34
Gambar 3-7	Desain <i>Holder Pin</i>	35
Gambar 3-8	Proses <i>3D Print Holder Pin</i>	35
Gambar 3-9	Hasil <i>3D Print Holder Pin</i>	35
Gambar 3-10	Kampas Rem Orisinal Toyota Agya.....	36
Gambar 3-11	Desain Pemotongan Kampas Rem Orisinal Toyota Agya.....	36
Gambar 3-12	Kampas Rem Orisinal Toyota Agya setelah dipotong.....	37
Gambar 3-13	Kampas Rem dan <i>Holder Pin</i> yang Sudah Terpasang.....	37
Gambar 3-14	Preparasi sampel uji kekerasan	38
Gambar 3-15	Alat Pengujian Kekerasan Permukaan.....	39
Gambar 3-16	Alat Pengujian Koefisien Gesek dan Aus (<i>Pin On Disc Tribometer</i>).....	40
Gambar 3-17	<i>Fluke Thermal Imager</i>	41
Gambar 3-18	Hasil <i>Fluke Thermal Imager</i>	42
Gambar 3-19	<i>Universal Hardness Tester</i>	42
Gambar 3-20	Spektrometri Thermo ARL [17]	44
Gambar 3-21	Mikroskop Sony Olympus PME 3.....	44
Gambar 3-22	Mesin Perlakuan Amplas PLATO	45
Gambar 3-23	Proses Perlakuan Amplas.....	46
Gambar 3-24	Mesin Pemanasan Induksi.....	46
Gambar 3-25	Spesifikasi Mesin Pemanasan Induksi.....	47
Gambar 3-26	Koil Pemanasan induksi.....	47
Gambar 3-27	Peletakan spesimen pada koil induksi.....	47
Gambar 3-28	Tempat pendinginan	48
Gambar 4-1	Rata-rata Ra Permukaan Luar Cakram (Ra dan Rq).....	50
Gambar 4-2	Rata-rata Ra Permukaan Dalam Cakram (Ra dan Rq).....	51
Gambar 4-3	Persamaan Perhitungan Sigma X pada Ban [11]	53
Gambar 4-4	Data Hasil Jarak Pengereman 10m [11].....	54
Gambar 4-5	Dimensi Cakram Orisinal	54
Gambar 4-6	Penamaan sampel ukur	55
Gambar 4-7	Grafik Hasil Uji Rata-rata Aus Kampas	57
Gambar 4-8	Grafik Hasil Uji Koefisien Gesek Cakram	58

Gambar 4-9	Grafik Hasil Uji Suhu Cakram.....	59
Gambar 4-10	Spesimen Hasil untuk Pengujian Kekerasan.....	60
Gambar 4-11	Grafik Hasil Pengujian Kekerasan <i>Brinnell</i>	61
Gambar 4-12	Grafik Hasil Pengujian Suhu Pasca Perlakuan Pengamplasan ...	64
Gambar 4-13	<i>Raw Material</i> Spesimen Bubut Sebelum Perlakuan (Titik 1).....	66
Gambar 4-14	<i>Raw Material</i> Spesimen Bubut Sebelum Perlakuan (Titik 2).....	66
Gambar 4-15	<i>Raw Material</i> Spesimen Bubut Sebelum Perlakuan (Titik 3).....	66
Gambar 4-16	Rata-rata Rq Permukaan Dalam Cakram Orisinal Hasil Bubut Perlakuan Pengerasan Induksi	68
Gambar 4-17	Total massa Aus (gram) Cakram Orisinal Bekas Hasil Bubut dengan Perlakuan Pengerasan Induksi	70
Gambar 4-18	Rata-rata Massa Aus Cakram Orisinal Bekas Hasil Bubut dengan Perlakuan Pengerasan Induksi.....	70
Gambar 4-19	Grafik Hasil Uji Koefisien Gesek Cakram dengan Perlakuan Pengerasan Induksi	72
Gambar 4-20	Grafik Hasil Uji Suhu Cakram dengan Perlakuan Pengerasan Induksi	73
Gambar 4-21	Grafik Hasil Uji Kekerasan Cakram dengan Perlakuan Pengerasan Induksi	74
Gambar 4-22	Struktur Mikro B1' (keras) Setelah Induksi (Titik 1)	75
Gambar 4-23	Struktur Mikro B1' (keras) Setelah Induksi (Titik 2)	75
Gambar 4-24	Struktur Mikro B1' (keras) Setelah Induksi (Titik 3)	76
Gambar 4-25	Struktur Mikro B5' (lunak) Setelah Induksi (Titik 1).....	76
Gambar 4-26	Struktur Mikro B5' (lunak) Setelah Induksi (Titik 2).....	76
Gambar 4-27	Struktur Mikro B5' (lunak) Setelah Induksi (Titik 3).....	77

DAFTAR NOTASI

Kgf	= <i>Killogram Force</i> (Beban)
μm	= <i>Micrometer</i>
BHN	= <i>Brinell Hardness Number</i>
HVN	= <i>Hardness Vikers Number</i>
mm	= <i>Milimeter</i>
C	= <i>Carbon</i>
A	= <i>Ampere</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>
DIN	= <i>Deutsches Institut für Normung e.V.</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>
OB	= <i>Spesimen Orisinal Baru</i>
SB	= <i>Spesimen Orisinal Bekas Sebelum Bubut</i>
B	= <i>Spesimen Orisinal Bekas Hasil Bubut</i>
B1-B6	= <i>Spesimen Bekas Hasil Bubut Setelah perlakuan Pengamplasan</i>
B1'-B6'	= <i>Spesimen Bekas Hasil Bubut Setelah perlakuan Pengerasan</i>

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dan inovasi yang sangat pesat pada akhir-akhir ini mengakibatkan banyaknya penelitian yang dilakukan dalam berbagai bidang, tanpa terkecuali dalam bidang industri otomotif. Saat ini konsep pada otomotif semakin memanjakan pemakai dan terobosan pada teknologi terbaru harus memenuhi tuntutan konsumen. Kepuasan konsumen terkait otomotif tak hanya dari segi interior melainkan dari eksteriornya juga. Terkait dengan keamanan, kemudahan dan kenyamanan. Kendaraan bisa dikatakan sesuai apabila memenuhi kriteria tersebut.

Seiring dengan berkembangnya teknologi dan inovasi pada kendaraan bermotor, kebutuhan akan suku cadang kendaraan juga meningkat. Seperti contoh pada mobil Daihatsu Ayla/Toyota Agya manual 1000cc yang merupakan salah satu mobil dengan banyak peminat [1]. Kemudian salah satu komponen yang vital pada kendaraan bermotor adalah pengereman. Pengereman berfungsi untuk memperlambat kecepatan kendaraan. Sistem ini sangat penting dikarenakan memiliki fungsi yang berperan langsung pada keselamatan dan keamanan.

Pada kendaraan mobil pengereman terdiri dari 2 komponen inti yakni cakram rem (*disc brake*) dan kampas rem (*brake pad*). Kedua komponen tersebut memiliki tugas masing-masing. Cakram rem berputar seiringan dengan roda mobil, kemudian kampas rem nantinya akan menghambat kecepatan putaran cakram dengan cara menggesekan permukaan kampas ke permukaan cakram. Sehingga menimbulkan gaya gesek *sliding* yang dapat memperlambat kecepatan kendaraan. Pada proses tersebut menghasilkan suhu dan aus yang tinggi, dan hal itu umumnya tidak diinginkan [2].

Pada kejadian yang sering terjadi cakram akan mengalami penurunan performa jika sering digunakan dan sering menggunakannya dalam kondisi rem mendadak. Kejadian tersebut dapat mengakibatkan aus pada cakram tinggi yang dapat berakibat cakram akan rusak. Hal serupa juga terjadi pada kampas, yang

mengakibatkan kampas rem cepat habis dan sering diganti. Selain itu ada kemungkinan buruk yang dapat terjadi seperti rusaknya rem pada saat pengereman berlangsung atau dalam istilah umum “rem blong” dan terbakarnya rem. Hal-hal seperti ini sangat tidak diinginkan karena akan sangat membahayakan pengendara.

Pada umumnya ketika cakram sudah rusak pengguna akan menggantinya dengan cakram baru dan hal itu akan memakan banyak biaya. Hal ini dapat disebabkan apabila salah satu cakram tidak bisa digunakan maka harus mengganti keseluruhan cakram. Padahal hal itu dapat diantisipasi melalui penggunaan pengereman dengan baik dan benar sesuai dengan prosedurnya. Selain itu apabila cakram rusak pengguna bisa melakukan bubut ulang pada cakram mobilnya, sehingga dapat menghilangkan bekas pengereman yang merusak cakram dan mengembalikan cakram ke kondisi awal.

Pada pengereman yang akan dibahas pada penelitian ini terdapat dua sifat penting yang akan mempengaruhi kinerja rem, yakni sifat mekanik dan sifat tribologi. Sifat mekanik yakni kekerasan, kemudian pada sifat tribologi meliputi kekasaran permukaan, keausan, koefisien gesek. Kekerasan mempengaruhi terhadap ketahanan cakram dan aus pada kampas. Koefisien gesek mempengaruhi terhadap kualitas pengereman, koefisien gesek dan aus dipengaruhi oleh banyak hal. Semua proses tersebut yang terjadi umumnya pada pengereman.

Pada penelitian ini akan membandingkan sifat mekanik dan tribologi pada cakram orisinal baru, cakram orisinal bekas, cakram orisinal bekas hasil bubutan. Setelah mendapatkan hasil dari perbandingan cakram, lalu berupaya untuk mengembangkan kualitas pada cakram bekas agar dapat bersaing dengan cakram orisinal baru. Dari segi kualitas pengereman, ketahanan cakram dan biaya yang dikeluarkan. Dengan menggunakan perlakuan amplas pada cakram bekas hasil bubut dan perlakuan pengerasan permukaan pada cakram bekas hasil bubut. Dengan harapan penelitian ini, kualitas pada cakram bekas hasil bubut dapat mendekati kualitas cakram orisinal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan inti permasalahan yang terdapat pada latar belakang diatas, maka dapat diambil suatu rumusan masalah berupa:

1. Bagaimana analisis sifat mekanik dan tribologi pada cakram mobil orisinal baru, orisinal bekas, dan orisinal bekas hasil bubut?
2. Bagaimana pengaruh perlakuan pengamplasan untuk sifat tribologi pada cakram mobil orisinal hasil bubut?
3. Bagaimana parameter perlakuan pengerasan permukaan induksi terbaik terhadap sifat mekanik dan tribologi pada cakram mobil orisinal hasil bubut?

1.3 Batasan Masalah

Dalam suatu penelitian tidak mungkin untuk dapat menyelesaikan seluruh masalah yang telah dirumuskan sebelumnya. Sehingga pembatasan masalah ini ditujukan agar ruang lingkup pembahasan dalam penelitian menjadi jelas dan tidak meluas untuk membahas hal-hal yang tidak diinginkan. Terdapat beberapa batasan masalah dari penelitian ini, diantaranya adalah

1. Analisis sifat mekanik dan tribologi pada cakram mobil orisinal Toyota Agya transmisi manual 1000cc dan bekas (Pemakaian) hasil bubut Daihatsu Ayla transmisi manual 1000cc.
2. Analisis sifat mekanik hanya pada sifat kekerasan berdasarkan pengujian brinell.
3. Analisis sifat tribologi hanya pada kekasaran, keausan, dan koefisien gesek berdasarkan pengujian *surface roughness tester* dan *pin on disc tribometer*.
4. Pembuatan spesimen menyesuaikan dimensi pada cakram dan alat *pin on disc tribometer*.
5. Perlakuan pengamplasan hanya dilakukan untuk meningkatkan performa cakram bekas hasil bubut.
6. Perlakuan pengerasan permukaan induksi hanya dilakukan pada cakram bekas hasil bubut. Dengan pengujian sebelum perlakuan meliputi Uji *spectrometer*, metalografi dan kekerasan.
7. Penelitian ini hanya sampai pengujian sifat mekanik dan tribologi dan analisis hanya pada hasil pengujian. Perlakuan permukaan yang dilakukan pengamplasan dan pengerasan permukaan induksi lalu uji sifat mekanik dan tribologi kembali.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis sifat mekanik dan tribologi pada perbandingan cakram mobil orisinal baru, orisinal bekas, dan orisinal bekas hasil bubutan.
2. Mengetahui pengaruh perlakuan pengamplasan untuk meningkatkan performa produk cakram orisinal bekas hasil bubut, dengan pembandingan orisinal baru.
3. Menentukan parameter perlakuan pengerasan induksi terbaik untuk meningkatkan performa produk cakram orisinal hasil bubut.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui sifat mekanik dan tribologi pada cakram orisinal baru, bekas dan bekas hasil bubut sebelum perlakuan.
2. Mengetahui sifat mekanik dan tribologi pada cakram orisinal bekas hasil bubut sesudah 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 dijelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian atau perancangan, manfaat penelitian atau perancangan, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini berisikan tinjauan pustaka mengenai dasar teori yang melandasi pembuatan skripsi.

BAB III Metode Penelitian

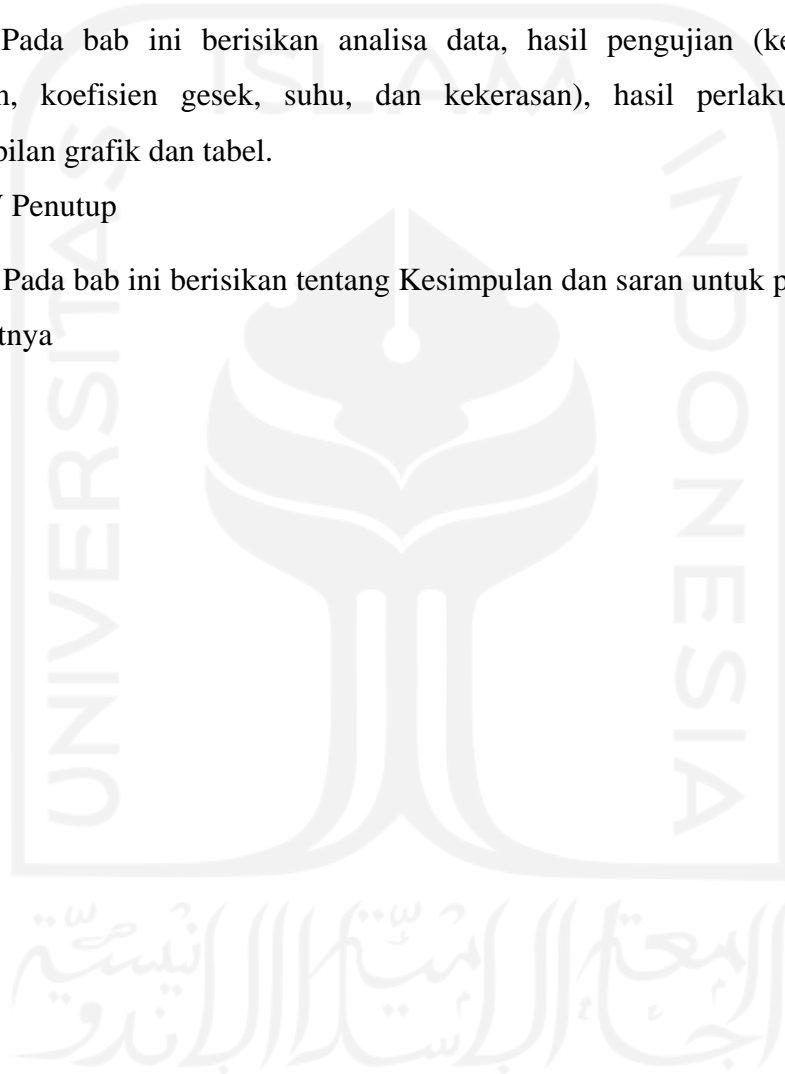
Pada bab ini berisikan diagram alir penelitian, alat dan bahan, prosedur penelitian, pengujian spesimen dan perlakuan spesimen.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini berisikan analisa data, hasil pengujian (kekasaran, keausan, koefisien gesek, suhu, dan kekerasan), hasil perlakuan, dan penampilan grafik dan tabel.

BAB V Penutup

Pada bab ini berisikan tentang Kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Pada penelitian yang berjudul “*Analysis of the Hardness of A Selected Group of Cast Iron Brake Rotors*” oleh Grzegorz KINAL, Michał LIBERA [3]. Meneliti masalah terkait dengan cakram rem besi cor dalam konteks kekerasan, yang merupakan salah satu sifat mekanik dasar komponen ini. Sifat ini dasarnya menentukan ketahanan terhadap keausan yang terjadi pada kontak permukaan kerja cakram dengan kampas rem. Pada penelitian tersebut tidak disebutkan untuk spesimen yang digunakan menggunakan cakram mobil apa. Kemudian untuk hasil dari pengujian tersebut memperoleh bahwa nilai kekasarannya adalah $0,3 \mu\text{m}$. Nilai kekerasan pada penelitian tersebut memperoleh hasil 321 BHN, dengan pengujian kekerasan brinell dan pembebanan 187,5 Kgf, namun pada penelitian tersebut belum meneliti terkait pengaruh kekerasan dan kekasaran terhadap koefisien gesek dan aus.

Pada penelitian yang berjudul “*Analisis Komparasi Kualitas Produk Kampas Rem Antara Orisinal dengan After Market*” oleh Nafsan Upara, Taufik Bayu Laksono [4]. Membahas analisis perbandingan kualitas produk pada kampas rem antara orisinal dan aftermarket pada sepeda motor *matic*. Menganalisis kekerasan, kekasaran, koefisien gesek, aus, struktur mikro dan komposisi kimia, dengan hasil koefisien gesek 0,14 untuk orisinal dan 0,11 untuk *aftermarket*. Sedangkan aus pada kondisi normal yakni $1.35 \times 10^{-7} \text{ g/mm}^2 \text{ detik}$ dan $1.22 \times 10^{-6} \text{ g/mm}^2 \text{ detik}$. Uji kekerasan dengan rata-rata 65,567 VHN untuk orisinal dan 13,983 VHN untuk *aftermarket*. Hasil uji komposisi kimia dan struktur mikro menunjukkan bahwa material kampas rem orisinal menggunakan serat penguat berbahan karbon (C), tembaga (Cu), Besi (Fe) dan Alumunium (Al). Sedangkan bahan serat penguat yang terdapat pada kampas rem *aftermarket* adalah asbes, karbon (C), alumunium (Al) dan besi (Fe). Menunjukkan kesimpulan untuk keseluruhannya adalah kampas yang baik adalah kampas orisinal.

Pada penelitian yang berjudul “Pengaruh Perlakuan Panas pada Besi Cor Kelabu Terhadap Sifat Mekanis dan Konduktivitas *Thermal*” oleh Yudho Siswanto [5]. Membahas keunggulan dan kekurangan pada besi cor dengan upaya untuk meningkatkan kualitas pada besi cor, dengan penambahan unsur Mn. Pada penelitian tersebut peneliti menganalisis uji Tarik, uji kekerasan, uji konduktivitas thermal, struktur mikro dan komposisi kimia. Keseluruhan data hasil pengujian didapat bahwa penambahan unsur Mn terbaik ada pada 2% dengan nilai kekerasan tertinggi yakni 310 Kg/mm², nilai modulus elastisitas 3.877 Gpa, nilai konduktivitas thermal 26.1529 W/m°C, nilai kekuatan Tarik 163.65 Mpa, dan struktur mikro berupa *ferrite* dan *pearlite* dengan bentuk grafit yang sedikit lebih besar.

Pada penelitian yang berjudul “Pemanfaatan Mesin Pemanas Induksi Untuk Pengerasan Permukaan Roda Gigi Produk UKM” oleh Rifky Ismail, M. Tauviqirrahman, dll [6]. Membahas analisis perbandingan kualitas produk UKM pada roda gigi transmisi sepeda motor antara orisinal dan produk OEM lokal pada sepeda motor bebek. 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. Meningkatkan kekerasannya 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. 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.

Pada penelitian yang berjudul “Pengamatan Struktur Mikro dan Kekerasan Pada Roda Gigi Pasca Pengerasan Permukaan Menggunakan Pemanas Induksi”

oleh Rifky Ismail, Nizar Rahman, dll [7]. Membahas analisis hasil perlakuan pengerasan induksi terhadap roda gigi sepeda motor dengan material baja AISI 4140 dan baja ST60. Menganalisis dari komposisi, struktur mikro dan kekerasan. Komposisi menunjukkan bahwa keduanya merupakan baja karbon rendah, melalui parameter *quenching* arus *output* 738,3 A, waktu pemanasan 9 detik, dan media pendingin minyak. Kemudian parameter *tempering* arus *output* 150 A, waktu pemanasan 40/20 detik, dan media pendingin udara, dengan hasil pada roda gigi AISI 4140 dan ST 60 meningkatnya kekerasan dengan variasi yang berbeda dan pada kurva kekerasan ST 60 naik hingga 3 kali lipat sedangkan pada AISI 4140 naik hingga 2 kali lipat.

Pada penelitian “Pengaruh Variasi Putaran Mesin dan Waktu Pengereman Terhadap Temperatur dan Koefisien Gesek pada *Brake Pads* dan *Brake Shoe* dengan Alat Uji Berbasis *Remote Monitoring System*” oleh Muhammad Fachry, Gunawan Dwi [8]. Membahas penyebab terjadinya *brake fade* dan akibatnya. Menganalisis pengaruh temperatur saat pengereman terhadap koefisien gesek, pengurangan ketebalan, dan waktu pengereman. Metode yang digunakan yakni pengereman dengan variasi RPM dan Pengereman setiap 500 RPM dengan penahanan waktu 1 & 2 menit, didapat hasil yakni nilai koefisien gesek tertinggi ada pada spesimen *brake pada* 3 dengan nilai 0.109057 dan temperatur tertinggi ada pada spesimen *brake pad* 4 132.0°C. Kemudian pada spesimen *brake shoe* didapat hasil koefisien gesek tertinggi pada *brake shoe* 2 dengan nilai 0.108175 dan temperatur tertinggi pada *brake shoe* 2 dengan nilai 218.4°C.

Pada penelitian yang berjudul “Analisis Perpindahan Panas Kampas Rem pada Sepeda Motor” oleh Sukamto dan AJ. Bardi [9]. Membahas analisis perpindahan panas pada kampas rem sepeda motor dengan 2 variabel produk, yakni orisinal merk AHM dan merk Indoparts. Menganalisis laju perambatan panas berbanding konduktivitas termal, dengan mengukur temperatur menggunakan *thermocouple*. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini berjumlah tiga pada kedua variable agar hasilnya maksimal. Disimpulkan bahwa kampas rem merk AHM mempunyai harga perambatan panas dibandingkan konduktivitas termal (q/k) lebih rendah dibandingkan merk Indopart. Sehingga hasilnya lebih bagus pada produk merk AHM.

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 Pengereman

2.2.1.1 Pengertian Pengereman

Suatu kendaran dapat dikatakan baik apabila memberikan rasa aman dan nyaman bagi pengendara. Semua jenis kendaraan baik roda dua maupun roda empat dilengkapi dengan berbagai sistem, salah satu dari sistem tersebut adalah pengereman.

Rem berfungsi untuk mengurangi kecepatan dan menghentikan kendaraan. Pengereman termasuk kedalam perangkat keselamatan dan menjamin keamanan bagi pengendara. Syarat rem yang sesuai umumnya, dapat bekerja dengan baik, cepat dan sesuai. Sesuai memiliki arti apabila distribusi beban pada semua roda sama, maka daya pengereman harus sama atau sebanding dengan beban yang diterima oleh masing-masing roda. Syarat lainnya yakni memiliki daya tahan tinggi, mudah digunakan dan mudah diperbaiki [3].

Kendaraan tidak dapat berhenti apabila hanya mengurangi kecepatan mesin. Kendaraan cenderung masih bergerak sehingga kendaraan sulit diberhentikan, untuk bisa berhenti total dibutuhkan rem. Rem bekerja disebabkan adanya gaya gesek antara kampas rem dengan sistem gerak putaran piringan cakram. Mesin merubah energi kinetis (energi gerak) untuk menggerakkan kendaraan. Sebaliknya rem merubah energi kinetis menjadi energi panas untuk menghentikan kendaraan [2]. Umumnya rem bekerja disebabkan oleh adanya sistem gabungan penekanan melawan sistem gerak putar. Efek pengereman (braking effect) diperoleh dari adanya gesekan yang ditimbulkan antara dua objek.

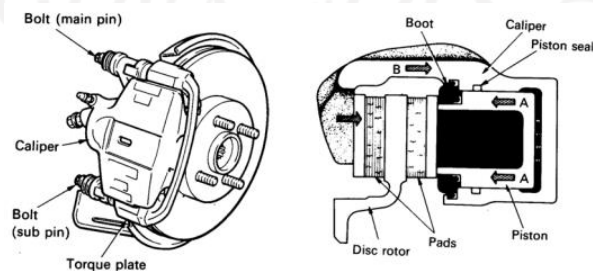
Penggunaan rem selanjutnya berulang-ulang sesuai dengan kebutuhan, maka akan timbul kenaikan suhu dari suhu awal. Hal ini disebabkan adanya gesekan antara kampas rem dan cakram. Selama proses pengereman berlangsung, temperatur kampas dan cakram akan naik secara perlahan. Sehingga akan menyebabkan cakram memuai. Cakram yang panas akan mengurangi daya

pengereman. Rem cakram mempunyai batas pembuatan pada bentuk dan ukurannya karena berkaitan dengan aksi *self energizing limited*. Perlu adanya tambahan tekanan hidrolik yang lebih besar untuk mendapatkan daya pengereman yang efisien menurut Arifin A. [10]. Komponen tersebut dinamakan *booster* rem. *Booster rem* mampu melipat gandakan daya penekanan pedal. Waktu penekanan pedal lemah mampu diteruskan menjadi daya pengereman yang besar.

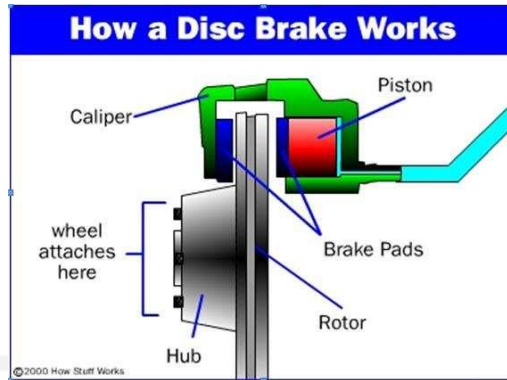
Pada umumnya kendaraan menggunakan rem dengan daya pengereman yang berbeda antara rem belakang dan rem depan. Pada daya pengereman untuk roda depan harus lebih besar dari gaya pengereman roda belakang. Kemudian untuk memperkuat daya pengereman roda depan silinder roda dibuat lebih besar. Besarnya gaya pengereman dapat diatur sesuai dengan perbandingan antara diameter master silinder dan silinder roda. Rem hidrolik lebih merespon lebih cepat dibanding tipe lainnya, dan konstruksinya lebih sederhana. Dengan kelebihan tersebut rem hidrolik lebih banyak digunakan pada kendaraan berpenumpang dan mini *truck (Pick Up)* [11].

2.2.1.2 Piringan Cakram (Disk Brake) Mobil

Prinsip kerja rem piringan cakram adalah berasal dari tekanan hidrolik yang bersumber pada master silinder, kemudian mendorong piston dan selanjutnya menekan pada rotor piringan cakram. Pada saat yang sama tekanan hidrolik menekan sisi kampas rem sehingga menjepit permukaan piringan cakram dan terjadilah proses pengereman menurut G. Murthy N. [12]. Komponen yang terdapat pada rem piringan cakram diantaranya adalah Kampas rem, piston, kaliper, dan piringan cakram. Seperti pada gambar 2-1 kiri dan 2-2.



Gambar 2-1 Kontruksi Rem Piringan Cakram [12]



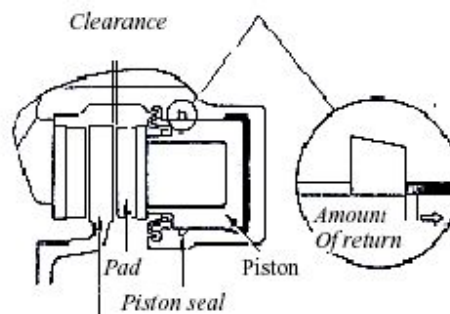
Gambar 2-2 Prinsip Kerja Piringan Cakram [12].

Piringan cakram digunakan sebagai pengganti rem tromol. Konsep intinya terdiri dari cakram yang berputar dengan rotor dan kampas rem yang didorong kemudian menjepit permukaan piringan cakram. Daya pada pengereman dihasilkan oleh adanya gaya gesek antara kedua permukaan piringan cakram dengan kampas rem, seperti pada gambar 2-3.



Gambar 2-3 Kampas Rem dan Piringan Cakram [13]

Pada gambar 2-1 (kanan) menunjukkan cara kerja *Disc Brake* saat piston ditekan yang mengakibatkan piston menekan kampas rem, sehingga terjadi perubahan energi panas menjadi energi kinetik. Pada gambar 2-4 menunjukkan cara kerja *Disc Brake* saat piston diberi tekanan yang dibebaskan yang mengakibatkan perubahan energi kinetik menjadi energi panas.



Gambar 2-4 Piringan Cakram saat Tekanan pada Piston dibebaskan [2]

Piringan cakram memiliki beberapa kelebihan antara lain:

1. Tidak terdapat *self energizing effect* dan menyebabkan tidak diperlukan penambahan tenaga rem. Oleh sebab itu perbedaan efek pengereman antara roda kiri dan kanan dapat di minimalisir. Kemungkinan kecil terjadi roda menarik ke kiri atau ke kanan pada saat dilakukan pengereman, Konstruksi yang sederhana pada pemasangan kampas rem dengan piringan cakram sehingga komponen ini mudah diganti.
2. Bila terkena air tidak akan mempengaruhi proses pengereman. Dikarenakan air yang mengenai piringan cakram akan terbuang oleh gaya sentrifugal yang terjadi pada proses pengereman.
3. Tidak menimbulkan suara mengganggu. Disebabkan perangkat pengereman terdapat pada bagian yang terbuka dan hampir seluruh bagiannya berhubungan langsung dengan udara. Sehingga dapat membuat panas dengan baik. Juga jarang sekali terjadi gejala *fidling*. Oleh karena itu pengereman yang dihasilkan akan stabil meskipun melakukan pengereman berulang kali dengan kecepatan yang tinggi.
4. Berbeda dengan rem tromol yang akan mengalami regangan. Pada pengereman ini ekspansi panasnya tidak dapat menyebabkan regangan.

2.2.1.3 Gangguan dan Gejalanya pada Piringan Cakram

Pada sistem rem cakram meskipun memiliki keuntungan- keuntungan yang cukup banyak jika dibandingkan dengan rem tromol, namun rem cakram masih sering mengalami gangguan yang bersifat sementara seperti berikut:

1. Rem macet pada saat pengereman.
2. Stabilitas pengereman rendah. Hal ini umumnya disebabkan oleh piringan cakram yang digunakan cukup lama sehingga permukaan piringan tidak rata.
3. Rem berbunyi pada saat melakukan pengereman ataupun saat kendaraan berjalan tanpa melakukan proses pengereman. Hal ini umumnya dikarenakan terdapat kotoran yang bergesek antara kampas dan cakram.

Gejala yang sering timbul adalah sebagai berikut:

1. Gejala yang timbul akibat kemacetan pada rem cakram adalah pengereman menjadi kurang maksimal dan bahkan sampai tidak beroperasi. Selain hal tersebut apabila kemacetan hanya pada salah satu bagian roda (kanan/kiri) akan menyebabkan kemudi akan berbelok. Hal ini biasanya disebabkan oleh piston di dalam silinder tidak dapat meluncur ketika pedal rem ditekan yang berasal dari komponen yang mengalami korosi.
2. Gejala lain yakni akibat dari aus pada piringan cakram akan mengakibatkan kemudi bergetar jika berkendara dalam kecepatan tinggi. Selain disebabkan oleh aus terdapat kemungkinan jika kampas rem sudah mengeras dan performanya yang sudah turun.
3. Suara gesekan pada saat pengereman, menandakan ada komponen yang bergesek sehingga akan menimbulkan panas pada piringan cakram. Hal ini bisa terjadi jika kampas sudah habis oleh aus dan terdapat kotoran di kedua komponen.

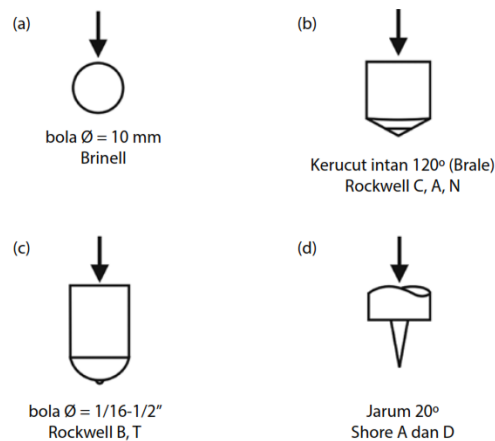
2.2.2 Sifat Mekanik dan Kimia

Sifat mekanik pada material mencerminkan hubungan antara beban atau gaya yang diberikan terhadap respons atau deformasinya, menurut N. F. MOTT [14]. Beban sendiri memiliki tiga bentuk antara lain, statik yakni beban yang berubah secara lambat terhadap waktu dan diberikan secara seragam ke seluruh penampang. Kemudian beban Impak merupakan beban mendadak dan beban dinamik yakni beban yang berfluktuasi pada suatu periode waktu, menurut P. J. Burnett [15]. Namun pada penelitian ini hanya membahas kekerasan.

2.2.2.1 Kekerasan

Jika menurut R. Hill [16] Kekerasan merupakan ukuran pada ketahanan suatu material terhadap deformasi plastis terlokasi. Pengujian kekerasan yang terdahulu adalah uji kekerasan mohs, berdasarkan skala kemampuan suatu material untuk menggores material lain (dari 1 = *talk* sampai dengan 10 = intan). Namun kini terdapat berbagai metode pengujian kekerasan yang sudah memadai, seperti

brinell, vikers, dan Rockwell. Pada metode pengujian kekerasan tersebut, umumnya, digunakan *indenter* kecil (berbentuk bola atau piramid) yang ditekan ke permukaan benda uji dengan mengontrol besar beban dan laju pembebanan. Indentasi (besar jejak) kemudian diukur dengan mikroskop ukur. Jenis indenter pada setiap metode pengujian kekerasan dapat dilihat pada Gambar 2-5. Pengujian kekerasan merupakan teknik untuk mengetahui sifat mekanik dari suatu material yang paling sering dilakukan. Berbagai alasannya, seperti sederhana dan relatif murah, tidak memerlukan persiapan spesimen yang khusus (membersihkan permukaan benda uji) dan alatnya relative murah. Serta sifat mekanik lain seperti kekuatan Tarik dapat diperkirakan dari nilai kekerasan.



Gambar 2-5 Bentuk Indenter Pengujian Kekerasan [17]

Pada penelitian ini, peneliti menggunakan pengujian kekerasan *brinell*. Pengujian ini merupakan pengujian dengan memberikan beban konstan. Umumnya antara 187.5 sampai 3.000 kgf. Menggunakan indenter baja berdiameter 5 atau 10 mm. Indenter ini memiliki nilai kekerasan yang tinggi. Kemudian pada permukaan spesimen yang rata dan bersih dilakukan pengujian. Lalu hasil bekas pijakan indenter diukur menggunakan mikroskop dan dikonversi dalam persamaan:

$$\text{BHN} = \frac{2P}{\pi D \left(D - \left(D^2 - d^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right)}$$

Gambar 2-6 Persamaan Kekerasan *Brinnell*

Dimana P = beban (kgf), D = diameter bola indentor (mm), dan d = diameter jejak (mm). Diameter indentasi diukur dengan mikroskop berskala 0,05 mm (0,002 inci). Mikroskop harus memiliki skala dan penerangan yang cukup dan material uji harus bersih (tidak berkarat dan tidak ada pengotor pada permukaan benda uji) agar mudah dalam pembacaan, menurut Bondan T. S. [17].

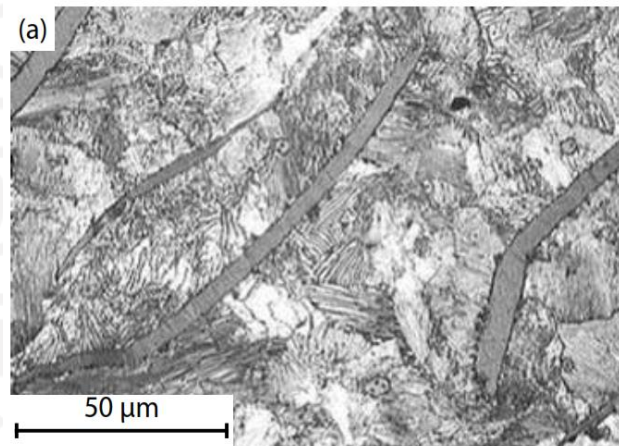
2.2.2.2 Metalografi

Besi tuang adalah paduan dari dua unsur utama yakni besi (Fe) dan carbon (C) dengan kandungan karbon yang tinggi >2 wt.%. Secara umum, kandungan karbon tersebut berkisar antara 3-4.5 wt.%. Karena memiliki kandungan kadar karbon yang tinggi, besi tuang memiliki grafit bebas di dalam struktur mikronya [18]. Pembentukan grafit ini dibantu oleh unsur silikon yang ada pada saat proses pembentukan besi tuang. Besi tuang memiliki titik lebur yang lebih rendah jika dibandingkan dengan baja disebabkan memiliki kandungan karbon yang tinggi. Sifat mekanis dan struktur mikro pada besi tuang bergantung terhadap bentuk grafit dan proses perlakuan panasnya. Berdasarkan hal tersebut besi cor dapat diklasifikasikan menjadi empat jenis. Dapat dilihat pada gambar 2-7.

Kelas	UNS	Komposisi (%berat)*	Struktur Matriks	Sifat Mekanik			Jenis Aplikasi
				Kekuatan Tarik [MPa (ksi)]	Kekuatan Luluh [MPa (ksi)]	Keuletan [%EL dalam 50 mm (2 in)]	
Besi Tuang Kelabu							
SAE G1800	F10004	3,40–3,7 C; 2,55 Si; 0,7 Mn	Ferit + Perlit	124 (18)	-	-	Bermacam-macam besi tuang lunak yang kekuatannya tidak dianggap utama
SAE G2500	F10005	3,2–3,5 C; 2,20 Si; 0,8 Mn	Ferit + Perlit	173 (25)	-	-	Blok silinder, kepala silinder, piston, pelat kopling, kotak transmisi
SAE G4000	F10008	3,0–3,3 C; 2,0 Si; 0,8 Mn	Perlit	276 (40)			Pengcoran mesin diesel, liner, silinder dan piston
Besi Tuang Nodular/Ulet							
ASTM A536							
60-40-18	F32800	3,5–3,8 C; 2,0–2,8 Si; 0,05 Mg;	Ferit	414 (60)	276 (40)	18	Komponen bertekanan (katup, badan pompa)
100-70-03	F34800	< 0,20 Ni; < 0,10 Mo	Perlit	689 (100)	483 (70)	3	Roda gigi berkekuatan tinggi dan komponen mesin
120-90-02	F36200		Ferit + Perlit	827 (120)	621 (90)	2	Pinion, roda gigi, canai, slide
Besi Tuang Mampu Tempa							
32510	F22200	2,3–2,7 C; 1,0–1,75 Si; < 0,55 Mn	Ferit	345 (50)	224 (32)	10	Pemakaian teknik umum pada temperatur rendah dan tinggi
45006	-	2,4–2,7 C; 1,25–1,55 Si; < 0,55 Mn	Ferit + Perlit	448 (65)	310 (45)	6	

Gambar 2-7 Penamaan, Komposisi kimia, Sifat mekanis, dan aplikasi dari beberapa jenis besi tuang [17]

Pada penelitian ini akan lebih membahas besi tuang kelabu, yang umumnya mengandung sebesar 1-3 wt.%. Struktur mikro terdiri atas grafit berbentuk serpih (*flake*) di kelilingi oleh ferit atau perlit, dapat dilihat pada gambar 2-8. Grafit yang berbentuk serpih menyebabkan besi tuang kelabu sangat rapuh dan berwarna kelabu jika patah, hal ini disebabkan ujung grafit yang tajam akan mengkonsentrasi tegangan sehingga mudah retak akibat pembebanan [19]. Namun meskipun demikian tipe serpih ini mampu meredam getaran dan menyumbangkan ketahanan aus, hal ini sangat cocok untuk piringan cakram. Selain itu material ini termasuk dalam material yang ekonomis sehingga banyak diaplikasikan dari perabotan rumah (pagar, trails, tangga, dll) dan komponen mesin kendaraan bermotor.



Gambar 2-8 Struktur Mikro Jenis Besi Tuang Kelabu [17]

2.2.2.3 Komposisi Unsur Kimia

Mengetahui sifat dari material kimia merupakan hal yang penting, dalam penelitian ini akan berguna untuk menentukan parameter pada perlakuan panas. Karena sebagian besar material bersentuhan dengan material lain dan dapat bereaksi kimia. Karena reaksi kimia ini, material dapat mengalami penurunan sifat atau kerusakan. Salah satu sifat kimia yang penting yakni komposisi kimia. Komposisi kimia merupakan material yang mengindikasikan unsur yang berkombinasi untuk membentuk material tersebut [17]. Terkait kekuatan, kekerasan, kerapuhan, keuletan, ketahanan korosi, kemampulasan dan lainnya akan bergantung pada komposisi kandungan kimia material. Oleh karena itu, hal ini

merupakan hal yang penting. Terdapat contoh kandungan komposisi kimia pada gambar 2-9.

Material	Komposisi Kimia
Baja tahan karat	Fe, Cr: 10–27%, Ni: 6–22%
Kuningan	Cu: 60–90%, Zn: 10–40%
Perunggu	Cu: 60–90%, Sn: 10–40%
Inconel	Ni: 40–80%, Cr: 14–30%, Fe: 1–11%
Duralumin	Al: 96%, Cu: 4%
Nitinol	Ni: 50%, Ti: 50%
Kupronikel	Cu: 70–90%, Ni: 10–30%

Gambar 2-9 Komposisi Kimia Beberapa Material [17]

Untuk mengetahui komposisi kimia terdapat beberapa cara dan metode untuk mengetahuinya contohnya seperti uji spektrometri serapan atom (AAS), Spektrofotometri FTIR, dan Spektrofotometri UV-Vis.

2.2.3 Tribologi

Menurut Jost [20] istilah tribologi diperkenalkan pada tahun 1966. Dia mendefinisikan tribologi sebagai ilmu dan teknologi permukaan yang berinteraksi dalam gerakan relatif dan praktik yang terkait denganya. Tribologi mencakup beberapa aspek seperti gesekan, keausan dan pelumasan. Kemudian jika menurut G. A. Stachowiak [21] tribologi muncul dari Komite Organisasi untuk Kerjasama Ekonomi dan Pengembangan di tahun 1967. Secara istilah, arti dari kata *tribology* adalah suatu ilmu dan teknologi yang interdisipliner tentang interaksi permukaan dalam pergerakan relatifnya atau dapat dikatakan secara singkat *tribology* merupakan suatu ilmu yang mempelajari tentang kekasaran, gesekan, pelumasan, dan aus [22]. Ilmu atau fenomena *tribology* sering dijumpai pada kehidupan sehari-hari yang berhubungan dengan gesekan diantaranya adalah ketika menggosok gigi, berjalan, gesekan antara sendi, kaki meja yang bergesekan dengan lantai ketika meja bergeser, dan lain- lain [23]. Terdapat beberapa cakupan pembahasan dalam ilmu tribologi yang saling berkaitan dan akan dibahas pada penelitian ini diantaranya adalah aus, koefisien gesek, kekasaran, dan kekerasan.

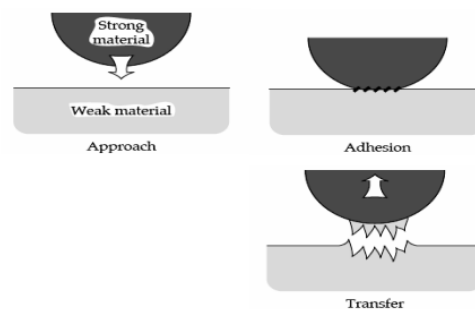
2.2.3.1 Aus

Fenomena tribologi aus merupakan suatu hal yang pasti terjadi ketika terdapat dua permukaan yang saling bergesekan (meskipun sangat sedikit). Didapat

dari KBBI aus memiliki arti susut karena tergosok, sehingga dapat disimpulkan bahwa aus adalah suatu fenomena ketika terdapat material yang terkikis akibat adanya suatu gesekan yang mengakibatkan berkurangnya massa, sifat material, dan perubahan permukaan pada benda yang bergesekan tersebut. Fenomena aus pada permukaan dapat diminimalisir, terdapat beberapa cara dalam meminimalisir aus pada suatu permukaan diantaranya adalah dengan *surface coating*, pemberian pelumasan, dan lain-lain. Didalam ilmu tribologi aus atau *wear* memiliki jenis yang berbeda-beda diantaranya adalah *adhesive wear*, *abrasive wear*, *surface fatigue wear* dan *tribo chemical wear* P. Carlsson [22].

1. *Adhesive Wear*.

Keausan *adhesive* merupakan keausan yang disebabkan oleh adanya ikatan atau gaya tarik menarik antara dua permukaan benda dan berpindahannya partikel dari permukaan material benda yang lemah ke material yang lebih keras. Kemudian menghasilkan temperatur yang rendah. *Adhesive wear* juga memiliki istilah lain diantaranya adalah *galling*, *scuffing*, *seizure* atau *seizing* [24]. Berikut merupakan ilustrasi dari *adhesive wear* yang dapat dilihat pada Gambar 2- 10.

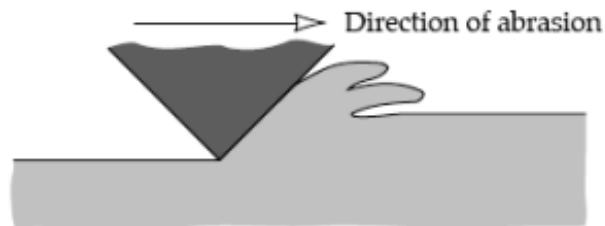


Gambar 2-10 *Adhesive Wear* [23]

2. *Abrasive Wear*

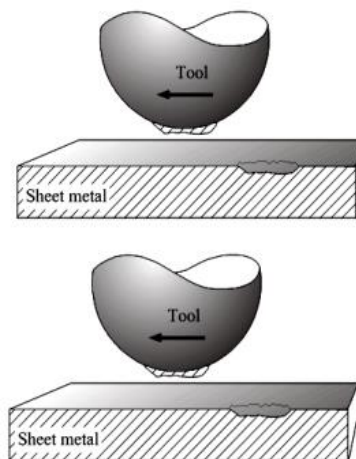
Pada umumnya keausan abrasif disebabkan oleh hilangnya material dari permukaan benda yang lunak oleh material benda lain yang lebih keras. Keausan abrasif memiliki 2 kategori yakni *two body abrasion* dan *three body abrasion*. Keausan pada *two body abrasion* disebabkan oleh proses *rubbing* atau penggarukan sehingga material yang lunak akan terkikis

dengan material yang lebih keras. Berikut merupakan ilustrasi dari *two body abrasion* yang dapat dilihat pada Gambar 2- 11.



Gambar 2-11 *Two Body Abrasion* [23]

Sedangkan pada *three body abrasion*, aus ini disebabkan oleh proses *galling* sehingga dari proses tersebut terbentuknya debris yang mengeras dan ikut serta dalam hilangnya material karena gesekan yang secara terus-menerus. Berikut merupakan ilustrasi dari *three body abrasion* yang dapat dilihat pada Gambar 2-12.

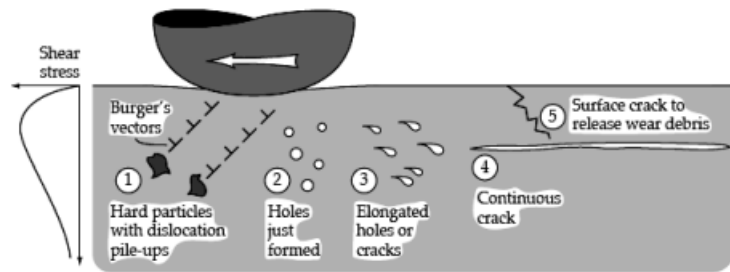


Gambar 2-12 *Three Body Abrasion* [23]

3. *Surface Fatigue Wear*

Pada keausan jenis kelelahan material terjadi karena proses gesekan yang secara periodik dan berlangsung dalam jangka waktu yang cukup lama, pada hakikatnya bisa terjadi seperti dua jenis aus sebelumnya. Mekanisme ini akan mengakibatkan tegangan gesek. Pada keausan jenis ini, bagian

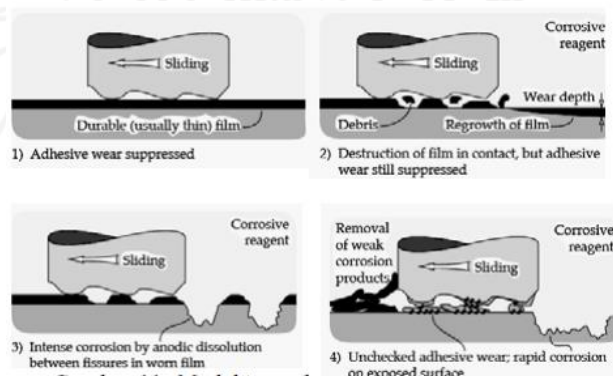
dalam material akan membentuk *cavity* atau rongga sehingga apabila gesekan terus terjadi rongga tersebut akan menyebar dan akan menjadi sebuah retakan. Berikut merupakan ilustrasi dari *surface fatigue wear* yang dapat dilihat pada Gambar 2- 13.



Gambar 2-13 *Surface Fatigue Wear* [21]

4. *Tribo Chemical Wear*

Proses mekanis dan proses *thermal* yang terjadi pada permukaan suatu benda dengan lingkungan sekitarnya menyebabkan keausan secara kimiawi. Adapun akibat dari keausan kimiawi adalah meningkatnya suhu dan perubahan sifat mekanis pada *asperity*. Korosi merupakan salah satu contoh keausan secara kimiawi yang disebabkan oleh material logam yang diawali oleh terjadinya keausan adhesif, dengan keausan adhesif tersebut akan merusak lapisan film kemudian dikarenakan adanya material yang reaktif terhadap lingkungan sekitar maka korosi akan terjadi. Berikut merupakan ilustrasi dari *tribo chemical wear* yang dapat dilihat pada Gambar 2- 14.



Gambar 2-14 *Tribo Chemical Wear* [21]

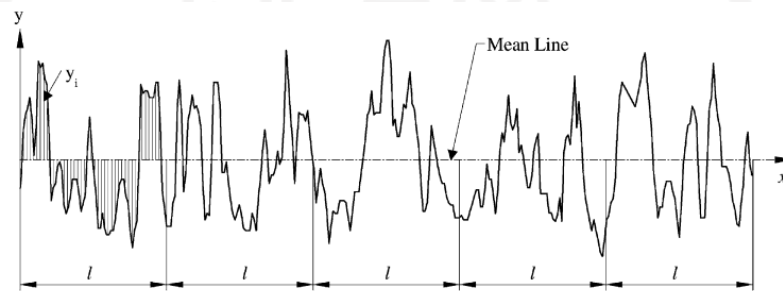
2.2.3.2 Koefisien Gesek

Parameter selanjutnya dalam tribologi yakni koefisien gesek. Koefisien gesek didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya gesek dengan beban normal jika menurut Blau PJ [25]. Menurut Hardiansyah dan Imam Wahyu [26] gaya gesek adalah gaya yang terjadi akibat adanya dua benda yang bergerak secara berlawanan. Sedangkan menurut A. Riyadi [27] gaya gesek akan timbul ketika permukaan dari kedua benda saling bergesekan. Pada umumnya besar kecilnya gaya gesek dan aus yang terjadi akan dipengaruhi oleh kekasaran, kekerasan, dan beban normal. Semakin kasar suatu permukaan benda maka umumnya aus dan gaya gesek akan semakin besar kemudian aus akan semakin besar, dan sebaliknya semakin halus permukaan maka semakin kecil aus dan gaya geseknya. Sedangkan apabila suatu material semakin keras maka aus dan gaya geseknya akan semakin kecil, dan apabila suatu material semakin lunak maka aus dan gaya gesek yang dihasilkan akan semakin besar. Pada kondisi ideal untuk cakram pengereman, yang diharapkan adalah piringan cakram tersebut dapat menghasilkan aus yang kecil agar kampas rem tidak sering diganti. Memiliki koefisien gesek yang tinggi agar performa ketika digunakan tinggi. Kekerasan yang tinggi agar piringan cakram tidak sering diganti. Untuk alat pengujian aus dan gaya gesek menggunakan alat yang bernama *pin on disc tribometer*. Pin pada alat tersebut akan statis dan disc akan bergerak memutar dan akan terjadi gesekan antara pin dan juga disc.

2.2.3.3 Kekasaran Permukaan

Pada sub-bab sebelumnya telah disinggung bahwa fenomena aus, koefisien gesek dan suhu akan dipengaruhi oleh kekasaran pada permukaan benda yang saling bergesekan. Pada kondisi umum, benda yang memiliki permukaan kasar akan memiliki koefisien gesek dan aus yang lebih besar dibandingkan dengan benda yang memiliki permukaan yang halus. Pada contoh kehidupan sehari-hari adalah ulir pada sepatu, apabila ulir pada sepatu sudah semakin tipis maka sepatu akan terasa licin, atau hal serupa juga dapat ditemukan pada ulir ban dan benda-benda lain. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat uji *stylush probe* atau *Surfcom touch 50*.

Terdapat berbagai parameter dalam pengujian kekasaran diantaranya adalah Ra, Rq, Rz, dan lain lain. Akan tetapi pada umumnya yang digunakan adalah parameter Ra, karena menurut E.S. Gadelmawla [28] parameter Ra merupakan metode paling banyak digunakan dalam melakukan uji kekasaran untuk proses *quality control*. Nama lain dari Ra (*Roughness Average*) adalah CLA atau *Centre Line Average* yang berarti untuk menghitung Ra adalah dengan menjumlahkan semua panjang *asperity* dan *valley* kemudian dibagi dengan *sample length*. Berikut ini merupakan ilustrasi dalam perhitungan Ra pada Gambar 2- 15.



Gambar 2-15 Definisi Perhitungan *Roughness Average* [28]

Berdasarkan pada ilustrasi diatas, maka untuk mencari nilai Ra dapat dituliskan ke dalam rumus matematis seperti pada Gambar 2- 16.

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx$$

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|$$

Gambar 2-16 Rumus *Roughness Average* [28]

2.2.3.4 Kekerasan Permukaan

Real contact area akan sangat dipengaruhi oleh kekerasan dalam tribologi pada permukaan yang saling bergesekan. Pada umumnya, apabila suatu material semakin keras maka *real contact area* pada permukaan benda yang bersentuhan akan semakin kecil dan mengakibatkan aus dan gaya gesek juga semakin kecil, begitu juga sebaliknya apabila suatu material lunak maka *real contact area* pada permukaan benda yang bersentuhan akan semakin besar dan mengakibatkan aus dan gaya gesek yang dihasilkan semakin besar. Seperti contoh adalah ketika bola

sepak diberi beban maka bola tersebut akan membentuk oval sehingga *real contact area* pada permukaan bola bagian bawah dan lantai akan semakin besar, berbeda dengan bola yang terbuat dari logam ketika diberi dengan beban yang sama seperti bola sepek maka bola logam tersebut tidak akan berubah bentuk menjadi oval. Sehingga jika semakin lunak material maka akan membuat *real contact area* semakin besar. Adapun cara untuk menentukan *real contact area* adalah dengan menggunakan rumus berikut.

$$A_r = \frac{F_N}{p}$$

A_r = Real Contact Area

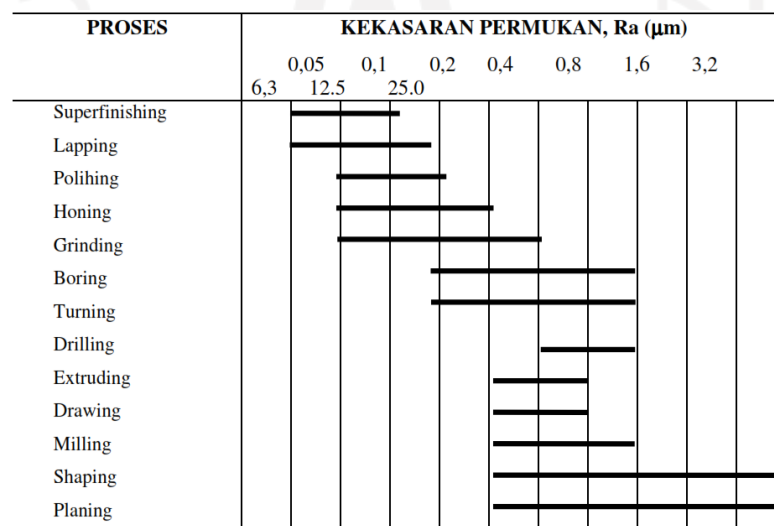
F_N = Normal Force

P = hardness

Gambar 2-17 Rumus *Real Contact Area*

2.2.4 Perlakuan Kekasaran Amplas

Pada sub-bab sebelumnya telah di singgung bahwa fenomena aus dan gaya gesek dipengaruhi oleh kekasaran pada permukaan benda yang saling bergesekan. Proses permesinan mempengaruhi kualitas kekasaran permukaan pada sebuah produk [29]. Pada produk cakram yang dibuat menggunakan besi cor biasanya di pabrik akan dilakukan proses permesinan bubut untuk meratakan permukaan piringan cakram. Dapat dilihat pada gambar 2- 18.



Gambar 2-18 Pekerjaan Akhir Proses Permesinan dan Kekasaran Permukaan Ra

[29]

Kemudian menurut standar ISO atau DIN 4763:1981 memiliki angka kekasaran yang umum digunakan, dapat dilihat pada gambar 2- 19.

Kekasaran Ra (μm)	Kelas kekasaran	Panjang Sampel (μm)
50	N12	8
25	N11	
12,5	N10	2.5
6,3	N9	
3,2	N8	0.8
1,6	N7	
0,8	N6	
0,4	N5	
0,2	N4	0.25
0,1	N3	
0,05	N2	
0,025	N1	0.08

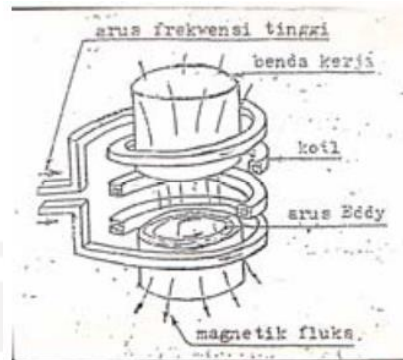
Gambar 2-19 Angka kekasaran Permukaan Menurut ISO atau DIN 4762 : 1981 [29]

Perlakuan kekasaran umumnya menggunakan amplas untuk merubah kekasaran produk menjadi menyerupai kekasaran pada amplas. Proses amplas dilakukan bertahap mulai dari yang paling kasar sampai dengan yang paling halus. Pada penelitian sebelumnya untuk mengubah kekasaran baja, dilakukan proses amplas dengan grit 220-600-1000. Kemudian dapat menghasilkan kekasaran $0.743 \pm 0.02 \mu\text{m}$, $0.653 \pm 0.02 \mu\text{m}$, dan $0.603 \pm 0.02 \mu\text{m}$. Pada proses pengamplasan dilakukan terhadap baja selama 10 menit di setiap permukaan baja [30]. Dengan nilai kekasaran ini, akan menyerupai kekasaran pada produk baru orisinal (OB).

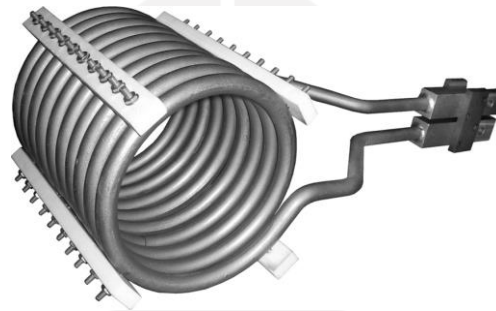
2.2.5 Perlakuan Pengerasan Permukaan Induksi

Prinsip kerja pengerasan induksi yakni dengan memanfaatkan arus listrik dengan frekuensi tinggi [31]. Benda kerja yang akan dipanaskan diletakkan dalam kumparan tembaga, melalui kumparan ini dialirkan arus listrik bolak-balik dengan frekuensi tinggi. Medan magnet bolak-balik yang terjadi akan membangkitkan arus imbas pada benda kerja yang mengalir dalam lingkaran tersebut sebagai arus pusar (Eddy Current). Hal ini disebabkan benda kerja (baja dan besi) mempunyai tahanan listrik dengan adanya cara imbas ini akan menimbulkan panas pada permukaan

benda kerja Gazaly M. [13]. Pada gambar 2-20 dapat dilihat prinsip kerja pengerasan induksi.



Gambar 2-20 Prinsip Pengerasan Induksi [19]



Gambar 2-21 Koil Pengerasan Induksi [19]

Penggunaan arus listrik bolak – balik dengan frekuensi tinggi dimaksudkan untuk menghasilkan temperatur tinggi pada benda kerja dalam waktu singkat, Menurut El Castellanos [32]. Sedangkan besarnya daya yang ditimbulkan pada benda kerja dapat dihitung dengan rumus pada gambar 2- 22. Dimana H merupakan panas yang timbul (Watt), I merupakan arus induksi pada benda kerja (Ampere) dan tahanan listrik baja (Ohm).

$$H = I^2 \cdot R$$

Gambar 2-22 Persamaan besar daya pada benda kerja

Setelah temperatur untuk pengerasan dapat dicapai selanjutnya dilakukan proses pendinginan dengan cepat (Quenching). Pada penelitian ini dilakukan menggunakan air. Akibat pendinginan yang cepat struktur mikro permukaan baja akan berubah, bersifat keras tapi bagian di dalamnya tetap ulet. Hal ini terjadi jika

permukaan baja dipanaskan hingga mencapai temperatur austenisasi maka struktur mikro baja akan berubah menjadi austenit, sedangkan bagian dalamnya hampir tidak mengalami perubahan. Karena pemanasan hanya terbatas pada bagian permukaan jika dilakukan pendinginan secara cepat maka pada bagian permukaan baja akan terbentuk struktur martensit yang keras. Beberapa variabel yang perlu diperhatikan untuk mendapatkan hasil optimum yaitu: temperatur pemanasan, waktu pemanasan dan jarak antara kumparan dengan benda kerja.

Temperatur pemanasan untuk pengerasan induksi umumnya ditentukan 50°C lebih tinggi dari pada temperatur pengerasan terutama pada pengerasan baja karbon biasa dan baja paduan yang tidak mengandung unsur pembentuk karbida.

Lamanya pemanasan yang dilakukan menentukan kedalaman kekerasan, maka lama waktu pemanasan makin dalam kekerasannya. Tetapi waktu yang terlalu lama akan menimbulkan penetrasi panas sehingga kekerasannya semakin dalam pula hal ini akan menimbulkan retak karena adanya perbedaan tegangan setelah dilakukan pendinginan.

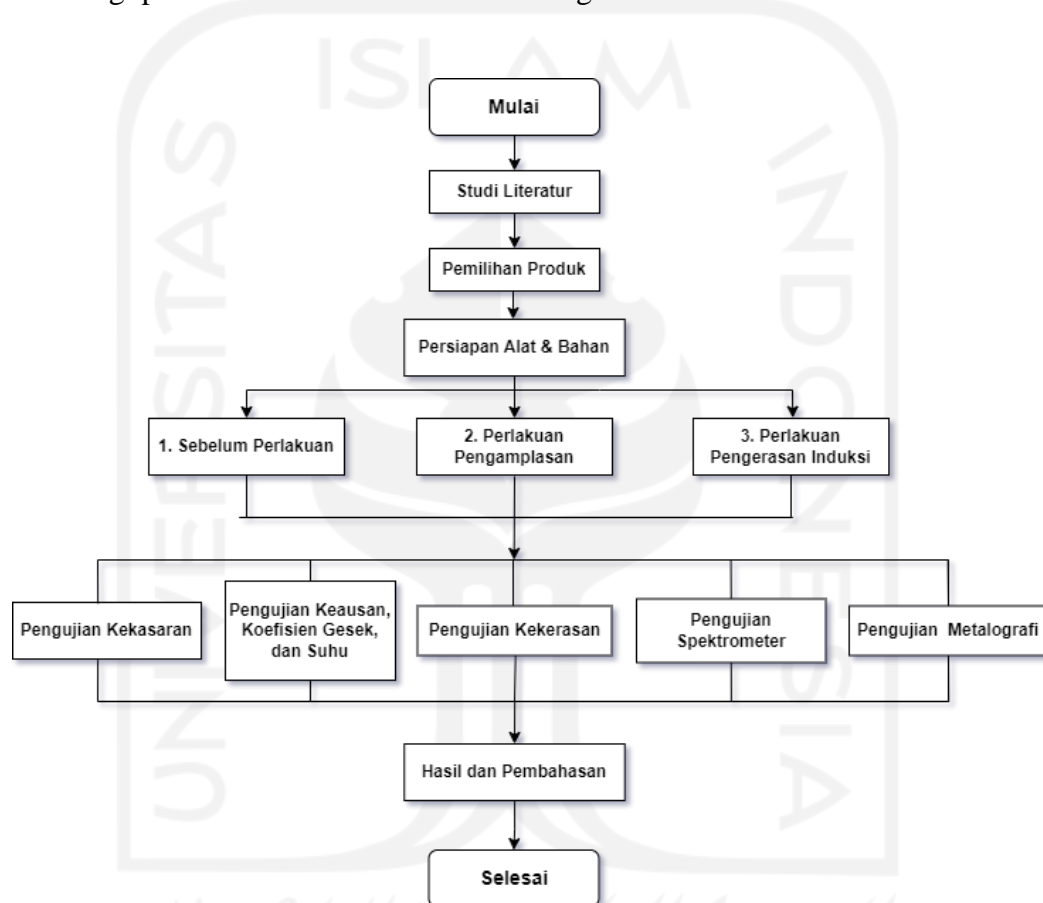
Prinsip pengerasan ini menggunakan prinsip pengerasan induksi listrik. Maka jarak antara kumparan dan benda kerja sangat mempengaruhi kedalaman kekerasannya. Jika jarak antara kumparan dan benda kerja cukup besar maka mengakibatkan benda kerja mengalami daerah medan magnet yang cukup lemah. sehingga waktu pemanasan lebih lama dan pengerasannya kurang dalam untuk memperoleh pemindahan energi yang efisien. Maka perlu dilakukan pengujian karena itu tiap – tiap jenis bahan kerja berbeda sifat.

Namun pada alat yang digunakan pada penelitian ini temperatur merupakan hasil, variabel yang akan dikontrol yakni arus dan waktu penahanan. Parameter yang digunakan berdasarkan hasil percobaan terhadap pengaruh uji kekerasan. Pada bahan besi tuang untuk pengerasan permukaan induksi bisa dimulai dari temperatur 550°C untuk mulai pemanasan. Agar menghindari kegagalan pemanasan seperti benda kerja pecah dan retak. Kemudian menurut V. Rudnev [33] besi cor akan mengalami perubahan austenit paling optimal di temperatur 800°C. Titik leleh pada besi cor yakni di antara suhu 860°C-930°C. Maka dari itu dalam pengerasan permukaan induksi suhu yang terjadi tidak boleh melebihi titik leleh.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Berikut merupakan alur penelitian dalam judul Analisis Sifat Mekanik dan Tribologi pada Cakram Baru dan Bekas dengan Perlakuan Permukaan.



Gambar 3-1 Diagram Alir Penelitian

Tabel 3-1 Matriks Pengujian

Matriks Pengujian					
Pengujian	Alat	Parameter	Fase Perlakuan		
			Sebelum (OB, SB & B)	Pengamplasan (B1-B6)	Pengerasan Induksi (B1'-B6')
Kekasaran	Surface Roughness Tester	Kecepatan = 0,3 mm/s Sample length/ λ_c (mm) = 0,8 (OB, SB, B1-B6, & B1'-B6') = 2,5 (B) Eval. Length (mm) = 4 (OB, SB, B1-B6, & B1'-B6') = 12,5 (B)	✓	✓	✓
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 (OB, SB, dan B)	-
Pengamplasan (B1-B6)	Grid = 220-600-1000 Kecepatan = 300 RPM Waktu (menit) = 10 Pergrit Amplas
Pengerasan Induksi (B1'-B6')	Arus (Ampere) = 1200 (B1'-B2') = 1000 (B3'-B4') = 800 (B5'-B6') Waktu (Detik) = 15 (B1', B3' & B5') = 20 (B2', B4' & B6')

3.2 Peralatan dan Bahan

Pada penelitian ini, terdapat beberapa peralatan dan bahan yang digunakan untuk membantu dalam melaksanakan penelitian Analisis Sifat Mekanik dan Tribologi Terhadap Perbandingan Cakram Orisinal dengan Orisinal Bekas Hasil Bubut. Berikut Tabel 3-3 dan Tabel 3-4 yang berisi peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 3-3 Peralatan

No	Peralatan	Fungsi
1	Laptop/PC	Perangkat utama dalam melakukan tahap literasi dan pengolahan data
2	<i>Pin On Disc Tribometer</i>	Perangkat untuk melakukan pengujian gesek dan aus
3	<i>Stylush Probe/ Surfcom Touch 50</i>	Perangkat untuk melakukan pengujian kekasaran

4	<i>Thermal Imager</i>	Perangkat untuk melakukan pengujian suhu
5	<i>Tripod</i>	Alat pembantu untuk melakukan pengujian suhu
6	<i>Brinell Hardness Tester</i>	Perangkat untuk melakukan pengujian kekerasan
7	Timbangan	Perangkat untuk melakukan pengujian pengurangan massa
8	Mesin Bubut	Perangkat untuk melakukan pembubutan
9	Mesin Penggosok dan Pemoles Logam	Perangkat untuk melakukan preparasi metalografi dan perlakuan pada cakram
10	Amplas grit 100-1500	Perangkat untuk melakukan pemolesan
11	Mesin 3D Print	Perangkat untuk membuat <i>holder</i> pada <i>pin</i> 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>Rockwell Hardness Tester</i>	Perangkat untuk melakukan pengujian kekerasan pada percobaan
19	Mesin Gerinda	Digunakan untuk membuat alas keramik pada perlakuan kekerasan
20	<i>Flask disk</i>	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>Thermogun</i>	Perangkat untuk melakukan pengujian suhu
24	Kunci pas L	Digunakan untuk pemasangan spesimen pada tribometer
25	Mesin Spectrometer	Perangkat untuk melakukan pengujian spektrometer (komposisi material)

Tabel 3-4 Bahan

No	Bahan	Fungsi
1	Cakram Orisinal Toyota Agya Manual 1000cc	Sebagai bahan uji
2	Kampas Rem Orisinal Toyota Agya Manual 1000cc	Sebagai bahan bantu pengujian koefisien gesek dan aus
3	Cakram Orisinal Daihatsu Ayla Manual 1000cc	Sebagai bahan uji
4	Amplas grit 100-1500	Perangkat untuk melakukan pengamplasan
5	<i>polycarbonate (Fillament 3D print)</i>	Sebagai bahan bantu pengujian koefisien gesek dan aus
6	Cairan Esta (NHO3)	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 ideal cakram mobil berdasarkan [3], memiliki beberapa cakupan antara lain :

1. Memiliki koefisien gesek yang tinggi agar pengereman maksimal (kestabilan tinggi) dan waktu untuk pengereman sedikit ($\mu = 0.3-0.4$).
2. Memiliki aus yang rendah agar cakram dan kampas rem dapat bertahan lama (seminimal mungkin).
3. Memiliki kekuatan yang tinggi, termasuk kekerasan dan minim kerentahan (300-321 BHN).
4. Memiliki temperatur yang rendah ketika pengereman berlangsung (penurunan performa sekitar $350^{\circ}\text{C}-400^{\circ}\text{C}$ [34] dan pengereman normal sekitar $200^{\circ}\text{C}-250^{\circ}\text{C}$ [35]).
5. Harga yang murah.

3.4 Pembuatan Spesimen Cakram (*Disk*)

Sebelum membuat spesimen cakram, dilakukan pengukuran dimensi keseluruhan cakram terlebih dahulu. Spesimen cakram yang digunakan pada penelitian ini menggunakan dimensi dengan bentuk tabung pejal, dikarenakan harus menyesuaikan dengan standar pengujian pada alat tribometer, menggunakan bahan cakram orisinal baru (OB), orisinal sebelum bubut (SB) dan orisinal sesudah bubut (B) pada gambar 3-2 sampai 3-3. Dengan ukuran dimensi tinggi bervariasi, menyesuaikan tinggi asli dari masing-masing cakram, untuk lebih jelasnya ada pada tabel 3-5.



Gambar 3-2 Cakram Orisinal Baru-Spesimen OB



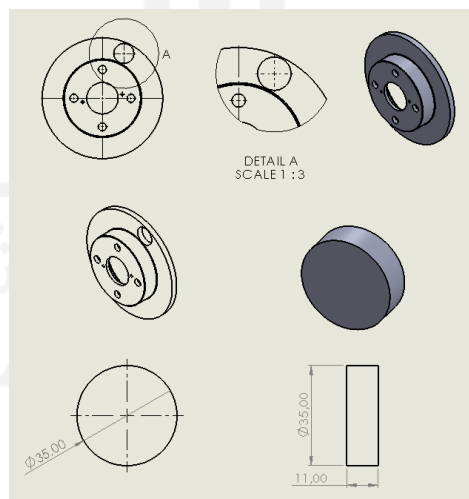
Gambar 3-3 Cakram Orisinal Bekas Sebelum Bubut-Spesimen SB



Gambar 3-4 Cakram Orisinal Bekas Hasil Bubut-Spesimen B

Tabel 3-5 Dimensi Spesimen

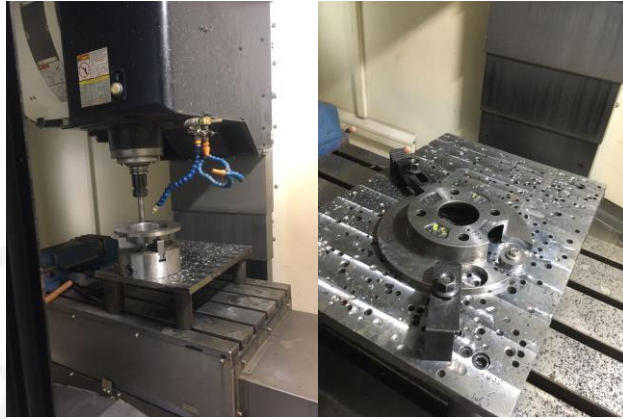
Dimensi		
NO	Nama	Ukuran
1	Diameter	35 mm
2	Lubang	M8
3	Tinggi Spesimen OB	11 mm (orisinal)
4	Tinggi Spesimen SB	9,96 mm (Sebelum bubut)
5	Tinggi Spesimen B	9,71 mm (Sesudah bubut)



Gambar 3-5 Desain Spesimen Cakram Uji

Pada gambar 3-5 menunjukkan desain untuk pembuatan spesimen, dengan dimensi detail tertera pada tabel 3-4. Kemudian untuk proses pemotongan

dilakukan menggunakan proses *CNC Milling*, proses *CNC Milling* dilakukan diluar kampus.



Gambar 3-6 Proses Pematangan *CNC Milling*

Pada gambar 3-2 sampai 3-4 dan 3-6 menunjukkan bentuk cakram sebelum dipotong, sesudah di potong, dan hasil spesimen cakram uji. Spesimen diambil dari bagian cakram yang bergesekan dengan kampas pada realita kondisi di mobil.

3.5 Preparasi Sampel Pengujian

3.5.1 Preparasi Sampel Pengujian kekasaran

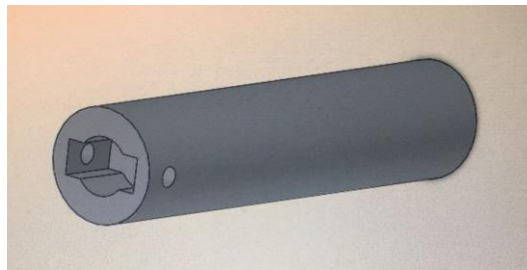
Sebelum melakukan pengujian kekasaran spesimen sebisa mungkin dibersihkan dari partikel-partikel yang akan mengganggu hasil pengujian. Pada bagian ini spesimen dibersihkan menggunakan kapas yang dibalurkan dengan cairan aseton. Kemudian Spesimen dikeringkan menggunakan kapas kering.

3.5.2 Preparasi Sampel Pengujian Koefisien Gesek, Aus & Suhu

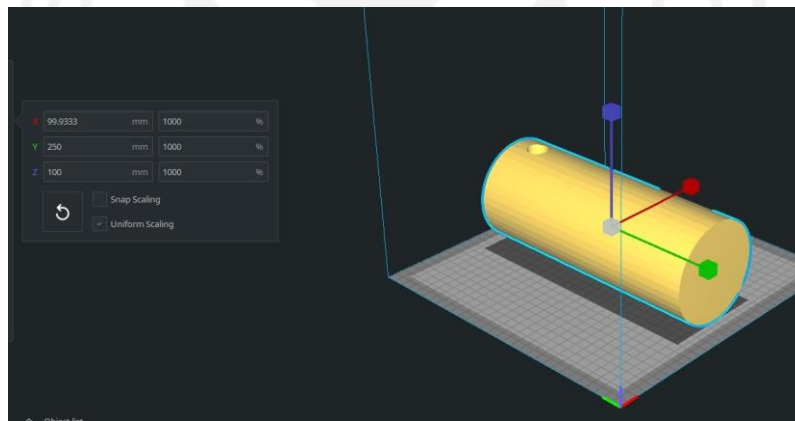
Sebelum melakukan pengujian koefisien gesek dan aus menggunakan mesin tribometer. Ada beberapa hal yang perlu disiapkan. Adapun yang perlu dipersiapkan pada proses pengujian tribometer yaitu:

1. Spesimen uji Cakram (*disk*)
Spesimen uji cakram (*disk*) dijelaskan pada bagian 3.4.2.
2. *Holder Pin*

Pembuatan holder sebagai pencekam kampas rem pada pin pengujian tribometer menggunakan *3D Print* berbentuk tabung berongga. Dengan bahan *polycarbonate Filament* serta *infill* 85% dengan *fill pattern honeycomb*. Tujuannya agar holder ini kuat untuk mencekam cakram. Dengan ukuran dimensi *holder* pin, diameter 10 mm, tinggi 25 mm, diameter rongga 5,8 mm, dan tinggi 5 mm.



Gambar 3-7 Desain *Holder Pin*



Gambar 3-8 Proses *3D Print Holder Pin*



Gambar 3-9 Hasil *3D Print Holder Pin*

Holder ini berfungsi sebagai pencekam mata pin pada *pin on disk tribometer* ketika pengujian koefisien gesek dan aus.

3. Mata Pin

Pada penelitian ini pin yang akan bergesekan dengan cakram (*disk*) berasal dari kampas rem orisinal Toyota.

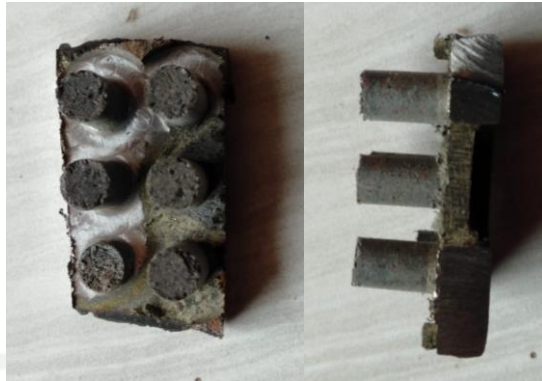


Gambar 3-10 Kampas Rem Orisinal Toyota Agya

Kemudian kampas ini dipotong menggunakan *CNC Milling* berbentuk tabung. Dengan ukuran dimensi tinggi 9,8 mm dan diameter 6 mm. Ukuran dimensi ini menyesuaikan dengan ukuran spesimen cakram (*disk*) agar menyesuaikan dengan realitas pada pengereman mobil dan menyesuaikan pin yang dapat digunakan pada pengujian tribometer.



Gambar 3-11 Desain Pemotongan Kampas Rem Orisinal Toyota Agya



Gambar 3-12 Kampas Rem Orisinal Toyota Agya setelah dipotong



Gambar 3-13 Kampas Rem dan *Holder* Pin yang Sudah Terpasang

4. Parameter

Pada parameter akan dibahas pada sub bab selanjutnya. Kemudian untuk parameter sendiri yang perlu dimasukan yakni *RPM*, *weartrack*, beban dan waktu.

3.5.3 Preparasi Sampel Pengujian Kekerasan

Pada preparasi sampel sebelum pengujian, permukaan sampel harus dibersihkan menggunakan amplas. Dengan grit amplas 100-250-400-500. Tujuan dari preparasi ini adalah untuk membersihkan/membuka permukaan sampel agar bekas pijakan pada pengujian kekerasan menggunakan *Brinell Hardness Tester* dapat terlihat.



Gambar 3-14 Preparasi sampel uji kekerasan

3.5.4 Preparasi Sampel Pengujian Spektrometer

Pada preparasi sampel sebelum pengujian, harus membersihkan sampel menggunakan kapas dan cairan aseton. Tujuan dari preparasi ini adalah untuk membersihkan permukaan sampel agar terhindar dari partikel-partikel pengganggu yang tidak diinginkan dan terhindar dari korosi. Dikarenakan jika terdapat korosi akan mengganggu hasil komposisi material dari pengujian spektrometer.

3.5.5 Preparasi Sampel Pengujian Metalografi

Pada preparasi sampel sebelum pengujian, harus melakukan beberapa prosedur sebelum pengujian metalografi dilakukan. Tujuan dari preparasi ini adalah untuk membersihkan/membuka permukaan sampel agar struktur mikro pada sampel dapat terlihat. Sehingga hasil dari pengujian dapat dianalisis. Adapun yang perlu dipersiapkan pada proses pengujian tribometer yaitu:

1. Pengamplasan

Proses pengamplasan dilakukan dengan menggunakan kertas amplas berurutan dari kasar sampai halus (100-1500). Pada spesimen ini cakram di amplas mulai dari 120-220-360-500-800-1000-1500 agar hasilnya maksimal.

2. Pemolesan (Polishing)

Setelah di amplas, spesimen dipoles dengan alumina (Al_2O_3) atau dalam Bahasa perdagangan disebut autosol. Pasta autosol diletakan di kain bludru

dan spesimen diletakkan diatas kain tersebut sampai rata, tidak terdapat garis-garis dan permukaanya mengkilap.

3. Etsa

Proses pengetsaan bertujuan untuk melarutkan batas butir. Bahan etsa yang digunakan tergantung pada jenis material spesimen. Pada spesimen ini, menggunakan cairan HNO₃ dengan konsentrasi 5% dan dicampur dengan alkohol.

3.6 Proses Pengujian

3.6.1 Pengujian Kekasaran

Pengujian kekasaran dilakukan dengan menggunakan *stylush probe* dengan nama *surfcom touch* dengan spesimen pengujian yang berbentuk tabung berukuran, tinggi 11 mm/9,96 mm/9,71 mm dan diameter 35 mm. Pengujian kekasaran dilakukan pada bagian permukaan cakram atau bagian luar dan dalam yang bersentuhan secara langsung dengan kanvas rem. Berikut merupakan alat untuk menguji kekasaran permukaan pada Gambar 3- 15.



Gambar 3-15 Alat Pengujian Kekerasan Permukaan

Berikut merupakan parameter masukan pada pengujian kekasaran terhadap ketiga produk cakram orisinal, orisinal bekas sebelum bubut, dan orisinal bekas setelah bubut pada tabel 3-6. Parameter ini diambil berdasarkan hasil uji coba pengujian.

Tabel 3-6 Parameter Pengujian Kekasaran

NO	Benda	mm/s	λc (mm)	Eval. Length (mm)
1	Ori	0,3	0,8	4
3	Sebelum bubut	0,3	0,8	4
4	Sesudah bubut	0,3	2,5	12,5

Berdasarkan parameter di atas pengujian dilakukan dalam 3 kali pengulangan dan dilakukan pada kedua permukaan. Agar hasil pengujian dapat mewakili kondisi asli kekasaran dari spesimen. Alat ini menggunakan standar kalibrasi ISO 1997/2009.

3.6.2 Pengujian Koefisien Gesek dan Aus

Pengujian aus dan gaya gesek pada penelitian ini menggunakan alat *pin on disc tribometer*. *Output* pada pengujian ini berupa massa aus dan gaya gesek. Pin yang digunakan dalam pengujian ini adalah spesimen yang dibentuk dari produk kampas orisinal Toyota, sedangkan untuk *disc* yang digunakan adalah spesimen cakram yang sudah disiapkan. Ukuran spesimen atau *disc* yang digunakan untuk melakukan pengujian *pin on disc tribometer* disesuaikan dengan pin pada alat *pin on disc* dengan diameter 10 mm dan panjang 25 mm, mata pin dengan tinggi 9,8 mm dan diameter 6mm. Sedangkan untuk *disc* yang digunakan pada pengujian berbentuk tabung dengan ukuran diameter 35 mm.



Gambar 3-16 Alat Pengujian Koefisien Gesek dan Aus (*Pin On Disc Tribometer*)

Terdapat beberapa parameter yang digunakan dalam melakukan pengujian *pin on disc tribometer*. Parameter tersebut dapat dilihat pada tabel 3-7. Parameter tersebut didapat berdasarkan perhitungan dan asumsi yang didasari oleh penelitian ini yang dijelaskan pada bab 4.

Tabel 3-7 Parameter Pengujian Koefisien Gesek dan Aus

Parameter Data Input	
RPM	728 rpm = 80 km/Jam
Gaya	12 N
Waktu	45 Menit
Wear track	24 mm

Pada parameter diatas menunjukkan apabila mobil berjalan dalam 80 KM/Jam maka kecepatan putaran pada alat uji sebesar 728 rpm. Kemudian untuk beban yang digunakan kampas rem pada cakram saat pengereman sebesar 12 N pada pengujian. Lama pengujian untuk 1 spesimen dalam 45 menit dengan pengulangan 3 kali. Untuk lintasan pada pengujian memiliki diameter 24 mm, menyesuaikan dengan dimensi spesimen cakram (*disk*).

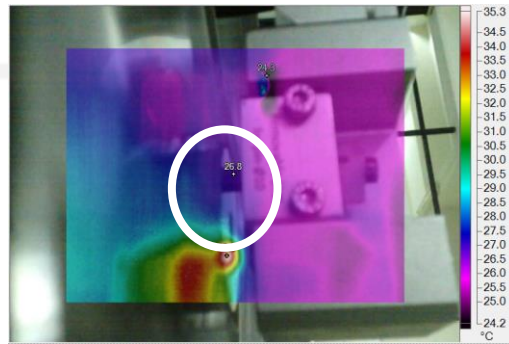
3.6.3 Pengujian Suhu

Pengujian suhu pada penelitian ini menggunakan alat *Thermal Imager Fluke*. *Output* pada pengujian ini berupa suhu yang di dapat pada foto. Pin yang digunakan dalam pengujian koefisien gesek dan aus bergesekan dengan *disk* menjadi fokus pengujian suhu.



Gambar 3-17 *Fluke Thermal Imager*

Pada pengujian ini, pengambilan suhu pada *disk* dalam lingkup *wear track* pasca dilalui oleh pin. Seperti contoh pada gambar 3-18. 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 3-18 Hasil *Fluke Thermal Imager*

3.6.4 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik D-III Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Untuk sampel pengujian ini menggunakan sampel yang sama. Pengujian ini dilakukan menggunakan alat *Universal Hardness Tester*. Dengan pengujian kekerasan *Brinell*, pembebanan 187,5 Kgf. Pengujian ini dilakukan dalam 3 kali pengulangan agar hasil yang didapat memiliki nilai keakuratan yang tinggi.



Gambar 3-19 *Universal Hardness Tester*

Pengujian kekerasan dilakukan terhadap permukaan datar dari produk cakram yang bersentuhan langsung dengan kampas rem. Tujuan dari pengujian kekerasan adalah untuk menentukan *real contact area* yang terjadi pada setiap produk Cakram, dan berhubungan dengan aus dan gaya gesek yang didapat pada pengujian *pin on disc tribometer*. Ada beberapa hal yang harus dilakukan sebelum melaksanakan uji kekerasan Brinell, yaitu:

1. Indentor harus bersih dan pastikan penempatan indentor benar
2. Benda uji harus bersih, halus, kering, dan tidak berkarat
3. Permukaan benda uji harus datar dan tegak lurus terhadap indentor
4. Ketebalan benda uji minimum 10 kali dari kedalaman jejak/indentasi

Cara pelaksanaan pengujian kekekrasan Brinnell sebagai berikut:

1. Pasangkan indentor pada *Universal Hardness Tester* dan atur pembebanan yang sesuai dengan material yang akan diuji.
2. Letakkan spesimen pada meja uji dan Tarik tuas pembebanan
3. Ukur diameter yang dihasilkan oleh pengujian
4. Masukkan ke persamaan untuk menghitung nilai kekerasan dengan satuan BHN

$$BHN = \frac{P}{(\pi D / 2)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots\dots\dots 3.1$$

5. Ulang pengujian untuk setiap spesimen sebanyak 3 kali pengulangan dengan titik pembebanan berbeda, kemudian nilai kekerasanya dirata-ratakan.

3.6.5 Pengujian Spektrometri

Pengujian spektrometri dilakukan di Laboratorium *Quality Control* CV Karya Hidup Sentosa (Quick) Yogyakarta. Untuk sampel pengujian ini menggunakan sampel yang sama. Pengujian ini dilakukan menggunakan alat Thermo ARL 3560 OES Program FE-LOW. Unsur C pada hasil berdasarkan kalibrasi program alat CV Karya Hidup Sentosa. Pengujian ini dilakukan dalam 3 kali pengulangan agar hasil yang didapat memiliki nilai keakuratan yang tinggi.



Gambar 3-20 Spektrometri Thermo ARL [17]

Pengujian spektrometri dilakukan terhadap permukaan datar dari produk cakram yang bersentuhan langsung dengan kampas rem. Sebelum pengujian dipastikan spesimen harus bersih dan tidak berkarat. Tujuan dari pengujian spektrometri adalah untuk menganalisis komposisi material cakram menggunakan laser dan berhubungan dengan akan dilakukannya perlakuan pengerasan induksi. Detailnya untuk mengetahui kandungan unsur kimia pada spesimen cakram.

3.6.6 Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik D-III Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada Yogyakarta dengan alat mikroskop Sony Olympus PME3, pada gambar 3-21. Untuk sampel pengujian ini menggunakan sampel yang sama. Dengan pembesaran sebesar 200 X. Pengujian ini dilakukan dalam 3 titik berbeda agar hasil yang didapat memiliki nilai keakuratan yang tinggi.



Gambar 3-21 Mikroskop Sony Olympus PME 3

Pengujian metalografi dilakukan terhadap permukaan datar dari produk cakram yang bersentuhan langsung dengan kampas rem. Pengujian ini dapat dilakukan bila preparasi sampel metalografi sudah selesai. Tujuan dari pengujian metalografi adalah untuk menganalisis mikro material cakram menggunakan mikroskop metalurgi dan berhubungan dengan akan dilakukannya perlakuan pengerasan induksi. Detailnya untuk menentukan struktur penyusun spesimen cakram (*Raw Material*) dan struktur penyusun pasca perlakuan pengerasan induksi.

3.7 Proses Perlakuan

3.7.1 Proses perlakuan amplas



Gambar 3-22 Mesin Perlakuan Amplas PLATO

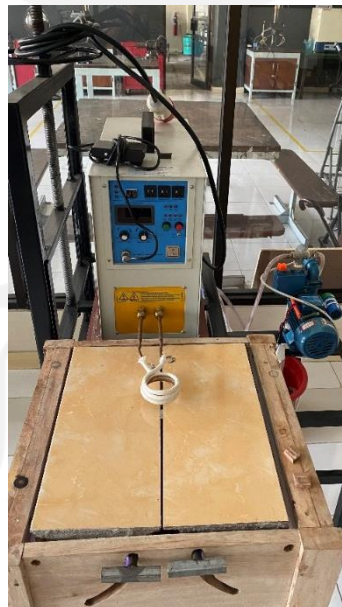
Proses pengamplasan dilakukan sebelum perlakuan pengerasan induksi, pada gambar 3-22. Proses ini menggunakan kertas amplas berurutan dari kasar sampai halus (220-600-1000). Durasi masing-masing grit amplas 10 menit dengan kecepatan mesin 300 rpm. Dilakukan untuk kedua permukaan spesimen setelah bubut. Pada perlakuan ini ingin mengurangi kekasaran. Dikarenakan pada pengujian sebelum perlakuan kekasaran pada spesimen bubut terlalu tinggi. Sehingga mungkin mempengaruhi beberapa hasil dari pengujian selanjutnya.



Gambar 3-23 Proses Perlakuan Amplas

3.7.2 Proses perlakuan pengerasan induksi

Proses pengerasan induksi dilakukan setelah perlakuan pengamplasan. Proses ini menggunakan mesin pemanasan induksi. Pengerasan ini memiliki parameter arus dan waktu untuk setiap proses perlakuannya. Dilakukan untuk kedua permukaan spesimen setelah bubut.



Gambar 3-24 Mesin Pemanasan Induksi

Pada perlakuan ini bertujuan untuk meningkatkan kekerasan permukaan pada spesimen bubut. Dikarenakan pada pengujian sebelum perlakuan pengerasan induksi, kekerasan pada spesimen bubut rendah. Sehingga mungkin

mempengaruhi beberapa hasil dari pengujian selanjutnya. Mesin pengerasan induksi memiliki spesifikasi pada gambar 3-25 dibawah ini.



Gambar 3-25 Spesifikasi Mesin Pemanasan Induksi



Gambar 3-26 Koil Pemanasan induksi

Pada perlakuan ini, meletakkan spesimen didalam 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 ± 9 mm.



Gambar 3-27 Peletakan spesimen pada koil induksi

Pada proses pengerasan induksi spesimen diletakkan pada alas keramik yang bertujuan untuk memposisikan spesimen pada tengah koil. Sehingga seluruh permukaan spesimen dapat terpengaruh oleh pemanasan induksi dan hasil pemanasannya akan maksimal.



Gambar 3-28 Tempat pendinginan

Setelah proses pengerasan induksi selesai, spesimen akan didinginkan (*Quenching*) menggunakan air. Sampai dengan suhu dan waktu tertentu. Proses ini merupakan proses terakhir. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan sifat material tertentu dan pengerasan induksi dapat berhasil. Proses ini mencegah terjadinya proses suhu rendah yang tidak diinginkan, seperti transformasi fasa.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Sebelum Perlakuan

Pengujian pada penelitian ini dilakukan dalam tiga tahapan, pada bagian ini akan membahas pengujian sebelum perlakuan. Pengujian yang dilakukan yakni geometri pada produk, sifat mekanik (kekerasan), sifat tribologi (kekasaran, aus dan koefisien gesek) dan suhu pada cakram orisinal, cakram orisinal bekas, dan cakram orisinal bekas hasil bubut. Untuk melihat kekerasan, kekasaran, suhu, gaya gesek dan aus yang dihasilkan dari produk tersebut.

4.1.1 Pengujian Kekasaran

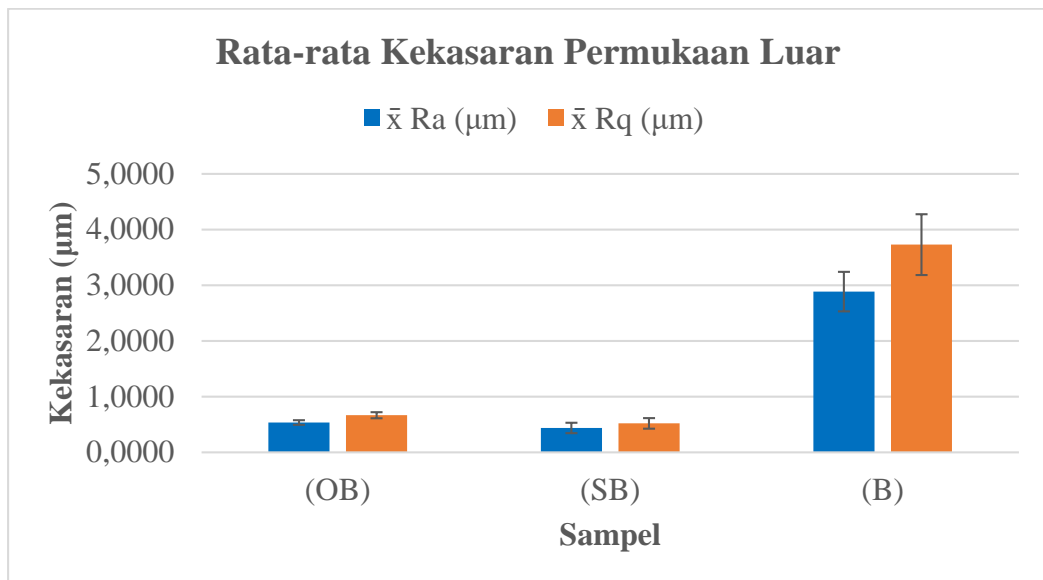
Pengujian kekasaran dilakukan dengan menggunakan *stylush probe* dengan nama *surfcom touch* dengan spesimen pengujian yang berbentuk tabung berukuran, tinggi 11 mm/9,96 mm/9,71 mm dan diameter 35 mm. Pengujian kekasaran dilakukan pada bagian permukaan cakram atau bagian luar dan dalam yang bersentuhan secara langsung dengan kampas rem.

Berikut ini merupakan hasil pengujian kekasaran terhadap ketiga produk cakram orisinal, cakram orisinal bekas, dan cakram orisinal bekas hasil bubut pada Tabel 4- 1.

Tabel 4-1 Hasil Uji Kekasaran Permukaan Luar Cakram

Pengujian kekasaran permukaan luar cakram								
NO	Benda	mm/s	λc	Ra (μm)			\bar{x} (μm)	σ/s
				1	2	3		
1	Ori (OB)	0,3	0,8	0,478	0,551	0,575	0,5347	0,0412
3	Sebelum bubut (SB)	0,3	0,8	0,461	0,312	0,537	0,4367	0,0935
4	Sesudah bubut (B)	0,3	2,5	2,568	2,707	3,382	2,8857	0,3555
NO	Benda	mm/s	λc	Rq (μm)			\bar{x} (μm)	σ/s
				1	2	3		
1	Ori (OB)	0,3	0,8	0,589	0,695	0,714	0,6660	0,0550
3	Sebelum bubut (SB)	0,3	0,8	0,546	0,392	0,621	0,5197	0,0953
4	Sesudah bubut (B)	0,3	2,5	3,175	3,543	4,472	3,7300	0,5458

Gambar 4-1 menunjukkan rata-rata kekasaran permukaan luar (Ra dan Rq).



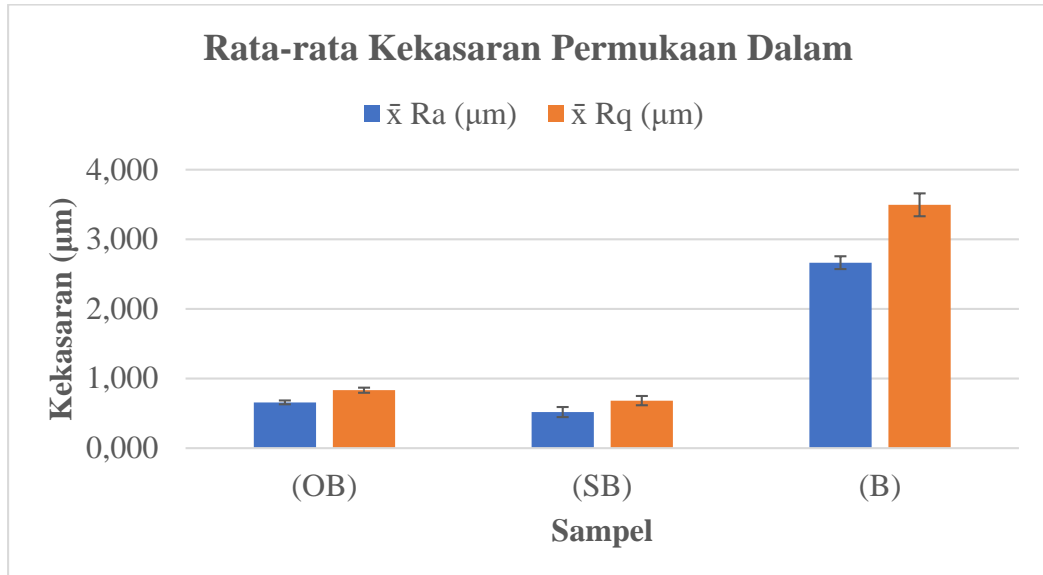
Gambar 4-1 Rata-rata Ra Permukaan Luar Cakram (Ra dan Rq)

Pengujian kekasaran juga dilakukan terhadap permukaan cakram pada bagian dalam untuk melihat kekasaran permukaan bagian dalam. Berikut ini merupakan hasil pengujian kekasaran pada permukaan dalam cakram yang digunakan pada Tabel 4- 2.

Tabel 4-2 Hasil Uji Kekasaran Permukaan Dalam Cakram

Pengujian kekasaran permukaan dalam cakram								
NO	Benda	mm/s	λc	Ra (μm)			\bar{x} (μm)	σ/s
				1	2	3		
1	Ori (OB)	0,3	0,8	0,693	0,649	0,626	0,656	0,028
3	Sebelum bubut (SB)	0,3	0,8	0,426	0,604	0,521	0,517	0,073
4	Sesudah bubut (B)	0,3	2,5	2,551	2,778	2,663	2,664	0,093
NO	Benda	mm/s	λc	Rq (μm)			\bar{x} (μm)	σ/s
				1	2	3		
1	Ori (OB)	0,3	0,8	0,882	0,817	0,796	0,8316	0,0366
3	Sebelum bubut (SB)	0,3	0,8	0,596	0,759	0,689	0,6813	0,0668
4	Sesudah bubut (B)	0,3	2,5	3,368	3,729	3,389	3,4953	0,1654

Gambar 4-2 menunjukkan rata-rata kekasaran permukaan dalam (Ra dan Rq).



Gambar 4-2 Rata-rata Ra Permukaan Dalam Cakram (Ra dan Rq)

Berdasarkan hasil dari uji kekasaran permukaan luar dan dalam cakram. Pada jenis sesudah bubut dapat disimpulkan bahwa produk B memiliki permukaan yang paling kasar, kemudian disusul dengan produk OB, dan yang paling halus adalah produk SB berdasarkan hasil Ra dan Rq. Hal ini dikarenakan sesudah bubut mengalami proses bubut pada permukaan yang bersentuhan dengan kampas rem, saat proses pengereman. Akhirnya membuat produk ini memiliki kekasaran tertinggi. Lalu untuk orisinal sebelum bubut dikarenakan sudah mengalami aus pada proses pengereman sehari-hari, sehingga memiliki kekasaran paling rendah.

4.1.2 Pengujian Aus, Koefisien Gesek dan Suhu

Pengujian aus dan koefisien gesek pada penelitian ini menggunakan alat *pin on disc tribometer*. Output pada pengujian ini berupa massa aus dan koefisien gesek. Pin yang digunakan dalam pengujian ini adalah spesimen yang dibentuk dari produk kampas orisinal Toyota, sedangkan untuk *disc* yang digunakan adalah spesimen cakram yang sudah disiapkan. Ukuran spesimen atau *disc* yang digunakan untuk melakukan pengujian *pin on disc tribometer* disesuaikan dengan pin pada alat *pin on disc tribometer* dengan diameter 10 mm dan panjang 25 mm, mata pin dengan tinggi 9,8 mm dan diameter 6mm. Sedangkan untuk *disc* yang digunakan pada pengujian berbentuk tabung dengan ukuran diameter 35 mm.

Tabel 4-3 Parameter Pengujian Koefisien Gesek dan Aus

Parameter Data Input	
RPM	728 rpm = 80 km/Jam
Gaya	12 N
Waktu	45 Menit
Wear track	24 mm

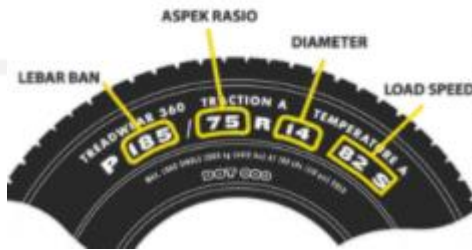
Terdapat beberapa parameter yang digunakan dalam melakukan pengujian *pin on disc tribometer*. Pada tabel 4-3 menunjukkan apabila mobil berjalan dalam 80 KM/Jam maka kecepatan putaran pada alat uji sebesar 728 rpm. Kemudian untuk beban yang digunakan kampas rem pada cakram saat pengereman sebesar 12 N pada pengujian. Lama pengujian untuk 1 spesimen dalam 45 menit dengan pengulangan 3 kali. Untuk lintasan pada pengujian memiliki diameter 24 mm, menyesuaikan dengan dimensi spesimen cakram (*disk*). Parameter tersebut didapat berdasarkan asumsi yang didasari oleh penelitian sebelumnya. Berikut merupakan asumsi- asumsi pada pengujian *pin on disc tribometer*.

1. Kecepatan pada mobil ketika berjalan adalah 80 Km/jam
2. Gaya pengereman sesuai dengan penelitian yang telah ada yakni pada jarak 10m
3. Gaya (F) pengereman menggunakan data dari mini truck
4. *Safety Factor* berdasarkan gaya tertinggi
5. Gaya (F) terjadi pada satu sisi kampas
6. Luas Permukaan kampas $62,29^\circ$ berdasarkan desain *solidworks*

Tabel 4-4 Dimensi Velg Standar Agya

Dimensi Ban dan Velg Standar Agya			
Lebar ban (mm)	Aspek rasio ban (%)	Diameter	
		(Inch)	(mm)
175	65	14	355,6

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



Gambar 4-3 Persamaan Perhitungan Sigma X pada Ban [11]

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

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

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

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

$$r = 291,55 \text{ mm}$$

$$v = 80 \text{ km/j}$$

$$\pi = 3,14$$

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

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

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

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

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

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

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

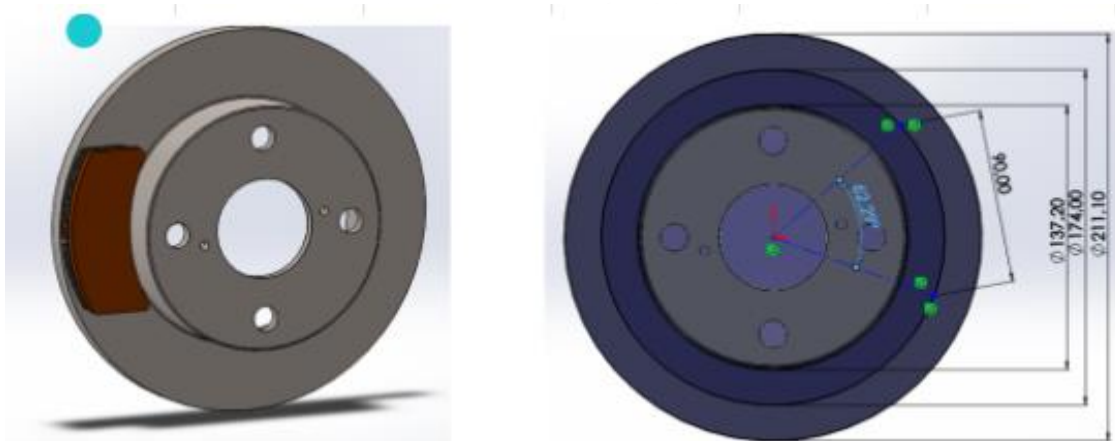


1070 kg

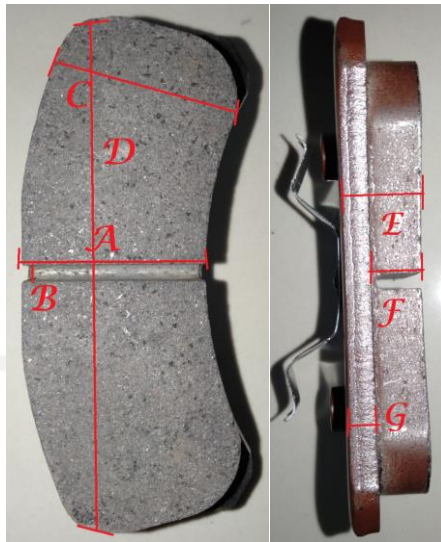


800 kg

Gambar 4-4 Data Hasil Jarak Pengereman 10m [11]



Gambar 4-5 Dimensi Cakram Orisinal



Gambar 4-6 Penamaan sampel ukur

Tabel 4-5 Dimensi Kampas Rem 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 luas kontak area cakram dengan kampas :

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

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

$$\pi = 3,14$$

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

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

Perhitungan luas kontak area cakram dengan kampas :

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

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

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

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 :

$$F = P \times A$$

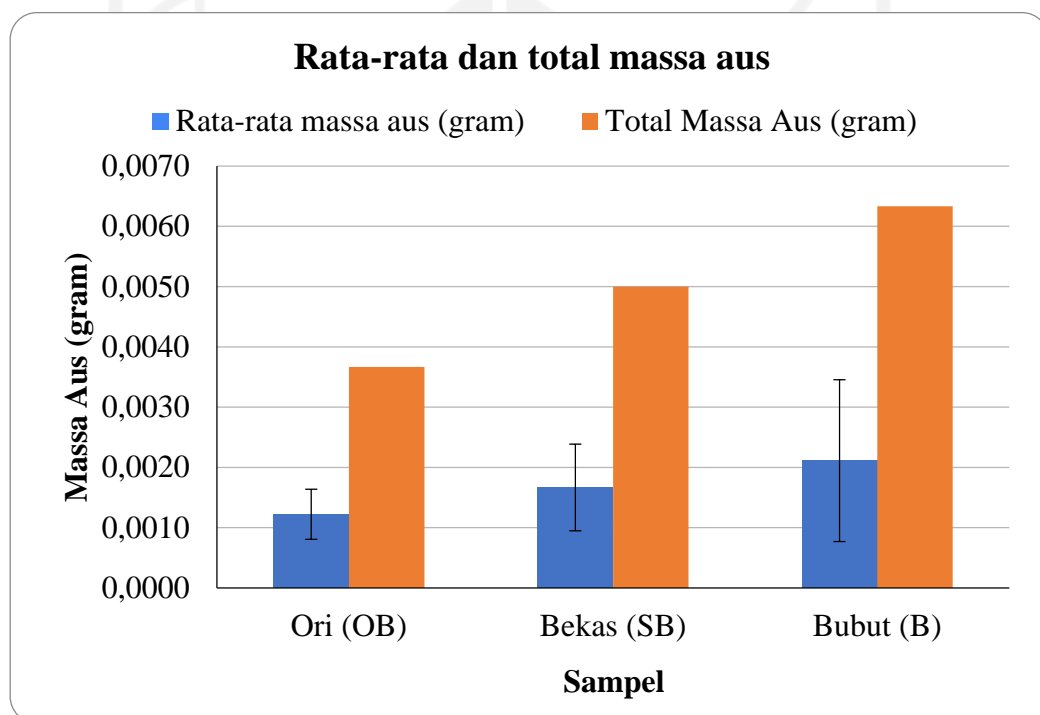
$$F = 0,415 \text{ N/mm}^2 \times 28,29 \text{ mm}^2$$

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

Berdasarkan perhitungan diatas diketahui bahwa beban yang akan digunakan pada pengujian aus dan koefisien gesek yakni 12 N. Agar tekanan pada pengujian sesuai dengan kondisi asli saat pengereman. Berikut ini merupakan hasil pengujian aus pada *pin on disc tribometer* yang dapat dilihat pada Tabel 4-6 dan Gambar 4-7.

Tabel 4-6 Hasil Uji Aus Cakram

Tabel Keausan							
No	Sampel	Berat setelah pengujian			Total Massa Aus (gram)	Rata-rata massa aus	Standar deviasi massa aus
		1 (gram)	2 (gram)	3 (gram)			
1	Ori (OB)	0,0017	0,0013	0,00067	0,0037	0,0012	0,0004
3	Bekas (SB)	0,0027	0,0013	0,00100	0,0050	0,0017	0,0007
3	Bubut (B)	0,0040	0,0013	0,00100	0,0063	0,0021	0,0013



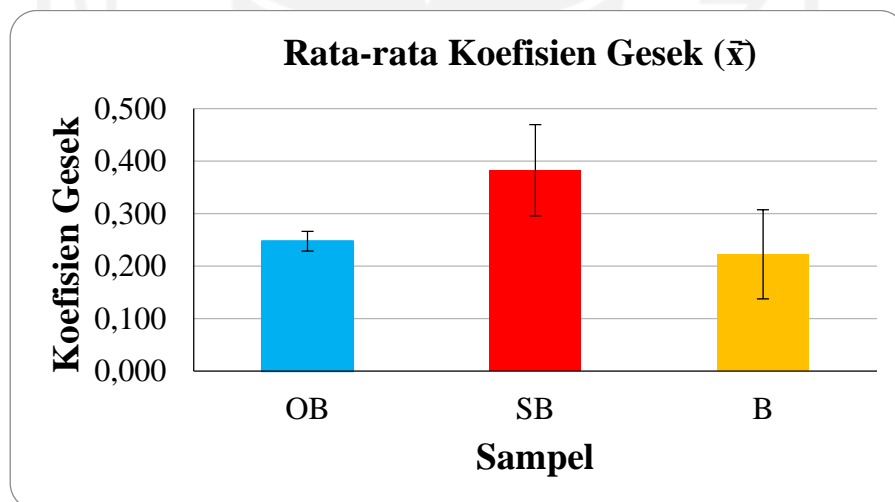
Gambar 4-7 Grafik Hasil Uji Rata-rata Aus Kampas

Berdasarkan pengujian aus yang telah dilakukan menggunakan cakram dan kampas rem, didapat hasil rata-rata aus produk OB sebesar $0,0012 \pm 0,0004$ gram, produk SB sebesar $0,0017 \pm 0,0007$ gram, dan produk B sebesar $0,0021 \pm 0,0013$ gram. Sedangkan untuk total massa aus didapat hasil total massa aus produk OB sebesar 0,0037 gram, produk SB sebesar 0,0050 gram, dan produk B sebesar 0,0063 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 orisinal bekas hasil bubut. Sedangkan untuk rata-rata massa aus dan total massa aus terkecil adalah produk Cakram baru orisinal. Kemudian hasil koefisien gesek pada tabel 4-7 dan gambar 4-8.

Tabel 4-7 Hasil Uji Koefisien Gesek Cakram

Tabel Koefisien gesek (Steady state)				
No	Sampel	Koefisien Gesek μ	Rata-rata (\bar{x})	Standar Deviasi (S)
1	OB	OB1	0,260	0,247
2		OB2	0,261	
3		OB3	0,221	
7	SB	SB1	0,270	0,383
8		SB2	0,398	
9		SB3	0,481	
10	B	B1	0,213	0,222
11		B2	0,331	
12		B3	0,123	

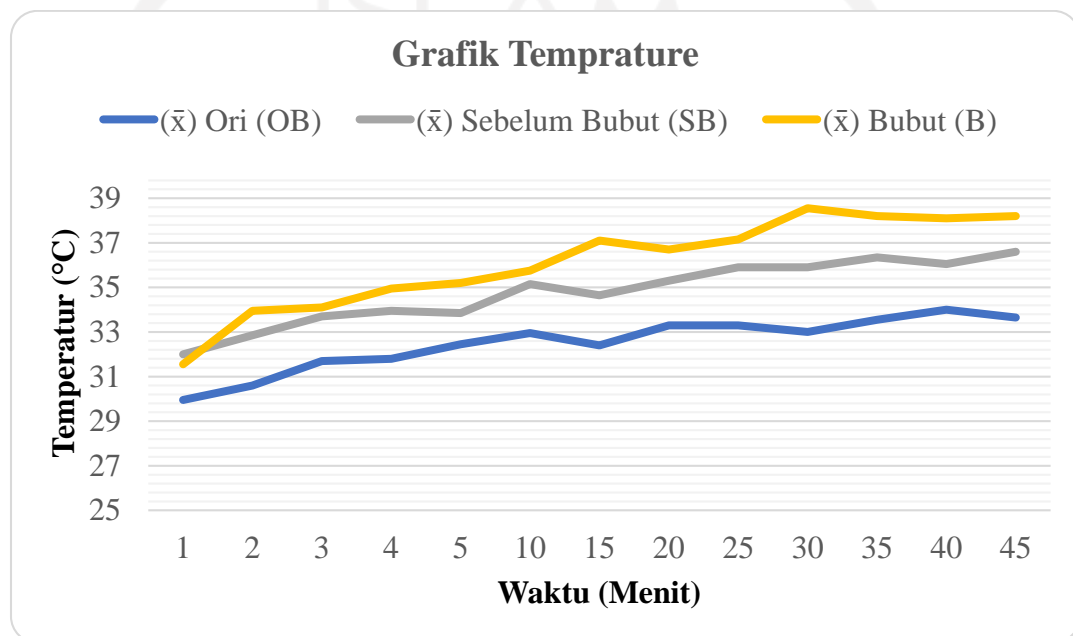


Gambar 4-8 Grafik Hasil Uji Koefisien Gesek Cakram

Berdasarkan pengujian koefisien gesek yang telah dilakukan menggunakan cakram dan kampas rem pada gambar 4-13, didapat hasil rata-rata koefisien gesek produk OB sebesar $0,247 \pm 0,019$, produk SB sebesar $0,383 \pm 0,087$, dan produk B sebesar $0,222 \pm 0,085$. Dari hasil pengujian rata-rata koefisien gesek diatas, maka dapat disimpulkan bahwa untuk rata-rata koefisien gesek terbesar adalah produk

cakram orisinal bekas sebelum bubut. Sedangkan untuk rata-rata massa aus dan total massa aus terkecil adalah produk cakram orisinal bekas hasil bubut.

Kemudian selain aus dan koefisien gesek, kemudian menguji 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 pada gambar 4-9.



Gambar 4-9 Grafik Hasil Uji Suhu Cakram

Berdasarkan pengujian suhu yang telah dilakukan menggunakan alat *Thermal Imager* pada cakram dan kampas rem, didapat hasil untuk perjalanan suhu dari proses *running* sampai dengan selesai dengan hasil terendah ada pada cakram orisinal (OB), kemudian sebelum bubut (SB) dan yang terakhir yakni sesudah bubut (B) memiliki perjalanan suhu yang paling tinggi dalam *celcius*. Hasil ini berdasarkan rata-rata pengujian suhu sebanyak dua kali pengambilan pada pengujian *pin on disk tribometer*.

4.1.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik D-III Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Untuk sampel pengujian ini

menggunakan sampel yang sama. Pengujian ini dilakukan menggunakan alat *Universal Hardness Tester*. Dengan pengujian kekerasan *Brinell*, pembebanan 187,5 Kgf. Pengujian ini dilakukan dalam 3 kali pengulangan agar hasil yang didapat memiliki nilai keakuratan yang tinggi.

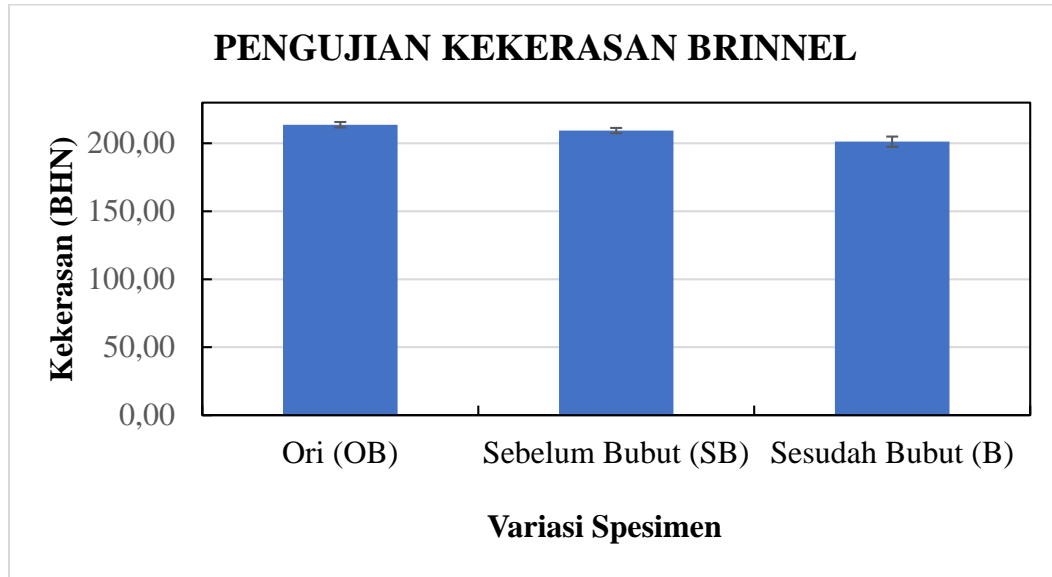
Berikut ini merupakan hasil pengujian kekerasan yang telah dilakukan. Adapun spesimen hasil untuk pengujian kekerasan dapat dilihat pada Gambar 4-10, dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4-8 dan Gambar 4-11.



Gambar 4-10 Spesimen Hasil untuk Pengujian Kekerasan

Tabel 4-8 Hasil Uji Kekerasan *Brinell*

Variasi Spesimen	Titik Uji	Diameter (mm)	Kekerasan Brinell (BHN)	Kekerasan Rata-rata (BHN)	Standar Deviasi
Ori (OB)	1	1,03	215,14	213,70	2,0
	2	1,04	210,83		
	3	1,03	215,14		
Sebelum Bubut (SB)	1	1,04	210,83	209,43	2,0
	2	1,05	206,63		
	3	1,04	210,83		
Sesudah Bubut (B)	1	1,07	198,59	201,27	3,8
	2	1,07	198,59		
	3	1,05	206,63		



Gambar 4-11 Grafik Hasil Pengujian Kekerasan *Brinnell*

Dari hasil pengujian kekerasan yang telah dilakukan terhadap ketiga produk cakram, produk yang paling keras adalah produk OB dengan nilai kekerasan rata-rata $213,70 \pm 2,0$ BHN, kedua adalah produk SB dengan nilai kekerasan $209,43 \pm 2,0$ BHN, dan produk yang paling lunak adalah produk B dengan nilai kekerasan $201,27 \pm 3,8$ BHN.

4.2 Hasil Pengujian Setelah Perlakuan Amplas

Proses pengamplasan dilakukan sebelum perlakuan pengerasan induksi. Proses ini menggunakan kertas amplas berurutan dari kasar sampai halus (220-600-1000). Durasi masing-masing grit amplas 10 menit dengan kecepatan mesin 300 rpm. Dilakukan untuk kedua permukaan spesimen setelah bubut. Pada perlakuan ini ingin mengurangi kekasaran. Dikarenakan pada pengujian sebelum perlakuan kekasaran pada spesimen bubut terlalu tinggi. Berikut merupakan hasil pengujian pasca perlakuan amplas.

4.2.1 Pengujian Kekasaran

Pengujian kekasaran dilakukan dengan menggunakan *stylush probe* dengan nama *surfcom touch* dengan spesimen pengujian yang berbentuk tabung berukuran, tinggi 9,71 mm dan diameter 35 mm. Pengujian kekasaran dilakukan pada bagian

permukaan cakram atau bagian luar dan dalam yang bersentuhan secara langsung dengan kampas rem. Berikut ini merupakan hasil pengujian kekasaran terhadap produk cakram orisinal bekas hasil bubut yang sudah di amplas pada Tabel 4- 9 dan Tabel 4- 10.

Tabel 4-9 Hasil Uji Kekasaran Permukaan Luar Cakram Orisinal Bekas Hasil Bubut Perlakuan Pengamplasan

Pengujian kekasaran permukaan Luar cakram										
Benda	Ra (μm)			\bar{x} (μm)	σ/s	Rq (μm)			\bar{x} (μm)	σ/s
	1	2	3			1	2	3		
B1	0,981	0,384	1,123	0,829	0,320	1,683	0,753	2,075	1,504	0,554
B2	0,905	0,725	0,659	0,763	0,104	1,510	1,114	1,039	1,221	0,207
B3	0,699	0,532	0,702	0,644	0,079	1,156	0,766	1,149	1,024	0,182
B4	0,852	0,955	0,786	0,864	0,070	1,480	1,759	1,457	1,565	0,137
B5	0,562	0,589	0,485	0,545	0,044	1,127	1,258	0,973	1,119	0,116
B6	0,969	0,667	0,787	0,808	0,124	1,508	1,338	1,417	1,421	0,069
Kekasaran rata-rata Ra bubut 1-6				0,742	0,112	Kekasaran rata-rata Rq			1,309	0,201

Tabel 4-10 Hasil Uji Kekasaran Permukaan Dalam Cakram Orisinal Bekas Hasil Bubut Perlakuan Pengamplasan

Pengujian kekasaran permukaan Dalam cakram										
Benda	Ra (μm)			\bar{x} (μm)	σ/s	Rq (μm)			\bar{x} (μm)	σ/s
	1	2	3			1	2	3		
B1	0,479	0,337	0,942	0,586	0,258	0,981	0,531	1,757	1,090	0,506
B2	0,708	0,564	0,604	0,625	0,061	1,084	0,900	0,904	0,963	0,086
B3	0,813	0,708	0,736	0,752	0,044	1,027	0,759	1,215	1,000	0,187
B4	0,561	0,477	0,510	0,516	0,035	0,961	0,983	1,022	0,989	0,025
B5	0,497	0,459	0,655	0,537	0,085	0,862	0,807	1,270	0,980	0,207
B6	0,847	0,462	0,522	0,610	0,169	1,369	0,896	0,891	1,052	0,224
Kekasaran rata-rata Ra bubut 1-6				0,605	0,0764	Kekasaran rata-rata Rq			1,012	0,044

Pada perlakuan ini berusaha untuk mengoptimalkan kekasaran pada spesimen bubut. Dengan target mendekati kekasaran cakram orisinal yakni Ra $0,535 \pm 0,041 \mu\text{m}$ untuk permukaan luar dan Rq $0,666 \pm 0,054 \mu\text{m}$. Kemudian untuk kekasaran permukaan dalam yakni Ra $0,656 \pm 0,028 \mu\text{m}$ dan Rq $0,831 \pm 0,036 \mu\text{m}$. Pada rata-rata spesimen bubut 1-6 untuk permukaan luar yakni Ra $0,742 \pm 0,112 \mu\text{m}$ dan Rq $1,309 \pm 0,201 \mu\text{m}$. Kemudian rata-rata spesimen bubut 1-6 untuk permukaan dalam yakni Ra $0,605 \pm 0,076 \mu\text{m}$ dan Rq $1,012 \pm 0,044 \mu\text{m}$. Kekasaran pada perlakuan amplas telah mendekati kekasaran cakram orisinal, baik pada permukaan luar maupun permukaan dalam.

4.2.2 Pengujian Aus, Koefisien Gesek, dan Suhu

Pada pengujian ini dilakukan dalam tiga kali pengujian dengan sampel acak pada hasil cakram setelah perlakuan amplas. Berikut ini merupakan hasil pengujian aus pada *pin on disc* yang dapat dilihat pada Tabel 4-11.

Tabel 4-11 Hasil Uji Aus Cakram Orisinal Bekas Hasil Bubut Perlakuan Pengamplasan

Tabel Keausan						
Sampel	Berat setelah pengujian			Total Massa Aus (gram)	Rata-rata massa aus	Standar deviasi massa aus
	1 (gram)	2 (gram)	3 (gram)			
B1-B6	0,0013	0,0007	0,00033	0,0023	0,0008	0,0004

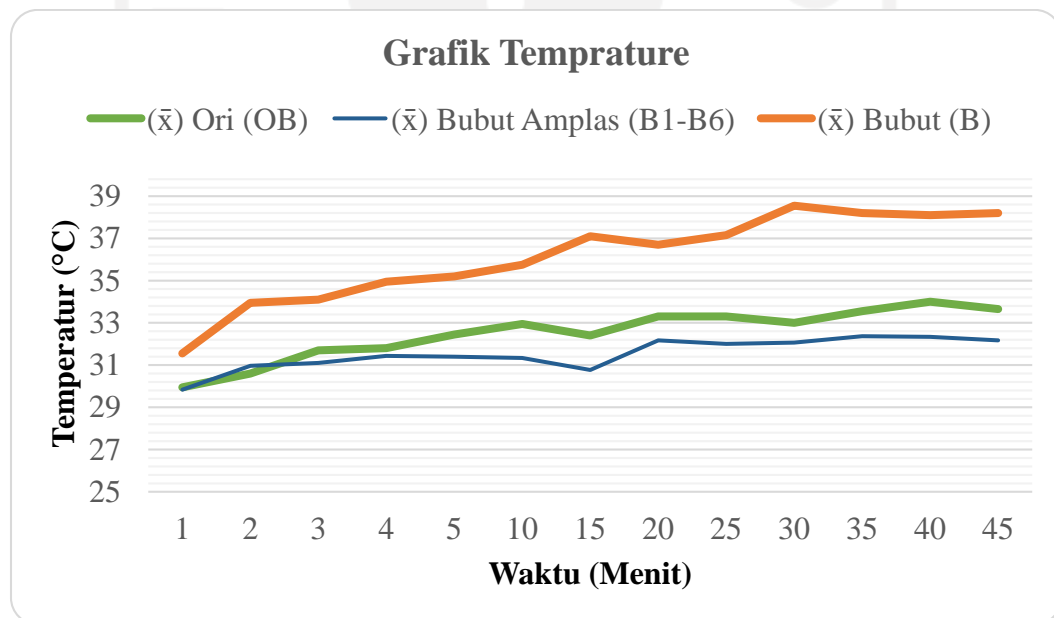
Berdasarkan pengujian aus yang telah dilakukan menggunakan cakram dan kampas rem, didapat hasil rata-rata aus produk cakram orisinal bekas hasil bubut dengan perlakuan amplas sebesar $0,0008 \pm 0,0004$ gram. Mendekati produk cakram orisinal (OB) $0,0012 \pm 0,0004$ gram. Sedangkan untuk total massa aus didapat hasil total massa aus produk cakram orisinal bekas hasil bubut dengan perlakuan amplas sebesar 0,0023 gram. Mendekati produk orisinal (OB) sebesar 0,0037 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 hasil perlakuan amplas sudah mendekati cakram baru orisinal.

Tabel 4-12 Hasil Uji Koefisien Gesek Cakram Orisinal Bekas Hasil Bubut Perlakuan Pengamplasan

Tabel Koefisien gesek (Steady state)					
No	Sampel		Koefisien Gesek μ	Rata-rata (\bar{x})	Standar Deviasi (S)
1	B1-B6	1	0,347	0,231	0,082
2		2	0,173		
3		3	0,173		

Berdasarkan pengujian koefisien gesek yang telah dilakukan menggunakan cakram dan kampas rem, didapat hasil rata-rata koefisien gesek pada cakram orisinal bekas hasil bubut dengan perlakuan amplas mendapat hasil $0,231 \pm 0,082$ mendekati produk cakram orisinal (OB) sebesar $0,247 \pm 0,019$ yang sebelumnya sebesar $0,222 \pm 0,085$. Dari hasil pengujian rata-rata koefisien gesek diatas, maka dapat disimpulkan bahwa untuk rata-rata koefisien gesek berhasil mendekati produk cakram orisinal (OB)

Kemudian selain aus dan koefisien gesek, kemudian menguji 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 pada gambar 4-12.



Gambar 4-12 Grafik Hasil Pengujian Suhu Pasca Perlakuan Pengamplasan

Berdasarkan pengujian suhu yang telah dilakukan menggunakan alat *Thermal Imager* pada cakram dan kampas rem, didapat hasil untuk perjalanan suhu dari proses *running* sampai dengan selesai dengan hasil terendah ada pada cakram orisinal bekas hasil bubut dengan perlakuan amplas, kemudian cakram orisinal (OB) memiliki perjalanan suhu yang paling tinggi dalam *celcius*. Hasil ini berdasarkan rata-rata pengujian suhu sebanyak dua kali pengambilan pada

pengujian *pin on disk tribometer*. Dengan ini suhu pada hasil perlakuan amplas menjadi lebih rendah (positif).

4.2.3 Pengujian Spektrometri dan Metalografi

Pengujian spektrometri dilakukan di Laboratorium *Quality Control* CV Karya Hidup Sentosa (Quick) Yogyakarta. Untuk sampel pengujian ini menggunakan sampel yang sama. Pengujian ini dilakukan menggunakan alat Thermo ARL 3560 OES Program FE-LOW. Unsur C pada hasil berdasarkan kalibrasi program alat CV Karya Hidup Sentosa. Pengujian ini dilakukan dalam 3 kali pengulangan agar hasil yang didapat memiliki nilai keakuratan yang tinggi. Berikut merupakan hasil komposisi spesimen bubuk pada tabel 4- 13.

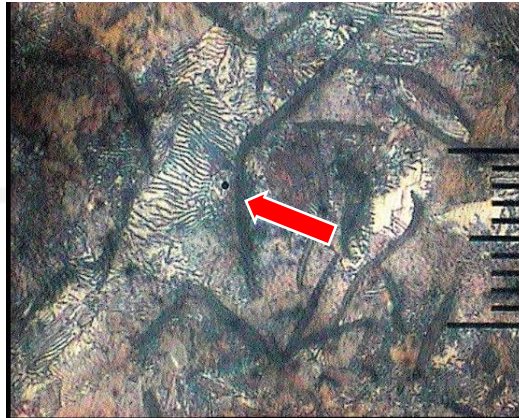
Tabel 4-13 Hasil Uji Spektrometri Cakram Orisinal Bekas Hasil Bubut

Bubut							
Unsur	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr
(%)	>6,1760	2,2779	0,0602	0,0102	0,7004	0,0146	0,0273
Unsur	Mo	Cu	W	Ti	Sn	Al	Pb
(%)	0,0033	>0,8223	0	0,0091	0,0697	0,0062	0,0011
Unsur	Ca	Zn	Fe				
(%)	0,0026	0	90,89				

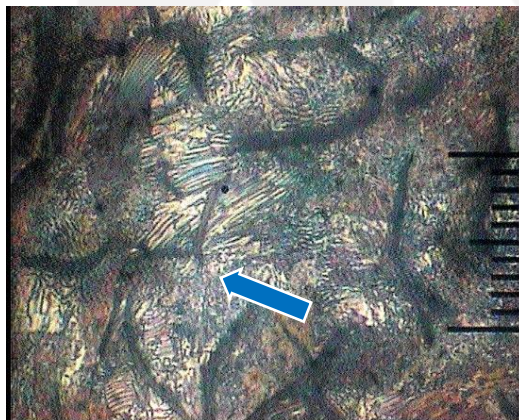
Berdasarkan pengujian spektrometri yang telah dilakukan menggunakan alat *Thermo ARL 3560 OES*. Pengujian ini pada permukaan cakram, didapat hasilnya adalah sampel merupakan *Cast Iron*. Kadar besi pada spesimen ini adalah 90.89% kemudian dengan karbon >6.17%. Kemudian terdapat catatan bahwa unsur carbon sudah menjadi grafit, sehingga hasil pengujian tidak maksimal.

Pengujian metalografi dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik D-III Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, untuk sampel pengujian ini menggunakan sampel yang sama. Pengujian ini dilakukan menggunakan alat mikroskop Sony Olympus PME3, dengan pembesaran sebesar 200 X. Pengujian ini dilakukan dalam 3 titik berbeda agar hasil yang didapat memiliki nilai keakuratan yang tinggi. Detailnya untuk menentukan struktur penyusun spesimen

cakram (*Raw Material*) pada gambar di bawah ini dengan panah merah (ferit) dan biru (Perlit) pada gambar 4-13 sampai 4-15.



Gambar 4-13 *Raw Material* Spesimen Bubut Sebelum Perlakuan (Titik 1)



Gambar 4-14 *Raw Material* Spesimen Bubut Sebelum Perlakuan (Titik 2)



Gambar 4-15 *Raw Material* Spesimen Bubut Sebelum Perlakuan (Titik 3)

4.3 Hasil Pengujian Setelah Perlakuan Pengerasan Induksi

Proses pengerasan induksi dilakukan setelah perlakuan pengamplasan. Proses ini menggunakan mesin pemanasan induksi. Pengerasan ini memiliki parameter arus dan waktu untuk setiap proses perlakuannya. Dilakukan untuk kedua permukaan spesimen setelah bubut. Dengan parameter dan hasil suhu pada tabel 4- 14.

Tabel 4-14 Parameter arus (Ampere) dan waktu (Detik) dengan hasil dalam Suhu (°C)

Parameter		Spesimen	
Arus (Ampere)	Waktu (Detik)	Bubut	Suhu (°C)
1200	15	B1'	773
	20	B2'	864
1000	15	B3'	626
	20	B4'	657
800	15	B5'	494
	20	B6'	632

4.3.1 Pengujian Kekasaran

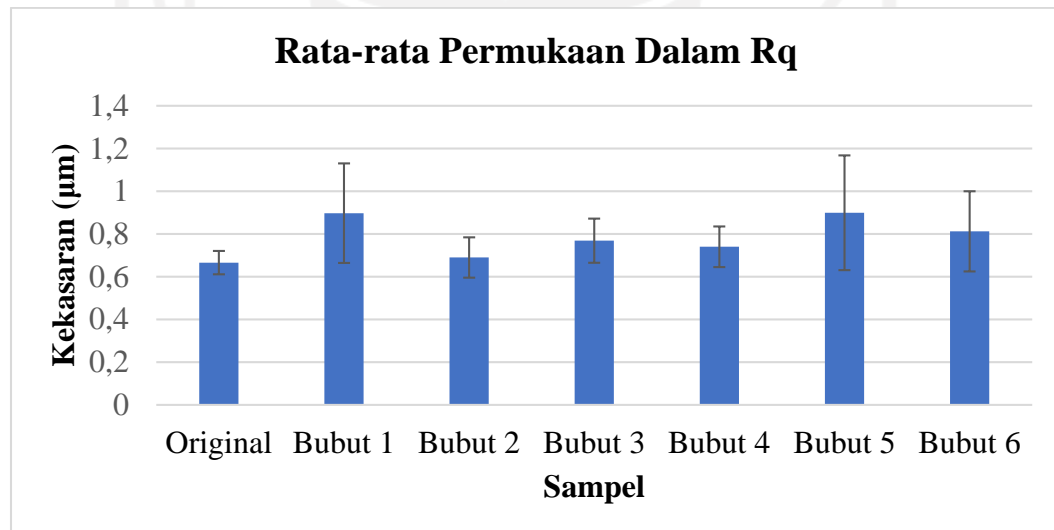
Pengujian kekasaran dilakukan dengan menggunakan *stylush probe* dengan nama *surfcom touch* dengan spesimen pengujian yang berbentuk tabung berukuran, tinggi 9,71 mm dan diameter 35 mm. Pengujian kekasaran dilakukan pada bagian permukaan cakram dalam yang bersentuhan secara langsung dengan kampas rem. Bagian dalam dipilih dikarenakan pada bagian luar tidak diampelas untuk menjaga kekerasan hasil induksi dan akan di uji kekerasan menggunakan *universal hardness tester*.

Berikut ini merupakan hasil pengujian kekasaran terhadap enam produk cakram orisinal bekas hasil bubut setelah perlakuan pengerasan induksi pada Tabel 4-15.

Tabel 4-15 Hasil Uji Kekasaran Cakram Orisinal Bekas Hasil Bubut dengan Perlakuan Pengerasan Induksi

Pengujian kekasaran permukaan dalam cakram										
Benda	Ra (μm)			\bar{x} (μm)	σ/s	Rq (μm)			\bar{x} (μm)	σ/s
	1	2	3			1	2	3		
Orisinal	0,478	0,551	0,575	0,535	0,041	0,589	0,695	0,714	0,666	0,055
Bubut 1	0,355	0,523	0,536	0,471	0,082	0,586	0,959	1,147	0,897	0,233
Bubut 2	0,387	0,453	0,545	0,462	0,065	0,611	0,637	0,823	0,690	0,094
Bubut 3	0,626	0,416	0,432	0,491	0,095	0,901	0,648	0,757	0,769	0,104
Bubut 4	0,436	0,467	0,348	0,417	0,050	0,791	0,823	0,607	0,740	0,095
Bubut 5	0,487	0,361	0,782	0,543	0,176	0,799	0,632	1,267	0,899	0,269
Bubut 6	0,306	0,559	0,629	0,498	0,139	0,547	0,943	0,947	0,812	0,188
Kekasaran rata-rata Ra bubut 1-6				0,480	0,0384	Kekasaran rata-rata Rq			0,801	0,0775

Berdasarkan tabel 4-15 dapat disimpulkan dalam untuk keseluruhan hasil dari uji kekasaran pada spesimen cakram hasil bubut setelah perlakuan pengerasan induksi mendekati produk cakram orisinal. Spesimen yang paling kasar jika berdasarkan hasil Rq yakni bubut 5, bubut 1, bubut 6, bubut 3, bubut 4, bubut 2 dan yang paling halus adalah yang orisinal. Berikut merupakan grafik kekasaran permukaan dengan Rq pada gambar 4-16.



Gambar 4-16 Rata-rata Rq Permukaan Dalam Cakram Orisinal Hasil Bubut Perlakuan Pengerasan Induksi

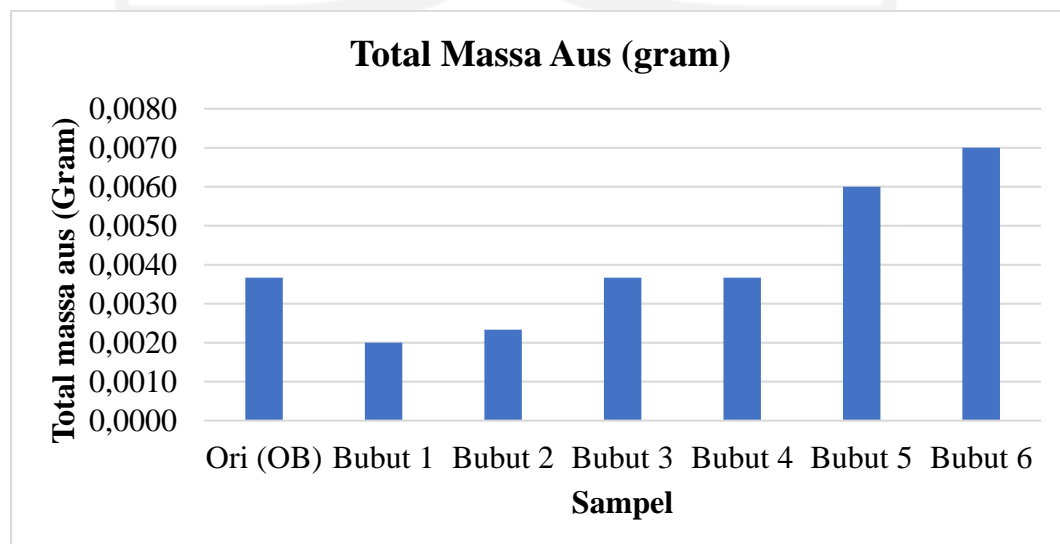
4.3.2 Pengujian Aus, Koefisien Gesek, dan Suhu

Pengujian aus dan koefisien gesek pada penelitian ini menggunakan alat *pin on disc tribometer*. Output pada pengujian ini berupa massa aus dan koefisien

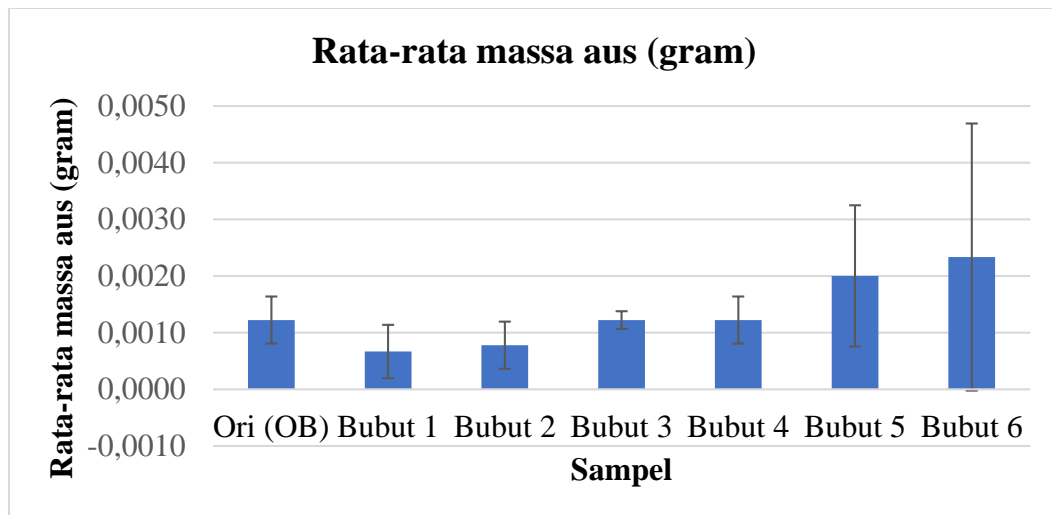
gesek. Pin yang digunakan dalam pengujian ini adalah spesimen yang dibentuk dari produk kampas orisinal Toyota, sedangkan untuk *disc* yang digunakan adalah spesimen cakram yang sudah disiapkan dan sudah diberi perlakuan pengerasan induksi. Spesimen yang digunakan menggunakan spesimen yang sama saat digunakan pada perlakuan kekasaran amplas. Berikut merupakan hasil dari pengujian aus pada tabel 4-16 dan gambar 4-17 sampai 4-18.

Tabel 4-16 Hasil Uji Aus Cakram Orisinal Bekas Hasil Bubut dengan Perlakuan Pengerasan Induksi

Tabel Keausan						
Sampel	Berat setelah pengujian			Total Massa Aus (gram)	Rata-rata massa aus	Standar deviasi massa aus
	1 (gram)	2 (gram)	3 (gram)			
Ori (OB)	0,0017	0,0013	0,00067	0,0037	0,0012	0,0004
Bubut 1	0,0013	0,0003	0,00033	0,0020	0,0007	0,0005
Bubut 2	0,0003	0,0007	0,0013	0,0023	0,0008	0,0004
Bubut 3	0,0010	0,0013	0,00133	0,0037	0,0012	0,0002
Bubut 4	0,0013	0,0017	0,0007	0,0037	0,0012	0,0004
Bubut 5	0,0017	0,0037	0,00067	0,0060	0,0020	0,0012
Bubut 6	0,0007	0,0057	0,0007	0,0070	0,0023	0,0024



Gambar 4-17 Total massa Aus (gram) Cakram Orisinal Bekas Hasil Bubut dengan Perlakuan Pengerasan Induksi

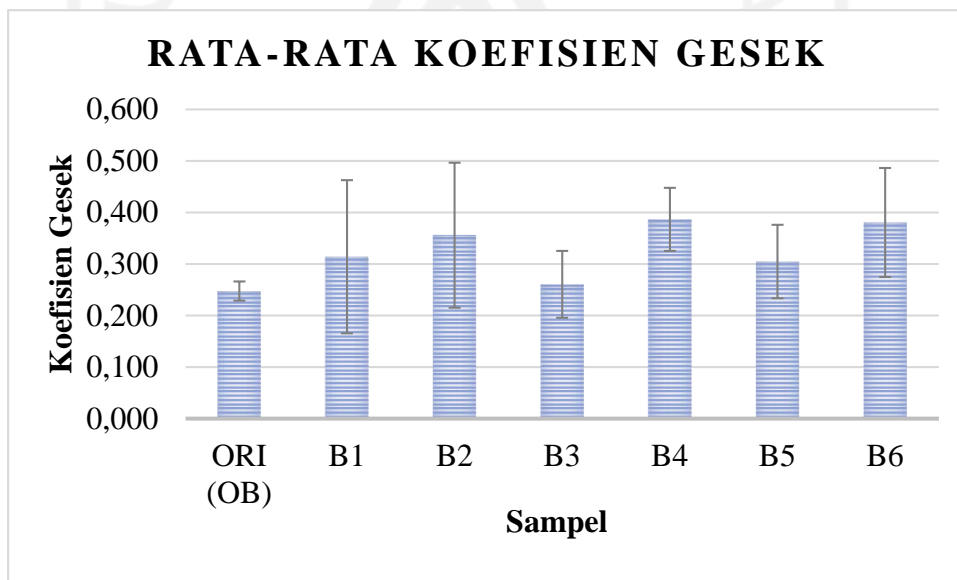


Gambar 4-18 Rata-rata Massa Aus Cakram Orisinal Bekas Hasil Bubut dengan Perlakuan Pengerasan Induksi

Berdasarkan pengujian aus yang telah dilakukan menggunakan cakram dan kampas rem, didapat hasil rata-rata aus produk OB sebesar $0,0012 \pm 0,0004$ gram, produk bubut 1 sebesar $0,0007 \pm 0,0005$ gram, produk bubut 2 sebesar $0,0008 \pm 0,0004$ gram, produk bubut 3 sebesar $0,0012 \pm 0,0002$ gram, dan produk bubut 4 sebesar $0,0012 \pm 0,0004$ gram, produk bubut 5 sebesar $0,0020 \pm 0,0012$ gram, dan produk bubut 6 sebesar $0,0023 \pm 0,0024$ gram. Sedangkan untuk total massa aus didapat hasil total massa aus produk OB sebesar 0,0037 gram, produk bubut 1 sebesar 0,0037 gram, produk bubut 2 sebesar 0,0023 gram, produk bubut 3 sebesar 0,0037 gram, produk bubut 4 sebesar 0,0037 gram, produk bubut 5 sebesar 0,0060 gram, dan produk bubut 6 sebesar 0,0070 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 jika dibandingkan dengan orisinal adalah produk cakram orisinal bekas hasil bubut 6. Sedangkan untuk rata-rata massa aus dan total massa aus terkecil jika dibandingkan dengan orisinal adalah produk cakram orisinal bekas hasil bubut 6. Dibawah ini terdapat hasil koefisien gesek pada tabel 4-17 dan gambar 4-19.

Tabel 4-17 Hasil Uji Koefisien Gesek Cakram dengan Perlakuan Pengerasan Induksi

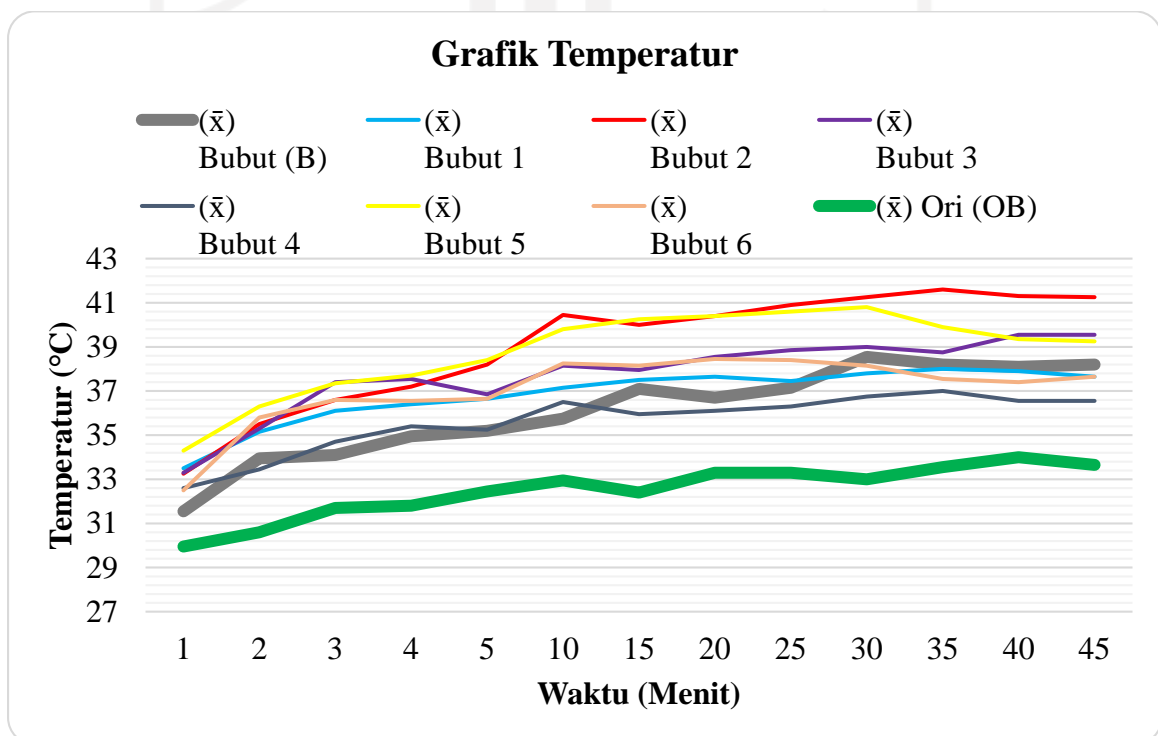
Tabel Koefisien gesek (Steady state)					
No	Sampel		Koefisien Gesek μ	Rata-rata (\bar{x})	Standar Deviasi (σ/s)
1	ORI	A1	0,260	0,247	0,019
2		A2	0,261		
3		A3	0,221		
4	B1	1	0,495	0,314	0,149
5		2	0,131		
6		3	0,317		
7	B2	1	0,217	0,356	0,141
8		2	0,302		
9		3	0,549		
10	B3	1	0,304	0,261	0,065
11		2	0,169		
12		3	0,309		
13	B4	1	0,473	0,387	0,061
14		2	0,347		
15		3	0,340		
16	B5	1	0,218	0,305	0,071
17		2	0,393		
18		3	0,304		
19	B6	1	0,260	0,381	0,106
20		2	0,364		
21		3	0,518		



Gambar 4-19 Grafik Hasil Uji Koefisien Gesek Cakram dengan Perlakuan Pengerasan Induksi

Berdasarkan pengujian koefisien gesek yang telah dilakukan menggunakan cakram dan kampas rem, didapat hasil rata-rata koefisien gesek produk OB sebesar $0,247 \pm 0,019$, produk bubuk 1 sebesar $0,314 \pm 0,149$, produk bubuk 2 sebesar $0,356 \pm 0,141$, produk bubuk 3 sebesar $0,261 \pm 0,065$, produk bubuk 4 sebesar $0,387 \pm 0,061$, produk bubuk 5 sebesar $0,305 \pm 0,071$, produk bubuk 6 sebesar $0,381 \pm 0,106$. Dari hasil pengujian rata-rata koefisien gesek diatas, maka dapat disimpulkan bahwa untuk rata-rata koefisien gesek terbesar jika dibandingkan dengan produk orisinal adalah produk cakram orisinal bekas hasil bubuk 4. Sedangkan untuk rata-rata massa aus dan total massa aus terkecil jika dibandingkan dengan produk orisinal adalah produk cakram orisinal bekas hasil bubuk 3.

Kemudian selain aus dan koefisien gesek, kemudian menguji 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 pada gambar 4-20.



Gambar 4-20 Grafik Hasil Uji Suhu Cakram dengan Perlakuan Pengerasan Induksi

Berdasarkan pengujian suhu yang telah dilakukan menggunakan alat *Thermal Imager* pada cakram dan kampas rem, didapat hasil untuk perjalanan suhu dari proses running sampai dengan selesai. Didapat bahwa keseluruhan suhu pada B1'-B6' mengalami kenaikan dan semuanya diatas suhu spesimen Orisinal baru (OB). Namun pada B4' perjalan suhunya hampir selaras dengan spesimen bubuk (B) sebelum perlakuan. Hasil ini berdasarkan rata-rata pengujian suhu sebanyak dua kali pengambilan pada pengujian *pin on disk tribometer* dengan satuan derajat *celcius*.

4.3.3 Pengujian Kekerasan

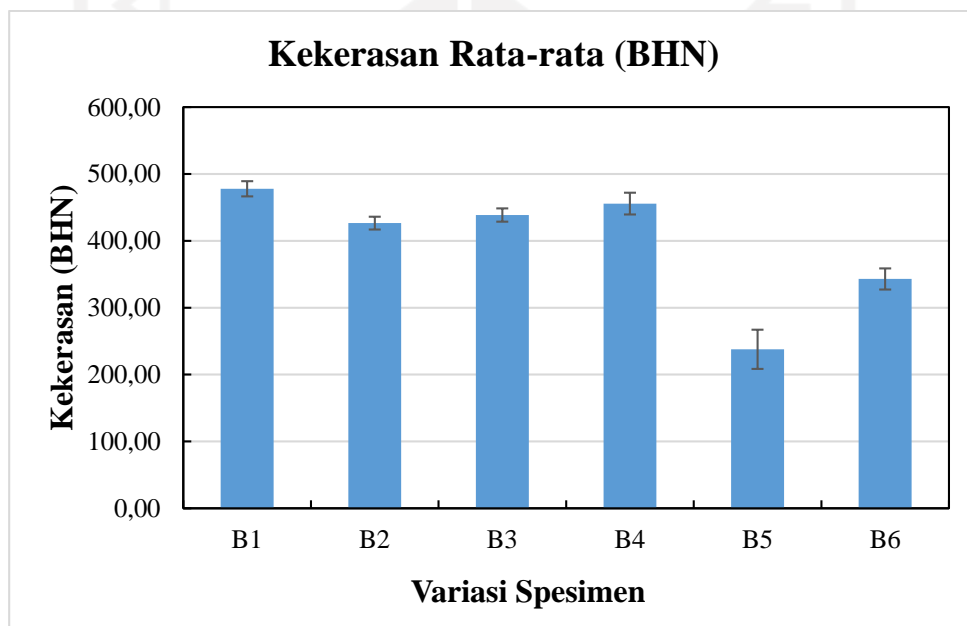
Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik D-III Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Untuk sampel pengujian ini menggunakan sampel yang sama. Pengujian ini dilakukan menggunakan alat *Universal Hardness Tester*. Dengan pengujian kekerasan *Brinell*, pembebanan 187,5 Kgf. Pengujian ini dilakukan dalam 3 titik uji berbeda agar hasil yang didapat memiliki nilai keakuratan yang tinggi.

Berikut ini merupakan hasil pengujian kekerasan yang telah dilakukan. dapat dilihat pada Tabel 4- 18 dan grafik bisa dilihat pada gambar 4-21.

Tabel 4-18 Hasil Uji Kekerasan Cakram dengan Perlakuan Pengerasan Induksi

No	Variasi Spesimen	Titik Uji	Diameter (mm)	Kekerasan Brinell (BHN)	Kekerasan Rata-rata (BHN)	Standar Deviasi
1	B1'	1	0,69	491,9	477,91	11,38
		2	0,71	464,1		
		3	0,70	477,7		
2	B2'	1	0,75	414,8	426,57	9,63
		2	0,74	426,4		
		3	0,73	438,4		
3	B3'	1	0,72	451,0	438,62	10,04

		2	0,73	438,4		
		3	0,74	426,4		
4	B4'	4	0,70	477,7	455,71	16,37
		5	0,72	451,0		
		6	0,73	438,4		
5	B5'	1	1,04	210,8	237,85	29,29
		2	1,01	224,2		
		3	0,91	278,5		
6	B6'	4	0,81	354,2	343,07	15,79
		5	0,81	354,2		
		6	0,85	320,7		



Gambar 4-21 Grafik Hasil Uji Kekerasan Cakram dengan Perlakuan Pengerasan Induksi

Dari hasil pengujian kekerasan yang telah dilakukan terhadap keenam produk cakram, produk yang paling keras adalah produk B1' dengan nilai kekerasan rata-rata $477,91 \pm 11,38$ BHN, kedua adalah produk B4' dengan nilai kekerasan rata-rata $455,71 \pm 16,37$ BHN, kemudian disusul dengan produk B3 yakni $438,62 \pm 10,04$ BHN, B2' yakni $426,57 \pm 09,63$ BHN, B5' yakni $343,07 \pm 15,79$ BHN dan produk yang paling lunak adalah produk B5' dengan nilai kekerasan rata-rata $237,85 \pm 29,29$ BHN.

4.3.4 Pengujian Metalografi

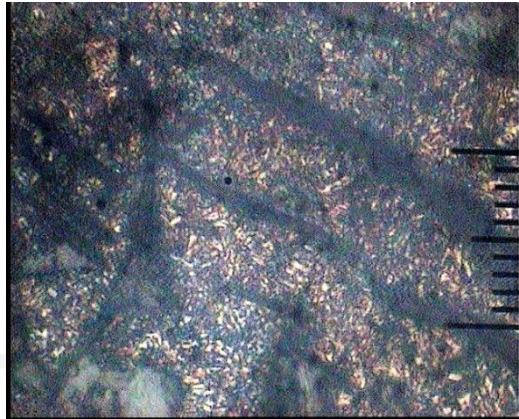
Pengujian metalografi setelah perlakuan dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik D-III Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Untuk sampel pengujian ini menggunakan sampel yang sama. Pengujian ini dilakukan menggunakan alat mikroskop Sony Olympus PME3. Dengan pembesaran sebesar 200 kali. Pengujian ini dilakukan dalam 3 titik berbeda agar hasil yang didapat memiliki nilai keakuratan yang tinggi. Detailnya untuk menentukan struktur penyusun spesimen cakram. Hasil dari pengujian metalografi spesimen cakram orisinal bekas hasil bubut dengan perlakuan pengerasan induksi terhadap spesimen paling keras pada gambar 4- 22 sampai dengan 4- 24.



Gambar 4-22 Struktur Mikro B1' (keras) Setelah Induksi (Titik 1)



Gambar 4-23 Struktur Mikro B1' (keras) Setelah Induksi (Titik 2)



Gambar 4-24 Struktur Mikro B1' (keras) Setelah Induksi (Titik 3)

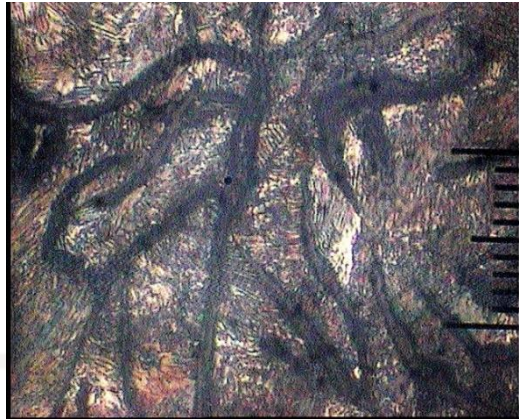
Hasil dari pengujian metalografi spesimen cakram orisinal bekas hasil bubut dengan perlakuan pengerasan induksi terhadap spesimen paling lunak pada gambar 4- 25 sampai dengan 4- 27.



Gambar 4-25 Struktur Mikro B5' (lunak) Setelah Induksi (Titik 1)



Gambar 4-26 Struktur Mikro B5' (lunak) Setelah Induksi (Titik 2)



Gambar 4-27 Struktur Mikro B5' (lunak) Setelah Induksi (Titik 3)

4.4 Analisis dan Pembahasan

Pada sub bab analisis dan pembahasan membahas tiga tahapan hasil pengujian yakni pada tahap sebelum perlakuan dan hasil yang didapat, setelah perlakuan amplas dan hasil yang didapat, dan setelah perlakuan pengerasan induksi.

4.4.1 Sebelum Perlakuan

Pada tahapan sebelum perlakuan melakukan beberapa pengujian terhadap produk cakram orisinal baru (OB), cakram orisinal bekas sebelum bubut (SB), dan cakram orisinal bekas hasil bubut (B). Pengujian yang dilakukan adalah kekasaran, aus, koefisien gesek, suhu dan kekerasan. Pada saat pengujian sempat mengalami kendala pada (SB), dikarenakan permukaan produk yang tidak rata mengakibatkan gangguan pada uji tribometer yang membuat kampas sering memantul dan hasil pengujian kurang akurat. Hal ini juga terjadi di kondisi normal pengereman mobil, permukaan cakram yang tidak rata akan mengganggu kinerja pengereman. Sehingga untuk mengantisipasi hal tersebut maka mengurangi *weartrack* saat pengujian *pin on disc tribometer* yang awalnya 28 mm menjadi 24 mm. Kemudian kendala kedua yakni pada saat pembuatan pin pada pengujian *pin on disc tribometer*. 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 performa pada suhu sekitar 350 - 400°C [34]. Suhu pada cakram dan kampas ketika pengereman, saat kecepatan 80 km/jam adalah 200 - 250°C [35]. Pada pengujian ini hanya berkisar 29 - 42°C, namun hal tersebut bukan merupakan kesalahan dikarenakan yang digunakan saat pengujian yakni spesimen dengan luas penampang tertentu dan konversi gaya tertentu dengan metode pengujian *pin on disc tribometer* bukan pengereman. Jadi suhu penelitian ini adalah suhu asli berdasarkan hasil yang didapat dari pengujian *pin on disc tribometer*.

Pada bagian ini produk yang memiliki hasil paling positif dengan massa aus rendah dan koefisien gesek yang tinggi adalah (OB). Hal ini dikarenakan (OB) memiliki kekerasan yang paling tinggi daripada produk lain. Sehingga memiliki *real contact area* pada permukaan yang bersentuhan dengan kampas kecil. Maka aus yang dihasilkan juga kecil. Kemudian produk ini memiliki kekasaran yang cukup sehingga menghasilkan koefisien gesek yang cukup juga, pada produk ini memiliki koefisien gesek yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan (B). Lalu semasa pengujian memiliki suhu yang paling rendah, berarti ini merupakan hal yang positif. Pada pengereman aus yang rendah dan suhu yang rendah merupakan hal yang positif, aus rendah akan memberikan durasi penggunaan kampas rem yang lama. Suhu rendah akan mengurangi kegagalan dalam pengereman. Koefisien gesek tinggi merupakan hal yang positif dikarenakan akan meningkatkan kualitas pengereman. Kekerasan yang tinggi juga merupakan hal yang positif dikarenakan akan memberikan durasi penggunaan yang lama pada cakram.

Produk bekas (SB) memiliki aus yang cukup tinggi jika dibandingkan dengan (OB). Padahal memiliki kekerasan yang hampir sama dengan produk (OB). Hal ini mungkin terjadi karena pada produk ini memiliki koefisien gesek paling tinggi, namun kekasaran pada produk ini sangat rendah dikarenakan pada produk bekas penggunaan sudah sering mengalami aus saat pengereman. Hal itu juga bisa dibilang buruk dikarenakan lama kelamaan permukaan cakram bekas jika

digunakan terus akan tidak rata dan pengereman kurang maksimal. Pada suhu semasa pengujian produk ini diantara produk (OB) dan yang tertinggi bubuk (B).

Produk bubuk (B) memiliki kekerasan paling lunak, maka dari itu produk ini memiliki *real contact area* yang besar. Sehingga memiliki massa aus yang tinggi pada kampas rem dan hal ini juga dipengaruhi oleh kekasaran yang sangat tinggi. Ditambah dengan proses bubuk yang mengakibatkan kekasaran yang tinggi sehingga aus tinggi. Namun koefisien gesek pada produk ini sangat rendah jika dibandingkan produk lain, dalam hal ini ada beberapa asumsi hasil analisis. Pertama dikarenakan oleh proses bubuk sendiri yang mungkin merubah sifat material produk (B). Kedua yakni ketika terjadi aus maka akan menghasilkan debris/debu-debu kecil akibat berkurangnya massa produk, hal ini bisa mengakibatkan debris mengisi permukaan produk (B) kemudian membuat koefisien gesek turun, ketiga yakni penelitian ini tidak membahas misteri yang terjadi di lapisan molekul dua permukaan yang bergesekan. Pada produk ini memiliki suhu yang paling tinggi dari pada produk lain semasa pengujian tribometer, hal ini bisa disebabkan karena material dari produk ini mengalami proses bubuk. Maka dari itu berupaya meningkatkan koefisien gesek pada produk ini dengan cara merubah kekasaran dan kekerasan produk. Namun jika koefisien gesek tinggi berarti bisa jadi suhu dan aus juga tinggi. Maka akan mencoba menerapkan perlakuan kekasaran dan perlakuan kekerasan pada enam spesimen dan mencari yang terbaik.

4.4.2 Setelah Perlakuan Amplas

Pada perlakuan ini bertujuan meningkatkan kualitas produk bubuk (B) agar bisa bersaing dengan produk orisinal (OB). Perlakuan ini dilakukan pada enam sampel spesimen dikarenakan produk yang digunakan pada pengujian sebelum perlakuan hanya bisa membuat enam sampel spesimen.

Produk bubuk (B1-B6) dihaluskan menggunakan amplas dan pada hasilnya mendekati produk orisinal (OB). Pada massa aus produk B1-B2 sudah bisa lebih rendah, lalu pada B3 & B4 sama, kemudian pada B5 & B6 lebih tinggi, jika dibandingkan dengan produk orisinal (OB) hal ini dikarenakan kekasaran produk ini sudah menyerupai produk orisinal (OB). Namun pada koefisien gesek produk

B1-B6 hanya bisa mendekati produk orisinal dengan nilai $0,231 \pm 0,082$ dan produk orisinal (OB) $0,247 \pm 0,019$. Lalu untuk suhu semasa pengujian pada produk ini berhasil bisa lebih rendah jika dibandingkan dengan produk orisinal (OB) dan bubut (B).

Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa jika pemilik mobil memiliki kendala ketika cakram yang dimiliki mengalami aus dan cakram sudah tidak rata, maka tidak harus membeli produk cakram baru. Pemilik mobil bisa melakukan bubut terhadap cakram yang dimiliki kemudian melakukan amplas dengan grit 220-600-100 terhadap produk, maka cakram tersebut memiliki kualitas yang hampir sama dengan produk orisinal baru.

4.4.3 Setelah Perlakuan Pengerasan Induksi

Pada perlakuan ini bertujuan meningkatkan kualitas produk bubut (B) agar bisa bersaing dengan produk orisinal (OB). Perlakuan ini dilakukan pada enam sampel spesimen dikarenakan produk yang digunakan pada pengujian sebelum perlakuan hanya bisa membuat enam sampel spesimen. Spesimen yang digunakan yakni spesimen yang sudah mengalami perlakuan amplas. Setelah diuji spektrometri menunjukkan bahwa cakram bubut (B) terbuat dari besi tuang kelabu dengan tingkat karbon tinggi. Pada struktur mikro menunjukkan bahwa material ini memiliki grafit bebas. Dengan struktur matriks ferit (panah biru) dan perlit (panah merah). Pembentukan grafit dibantu oleh tinggi karbon dan proses perlakuan panas pada proses pembentukan. Maka dari itu perlakuan pengerasan induksi bisa dimulai dengan suhu 550°C dan optimal di 800°C , Kemudian akan meleleh pada suhu 860°C - 930°C .

Pada proses perlakuan pengerasan induksi dengan hasil suhu tertinggi pada produk B2' dan terendah pada B5'. Namun pada proses pemanasan induksi mengalami peningkatan kekasaran, sehingga agar hanya satu variabel yang berubah pada fase ini maka menurunkan kekasaran produk B1'-B6'. Dengan kekasaran yang hampir menyerupai produk (OB), maka kekasaran dianggap tidak berpengaruh. Kemudian pada nilai kekerasan produk yang memiliki nilai kekerasan tertinggi yakni B1', B4', B3', B2', B6', dan ter lunak adalah B5'. Namun ter lunak pasca perlakuan pengerasan induksi masih lebih keras jika dibandingkan

produk orisinal (OB). Pada struktur mikro dilakukan pada spesimen paling keras dan paling lunak yakni B1' dan B5'. Pada B1' menunjukkan terdapat serpih yang masih grafit namun berbeda dengan *raw material* dikarenakan sudah di dominasi oleh perlit yang membuat spesimen ini lebih keras. Namun pada B5' struktur mikro keseluruhannya masih hampir menyerupai *raw material*.

Spesimen B1' dan B2' memiliki massa aus yang lebih rendah jika dibandingkan dengan produk (OB). Ini merupakan hal yang positif pada proses pengereman dikarenakan akan memberi durasi pemakaian yang lama pada kampas rem. Spesimen B3' dan B4' memiliki total massa aus yang sama dengan produk orisinal (OB). Lalu pada produk B5' dan B6' memiliki massa aus yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan produk orisinal (OB). Hal ini dikarenakan spesimen tersebut memiliki kekerasan yang rendah sehingga *real contact area* yang tinggi.

Spesimen B1'-B6' memiliki koefisien gesek yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan produk orisinal (OB). Ini merupakan hal yang positif pada proses pengereman karena akan meningkatkan kualitas pengereman. Dengan koefisien gesek tertinggi B4', B6', B2', B1', B5' dan terendah pada B3' namun B3 masih lebih tinggi jika dibandingkan dengan produk (OB).

Keseluruhan spesimen pengerasan induksi memiliki suhu yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan produk (OB). Namun pada B4' memiliki suhu yang hampir sama jika dibandingkan dengan produk hasil bubut (B). Kemudian berdasarkan mempertimbangkan kekerasan terbaik agar cakram lebih tahan lama, aus agar kampas rem lebih tahan lama, koefisien gesek tinggi agar kualitas pengereman tinggi dan suhu rendah agar kegagalan dalam pengereman dapat dihindari. Maka dapat disimpulkan bahwa spesimen pengerasan induksi terbaik yakni B4' dengan parameter arus 800 ampere dan waktu 20 detik.

Sebagai tambahan jika berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa jika pemilik mobil memiliki kendala ketika cakram yang dimiliki mengalami aus dan cakram sudah tidak rata, sebagai alternatif tidak harus membeli produk cakram baru. Pemilik mobil bisa melakukan bubut terhadap cakram yang dimiliki kemudian melakukan pengerasan permukaan induksi dengan parameter arus 1000 Ampere dan waktu penahanan 20 detik. Kemudian melakukan amplas dengan grit 220-600-100 terhadap produk, maka cakram tersebut memiliki kualitas

yang lebih tinggi daripada produk orisinal baru. Perbandingan aus untuk durasi penggunaan kampas rem yang lebih lama, koefisien gesek untuk kualitas pengereman yang lebih tinggi dan kekerasan untuk durasi penggunaan piringan cakram yang lebih lama.



BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada penelitian analisis sifat mekanik dan tribology pada cakram orisinal dan bekas hasil bubut yang telah dilakukan ini, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada produk bubut (B) menunjukkan hasil yang negatif yaitu nilai keausan dan suhu yang lebih tinggi, kemudian untuk nilai kekerasan dan koefisien memiliki nilai yang lebih rendah, jika dibandingkan dengan sebelum bubut (SB) dan orisinal baru (OB).
2. Pada perlakuan pengamplasan produk bubut (B), memiliki aus dan suhu yang lebih rendah dari produk orisinal baru (OB), kemudian pada koefisien gesek sudah mendekati produk (OB).
3. Pada perlakuan pengerasan induksi, secara keseluruhan B1'-B6' memiliki kekerasan dan koefisien gesek yang lebih tinggi dari produk (OB). Aus B1'-B2' lebih tinggi dari (OB), B3'-B4' sama dengan aus (OB), B5'-B6' lebih rendah dari produk (OB). Kemudian suhu B1'-B6' lebih tinggi dari (OB), namun B4' memiliki suhu yang hampir sama dengan produk bubut (B). Sehingga parameter terbaik yakni B4' dengan arus 1000 *Ampere* waktu, waktu 20 detik dan suhu 657°C. Menghasilkan kekerasan 455,71±16,37 BHN, total massa aus 0,0037 gram dan koefisien gesek 0,387±0,061.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

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

1. Pada penelitian selanjutnya diharap bisa meneliti tentang sebab dan akibat pada data hasil pengujian, disarankan menggunakan uji SEM untuk kasus tribologi dan menambahkan analisis energi pada pengeraman.

2. 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.
3. Perlu adanya alat pengujian kekerasan dan metalografi yang memadai, agar mempermudah perlakuan pengerasan permukaan induksi.
4. Timbangan pada pengujian *pin on disc tribometer* perlu menggunakan timbangan dengan nilai 4 angka dibelakang koma atau lebih, agar massa aus pada setiap pengujian dapat terbaca.
5. Perlu adanya UPS pada pengujian *pin on disc tribometer*, agar tidak ada kegagalan pengujian dan pengulangan pengujian.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. M. & T. Z. S. Machmud, "Kebijakan Low Cost Green Car dalam Industri Otomotif Nasional," *Jurnal Ekonomi Indonesia p-ISSN: 0854-1507; e-ISSN: 2721-222X*, vol. 10 Number 3, pp. 257-279, 2021.
- [2] S. D. S.B and M. D. Sebayang, "Prinsip Kerja Rem Disc Brake dan Perawatannya," 2012.
- [3] G. K. & M. LIBERA, "Analysis Of The Hardness Of A Selected Group Of Cast Iron Brake Rotors," *Tribologia 6 ISSN 0208-7774*, pp. 27-31, 2017.
- [4] T. B. L. Nafsan Upara, "Analisis Komparasi Kualitas Produk Kampas Rem Cakram Antara Original dengan After Market," *Jurnal ASIIMETRIK : Jurnal Ilmiah Rekayasa & Inovasi*, vol. 1.1, pp. p-ISSN 772655-186002, 2019.
- [5] Y. Siswanto, "Pengaruh Perlakuan Panas pada Besi Cor Kelabu Terhadap Sifat Mekanis dan Konduktifitas Thermal," *Perpustakaan Universitas Islam Riau*, 2021.
- [6] M. T. S. J. A. W. A. S. Rifqy Ismail, "Pemanfaatan Mesin Pemanas Induksi untuk Pengerasan Permukaan Roda Gigi Produk UKM," *Seminar Nasional Teknologi & Komunikasi Terapan (Semantik)*, 2011.
- [7] N. R. A. Rifky Ismail and Sugiyanto, "Pengamatan Struktur Mikro dan Kekerasan pada Roda Gigi Pasca Pengerasan Permukaan Menggunakan Pemanasan Induksi," *Rotasi Jurnal Teknik Mesin UNDIP*, 2015.
- [8] M. F. R and G. D. Haryadi, "Pengaruh Variasi Putaran Mesin dan Waktu Pengereman Terhadap Temperatur dan Koefisien Gesek pada Brake Pads dan Brake Shoe dengan Alat Uji Berbasis Remote Monitoring System," *Jurnal Teknik Mesin (JIM) Universitas Diponegoro*, vol. 4 No. 1, 2016.
- [9] A. B. Sukamto, "Analisis Perpindahan Panas Kampas Rem pada Sepeda Motor," *Jurnal Teknik*, vol. 3 No. 1, 2013.
- [10] A. Arifin, "Analisis Gaya pada Rem Tromol (Drum Brake) untuk Kendaraan Roda Empat," *Jurusan Teknik Mesin FTI Universitas Gunadarma*, 2014.
- [11] R. Setiyono, "Analisis Gaya Pengereman pada Mobil Nasional Mini Truck," *Naskah Publikasi Tugas Akhir UMS*, 2015.

- [12] T. N. C. K. G. P. S. R. Guru Murthy Nathi, "COUPLED STRUCTURAL / THERMAL ANALYSIS OF DISC BRAKE," *IJRET : International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 01, no. 04, 2012.
- [13] C. C. A. B. A. R. A. B. Ghazaly M Nouby, "Thermal Analysis of Both Ventilated and Full Disc Brake Rotors With Frictional Heat Generation," *Faculty of Mechanical Engineering, USTO Oran University, 31000 Oran, Algeria.*, 2014.
- [14] N. F. MOTT, "The Proceedings of the Physical Society, The Mechanical Properties of Metal," *H.H Wills Physical Laboratory, University of Bristol.*, vol. 64, p. Part 9 No. 381 B, 1951.
- [15] D. R. P.J. Burnett, "The Mechanical Properties of Wear-Resistant Coating 1: Modeling of Hardness Behavior," *Metallurgical and Protective Coatings*, vol. 148, pp. 41-50, 1986.
- [16] B. S. A. B. Z. R. Hill, "A Theoretical Study of the Brinell Hardness Test," *Proceedings Of The Royal Society A*, vol. 423, pp. 301-330, 1989.
- [17] B. T. Sofyan, " Pengantar Material Teknik Edisi Kedua," *Jakarta, UNHAN RI PRESS.*, 2021.
- [18] W. Darmadi, "Pengaruh Media Pendinginan Terhadap Struktur Mikro dan kekerasan pada Besi Cor," *Naskah Publikasi Tugas Akhir UMS*, 2015.
- [19] A. Ginting, "Pengaruh Variasi Temperatur Tempering Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Besi Cor Kelabu," *Yogyakarta, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma*, 2020.
- [20] J. HP, "Lubrication (Tribology) Education and Research," 1966.
- [21] G. A. Stachowiak, "Engineering Tribology 2nd Edition," 2000.
- [22] P. Carlsson, "Surface Engineering In Sheet Metal Forming," *Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations From The Faculty Of Science and Technology 7, Uppsala Universitet, Uppsala, Sweden.*, 2005.
- [23] I. Syafa'at, "Tribologi, Daerah Pelumasan dan Keausan," *Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim, Semarang*, 2008.
- [24] F. Lindvall, "Development of Test Method For Measuring Galling Resistance," *Master Thesis, Karlstads Universitet, Sweden*, 2007.
- [25] B. PJ., " Friction, Lubrication and Wear Technology," 1992.

- [26] I. W. Hardiansyah, "Penerapan Gaya Gesek Pada Kehidupan Manusia," *Jurnal Pendidikan IPA Vol. 10 No. 1*, pp. 67-70, 2021.
- [27] A. Riyadi, "Gaya dan Gesek," *Semarang: Alprin*, 2019.
- [28] M. K. T. M. I. E. H. S. E.S. Gadelmawla, "Roughness Parameter," *Journal of Materials Processing Technology 123 (2002) 133±145*, 2002.
- [29] D. A. Bimbing Atedi, "Standar Kekasaran Permukaan Bidang pada Yoke Flange Menurut ISO R.1302 dan DIN 4768 dengan Memperhatikan Nilai Ketidak pastianya," *Puslit KIM dan SMTP-LIPI Serpong Media Mesin*, Vols. 6 No.2 ISSN 1411-4348., 2005.
- [30] M. R. Ichwani, "Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap Laju Korosi Baja API 5L dalam Larutan Asam, Basa, dan Garam," *Teknik Produksi, kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.*, 2014.
- [31] D. L. R. L. C. Valery Rudnev, "Theoretical Background from: Handbook of Induction Heating CRC Press," 2017.
- [32] D. A. M. A. E. C. J. G. B. J. A. G. O. P. V. R. EL Castellanos-Leal, "Induction Hardening Treatment and Simulation for A Gray Cast Iron used in Engine Cylinder Liners," *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 786, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia*, 2017.
- [33] V. Rudnev, "Induction Hardening of Cast Irons," *FASM, IFHTSE Fellow is director of science and technology at Inductoheat, Inc., an Inductotherm Group Company.*, 2018.
- [34] D. Sumadi, "Isuzu Training Modul," *Jakarta: ASCO*, 2002.
- [35] S. V. Nababan, "Distribusi tempratur pada rem cakram mobil tipe Multi Purpose Vehicle (MPV)," 2016.

LAMPIRAN 1



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS GADJAH MADA

PENGUJIAN KEKERASAN BRINNEL

No	Variasi Spesimen	Titik Uji	Diameter (mm)	Kekerasan Brinell (BHN)	Kekerasan Rata-rata (BHN)	Standar Deviasi
1	Ori	1	1.03	215.1	213.7	2.0
		2	1.04	210.8		
		3	1.03	215.1		
2	KW	1	1.09	191.0	192.2	1.8
		2	1.09	191.0		
		3	1.08	194.7		
3	Sebelum Bubut	1	1.04	210.8	209.4	2.0
		2	1.05	206.6		
		3	1.04	210.8		
4	Bubut	4	1.07	198.6	201.3	3.8
		5	1.07	198.6		
		6	1.05	206.6		

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 28 Mei 2022
2. Pengujian menggunakan Universal Hardness Tester
3. Pembebanan menggunakan 187,5 kgf

Yogyakarta, 28 Mei 2022

Staf Laboratorium Bahan Teknik



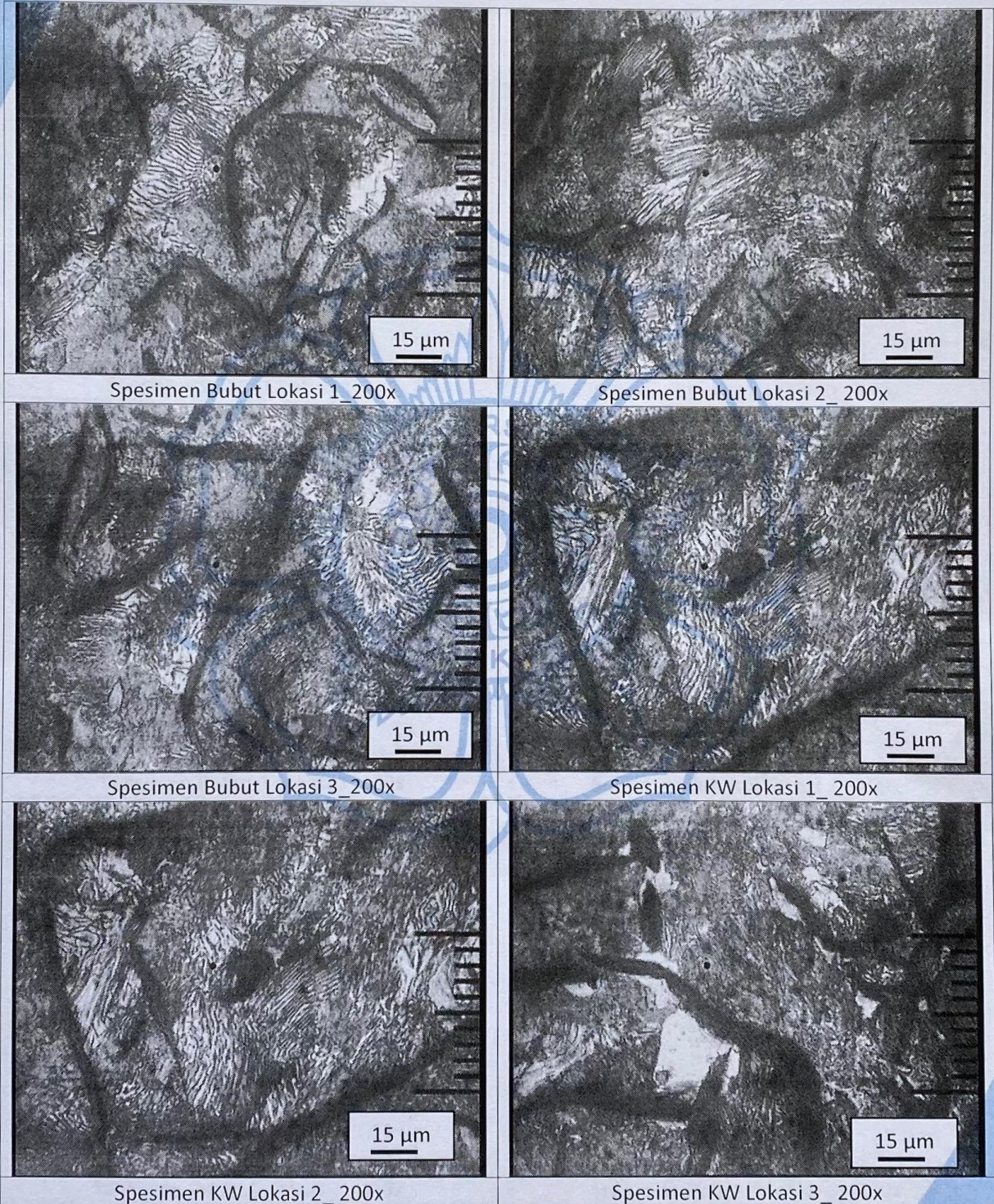
Dr. Lilik Dwi Setyana, S.T., M.T

NIP. 197703312002121002



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA
HASIL PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO SEBELUM PERLAKUAN

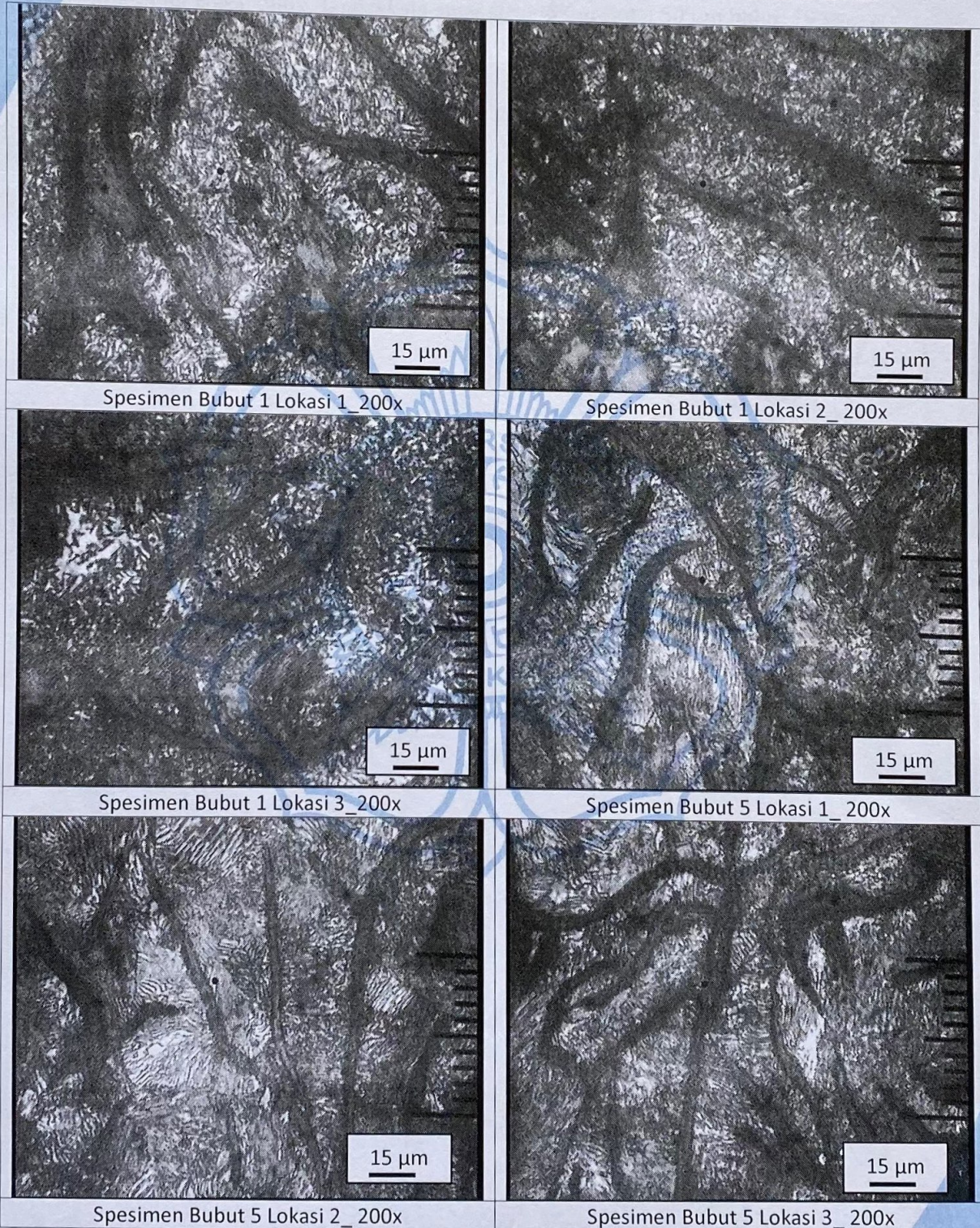
Lembar asli, tidak untuk digandakan





LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA
HASIL PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO SETELAH PERLAKUAN

Lembar asli, tidak untuk digandakan





LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

Keterangan:

1. Perbesaran lensa: 200x, Jarak skala antar strip: 5 μm (total 50 μm untuk 10 strip)
2. Pengamatan menggunakan metallurgical microscope with inverted (Olympus PME 3)

Yogyakarta, 23 Agustus 2022

Staf Laboratorium Bahan Teknik



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

NIP. 197703312002121002

Lembar asli, tidak untuk digandakan





LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

PENGUJIAN KEKERASAN BRINNEL

No	Variasi Spesimen	Titik Uji	Diameter (mm)	Kekerasan Brinell (BHN)	Kekerasan Rata-rata (BHN)	Standar Deviasi
1	B1	1	0.69	491.9	477.91	11.38
		2	0.71	464.1		
		3	0.70	477.7		
2	B2	1	0.75	414.8	426.57	9.63
		2	0.74	426.4		
		3	0.73	438.4		
3	B3	1	0.72	451.0	438.62	10.04
		2	0.73	438.4		
		3	0.74	426.4		
4	B4	1	0.70	477.7	455.71	16.37
		2	0.72	451.0		
		3	0.73	438.4		
5	B5	1	1.04	210.8	237.85	29.29
		2	1.01	224.2		
		3	0.91	278.5		
6	B6	1	0.81	354.2	343.07	15.79
		2	0.81	354.2		
		3	0.85	320.7		

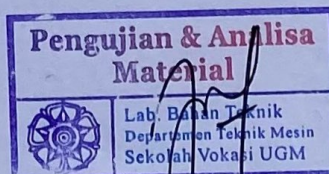
Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 23 Agustus 2022
2. Pengujian menggunakan Universal Hardness Tester
3. Pembebanan menggunakan 187,5 kgf

Yogyakarta, 23 Agustus 2022

Staf Laboratorium Bahan Teknik



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

NIP. 197703312002121002



CV. KARYA HIDUP SENTOSA

PABRIK MESIN ALAT PERTANIAN • PENGECORAN LOGAM • DEALER UTAMA DIESEL KUBOTA

Kantor Pusat : Jl. Magelang No.144 Yogyakarta 55241 Indonesia
Telp. : (0274) 512095 (hunting) 563217, 584874, 513025, 556923
Fax. : (0274) 563523 (umum), 554069 (pembelian) E-mail : operator1@quick.co.id
Website : www.quick.co.id

LAPORAN HASIL ANALISA REPORT OF ANALYSIS

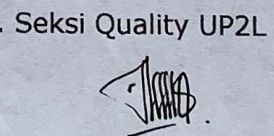
Order No. : 0190530 Tanggal : 06 - 08 - 2022.
Customer : M. Alfaarisi Maulana Kasim Kode Spl : Sampel B
: Mahasiswa UII. Program : FE-LOW.
Analisa : Spectrometer. Alat Uji : Thermo ARL 3560 OES.
Hasil/Result :

Unsur	(%)
C	>6,1760
Si	2,2779
S	0,0602
P	0,0102
Mn	0,7004
Ni	0,0146
Cr	0,0273
Mo	0,0033
Cu	>0,8223
W	0,0000
Ti	0,0088
Sn	0,0697
Al	0,0062
Pb	0,0011
Ca	0,0026
Zn	0,0000
Fe	90,89

Ass. Ka. Unit Quality & Pola UP2L

Ka. Seksi Quality UP2L


Abdul Kafi


Sungkowo Edy W

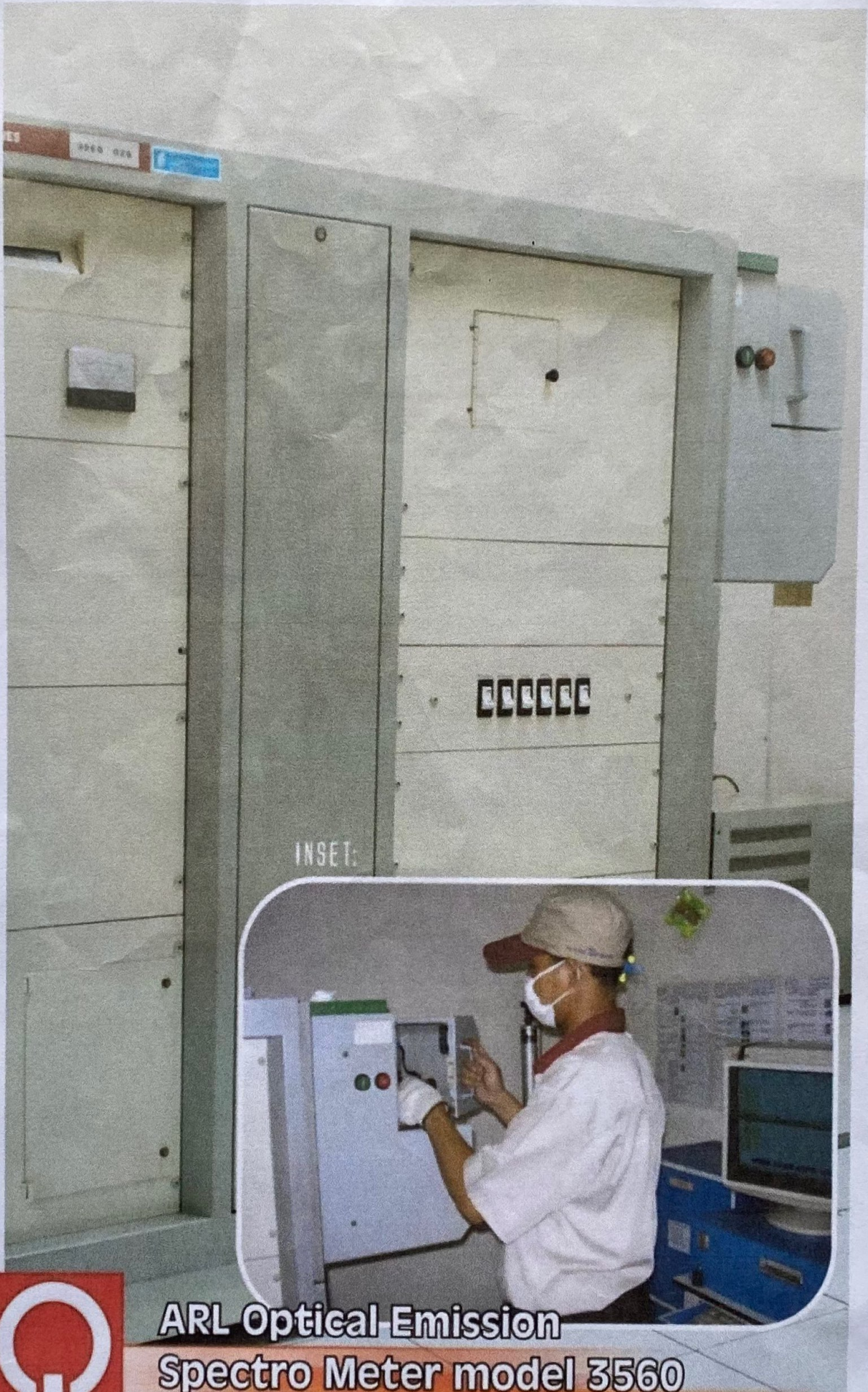
- Catatan :**
- Sampel dari pemesan diuji di Laboratorium kami
 - Unsur C, Cu di atas standard kalibrasi program alat kami
 - Sample masuk dalam besi tuang, unsur Carbon sudah menjadi grafit, sehingga hasil menjadi tidak akurat

Cabang

Surabaya : Jl. Kebon Rojo 6 BB Telp. (031) 3525687, 3525688, 3525076 Fax. (031) 3540454 E-mail : sby@quick.co.id
Jakarta : Jl. Gajah Mada 154 Telp. (021) 6292044, 6293428, 6490020 Fax. (021) 6490013 E-mail : jkt@quick.co.id
Tanjungkarang : Jl. Raden Intan 159 Telp. (0721) 268498, 268495 Fax. (0721) 268498 E-mail : tj@quick.co.id
Makassar : Jl. Galangan Kapal Komp. Pergudangan Jujur Sakti Motor No. A9 Telp. (0411) 439693, 4666494 Fax. (0411) 4666494 E-mail : mks@quick.co.id

Depo

Medan : Jl. Letda Sujono Komplek Pergudangan Tembung Intan No. 13 Medan, Indonesia Telp. (061) 7384680 Fax. (061) 7384680 E-mail : mdn@quick.co.id



**ARL Optical-Emission
Spectro Meter model 3560**



CV. KARYA HIDUP SENTOSA JOGJAKARTA



PROSEDUR PENGUJIAN SPEKTROMETER



Nama Alat : Spectrometer
Type : OES 3560

No	Prosedur Pengujian	Keterangan
1	Siapkan sample yang akan diuji.	Luas penampang sample uji minimal 20 mm x 20 mm
2	Ratakan permukaan sample uji dengan menggunakan vertical grinding	Gerinda hingga kulit luarnya hilang
4	Pasang sample uji pada table analysis mesin spectrometer dengan benar	Pastikan tidak terjadi kebocoran
5	Clamp spesimen uji agar saat spark tidak terjadi pergeseran	Pastikan tidak terjadi kebocoran
6	Lakukan pengujian dengan menggunakan program yang sudah dihubungkan pada komputer	Pilih program sesuai dengan jenis material yang diuji
7	Uji sample minimal sebanyak 2x spark untuk mendapatkan hasil yang valid	Standard defiasi (Sd) < 0.005
8	Hasil analisa sample akan tertera pada layar komputer yang menunjukkan nilai rata-rata dari hasil spark	

Diperiksa	Abdul Kafi
Dibuat	Reny Hayu