TUGAS AKHIR

SIFAT FISIS DAN MEKANIS RUMAH DAN SEPATU REM SEPEDA MOTOR SANEX DAN HONDA

Logam Fisis dan Mekanis

Nomor : 122/FT.USD/TM/III/2000

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Program Studi Teknik Mesin

OLEH :

PETRUS KRISUBANU

No. Mhs : 935214047

NIRM : 930051123109120046

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SANATA DHARMA

YOGYAKARTA

2001

HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING

TUGAS AKHIR

SIFAT FISIS DAN MEKANIS RUMAH DAN SEPATU REM SEPEDA MOTOR SANEX DAN HONDA

OLEH :

PETRUS KRISUBANU

No. Mhs : 935214047

NIRM : 930051123109120046

Telah disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Ir. Samsudin **tanggal 30 Juli 2001**

Dosen Pembimbing II

Budi Setyahandana, ST,MT **tanggal 30 Juli 2001**

HALAMAN PENGESAHAN UJIAN

TUGAS AKHIR

SIFAT FISIS DAN MEKANIS RUMAH DAN SEPATU REM SEPEDA MOTOR SANEX DAN HONDA

Dipersiapkan dan ditulis oleh :

PETRUS KRISUBANU

No. Mhs : 935214047
NIRM : 930051123109120046

Telah dipertahankan didepan Panitia Penguji
pada tanggal **24 Agustus 2001**
dan dinyatakan memenuhi syarat.

SUSUNAN PANITIA PENGUJI

		TANDA TANGAN
Ketua	**Dr. Ir. Indarto, DEA**	.....
Sekretaris	**Dr. Ir. Viktor Malau, DEA**	.....
Anggota	**Ir. Samsudin**	.....
Anggota	**Budi Setyahandana, ST, MT**	.....
Anggota	**Adhi Susilo, ST, MSc**	.....

Yogyakarta, 28 Agustus 2001

Fakultas Teknik
Universitas Sanata Dharma
Dekan

Ir. G. Harjanto

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya yang saya tulis ini tidak memuat karya atau bagian karya orang lain, kecuali yang telah disebutkan dalam kutipan dan daftar pustaka sebagaimana layaknya karya ilmiah

Yogyakarta, 20 Juli 2001

Penulis

Petrus Krisubanu

NIM : 935214047

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANATA DHARMA
YOGYAKARTA
(Kampus III) Paingan Maguwoharjo, Sleman -DIY
Telp. (0 2 7 4) 8 8 3 0 3 7, 8 8 3 9 6 9, Fax. (0 2 7 4) 8 8 6 5 2 9

TUGAS AKHIR PROGRAM S-1 JURUSAN TEKNIK MESIN

Nomor : 122 / FT.USD / TM / III / 2000

Diberikan kepada	:
Nama Mahasiswa	: Petrus Krisubanu
Nomor Mahasiswa	: 935214047
NIRM	: 930051123109120046
Jurusan	: TEKNIK MESIN
Fakultas	: TEKNIK
Mata kuliah	: Logam Fisis dan Mekanis
Judul / naskah soal	:

Lakukan penelitian Sifat Fisis dan Mekanis Rumah dan Sepatu Rem Sanex dan Honda

Tanggal dimulai : 20 Februari 2001

Yogyakarta, 15 Maret 2001

Dosen Pembimbing Kedua

(Budi Setyahandana, S.T., M. T.)

Dosen Pembimbing Utama

(Ir. Samsudin)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada **Tuhan Yesus Kristus** dan **Bunda Maria**, yang telah memelihara dan membimbing setiap hari, atas rahmat kasih karunia dan anugerahnya. Segala hormat dan pujian hanya bagi MU, Atas karuniaMU penulis dapat menyelesaikan mata kuliah Tugas akhir sesuai dengan rencana dan harapan .

Tugas akhir merupakan salah satu mata kuliah wajib yang harus dikerjakan oleh semua mahasiswa tingkat sarjana jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta. Tugas akhir ini disusun berdasarkan tugas akhir program S-1 jurusan teknik mesin nomor **: 122 / FT. USD / TM / III / 2000**. Dengan mengerjakan tugas akhir ini dimaksudkan untuk menambah wawasan dan membentuk pola berpikir praktis bagi mahasiswa teknik, terutama mengenai sifat fisis dan mekanis rumah dan sepatu rem sepeda motor Sanex dan Honda. Persoalan-persoalan teknik dalam menganalisis serta menerapkan ilmu yang diperoleh selama pendidikan, diharapkan mampu membuat mahasiswa tidak merasa canggung apabila kelak akan terjun kedalam profesinya. Tugas akhir ini telah dibahas dan dipertahankan dalam ujian pendadaran yang dihadiri oleh dosen pembimbing dan dosen penguji.

Persoalan yang diberikan kepada penulis dalam tugas akhir ini adalah **penelitian sifat fisis dan mekanis rumah dan sepatu rem sepeda motor Sanex dan Honda**. Dalam hal ini penulis mengambil sampel produk **Sanex** dan **Aspira.** Banyak kesukaran yang dijumpai dalam penelitian, pengujian, membuat analisis tugas ini. Tetapi hal itu dapat di atasi karena bantuan banyak pihak. di samping

karena penulis pernah mengambil mata kuliah pilihan Logam Fisis dan Mekanis. Berkat bantuan banyak pihak dan bekal materi yang di peroleh sebelumnya, akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. **Allah Bapa** Yang Maha Kuasa dan **Bunda Maria** atas segala rahmat, anugerah yang berkelimpahan.
2. Tim penguji tugas akhir.
3. Dekan FT. USD, Bapak **Ir. Gregorius Harjanto.**
4. Ketua Jurusan Teknik Mesin USD, Bapak **Ir. Rusdi Sambada, MT** yang dengan sabar memberi dorongan kepada saya.
5. Pembimbing mahasiswa angkatan 1993, Bapak **Ir. YB. Lukiyanto, MT** yang masih bersedia " mengayomi " mahasiswa 1993.
6. Pembimbing I tugas akhir, Bapak **Ir. Samsudin** yang dengan sabar dan teliti membimbing penulis.
7. Pembimbing II Tugas akhir, Bapak **Budi Setyahandana, ST, MT**.
8. Segenap Laboran Bahan teknik di Fakultas Teknik UGM dan USD.
9. Bapak **J. Soeko Martowardoyo** (alm) dan Ibu **MM. Mujimah**
10. Saudara-saudaraku : **Mbak Sri, Mbak Lusi, Mbak Angela, Mas Probo** dan **Agung** atas segala doa, dorongan dan bantuannya.
11. **Margareta Yenny Rohaeny, ST** dan **Willy** atas segala kasih, doa, dorongan dan bantuan yang penulis perlukan.
12. **Bapak/ Ibu Tono, Indra** yang telah memberi tumpangan.

13. Sahabatku Rm. **AM. Roni Nurharyanto SJ** atas segala doa dan motivasinya.

14. Kawan-kawan Teknik Mesin USD angkatan 1993.

Akhirnya penulis mengharapkan agar tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang berkepentingan. Penulis juga menyadari bahwa hasil dari penelitian dan analisis ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu penulis dengan senang hati menerima segala masukan dan kritikan yang diberikan yang berguna bagi penulis dalam memperbaiki penulisan selanjutnya, untuk dikaji dan digunakan sebagaimana mestinya dan dapat menjadi bahan pertimbangan bagi penulisan – penulisan selanjutnya.

Yogyakarta, Juli 2001

Penyusun

(Petrus Krisubanu)

Mutiara Hati

" Segala kerja, perjuangan, doa dan cinta Semata-mata hanya untuk kemuliaan dan keagungan Allah yang lebih besar "

St. Ignasius De Loyola

" Jadikanlah Diriku sebagai manusia bagi sesama "

(To be The Man for The Others)

Tugas akhir ini saya persembahkan kepada :

1. *Allah Bapa, Putra dan Roh Kudus beserta Bunda Maria.*
2. *Keluarga Bapak J. Soeko Martowardoyo.*
3. *Jeannie and Willy*
4. *Almamaterku.*
5. *Sahabat-sahabatku, terutama angkatan Teknik Mesin 1993.*

DAFTAR ISI

		halaman
HALAMAN JUDUL	.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING	.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN NASKAH	.....	iv
HALAMAN SOAL	.....	v
KATA PENGANTAR	.....	vi
MUTIARA HATI	.....	ix
HALAMAN PERSEMBAHAN	.....	x
DAFTAR ISI	.....	xi
INTISARI	.....	xvi
DAFTAR TABEL	.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN	.....	xxi
BAB I : PENDAHULUAN	.....	1
1.1. Latar Belakang	.....	1
1.2. Rumusan Masalah	.....	5
1.3. Batasan Masalah	.....	5
1.4. Tujuan Penelitian	.....	5
1.5. Metode Penelitian	.....	5

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA 7

2.1. Tinjauan Umum 7

2.2. Tinjauan Mekanis 10

2.2.1. Perhitungan Gaya-Gaya yang terjadi 11

2.2.2. Keausan bahan karena Gesekan 12

2.3. Tinjauan Fisis 13

2.4. Struktur Mikro 18

2.4.1. Struktur Besi Cor 18

2.4.2. Struktur Grafit 19

2.4.3. Bentuk Potongan Grafit Besi Cor 19

2.4.4. Bentuk Potongan Grafit Besi Cor Bulat 23

2.4.5. Struktur Coran Cil 24

2.4.6. Contoh Struktur Mikro dari Besi Cor 25

2.5. Pengaruh Unsur terhadap Sifat Mekanis 30

2.5.1. Pengaruh Karbon dan Silisium 30

2.5.2. Pengaruh Mangan 31

2.5.3. Pengaruh Fosfor 31

2.5.4. Pengaruh Belerang 32

2.5.5. Pengaruh Unsur Lain 32

2.6. Sifat-Sifat Coran Besi Cor 32

2.6.1. Sifat Mekanis dari Besi Cor Kelabu 32

2.6.2. Sifat Fisis dan Kimia Besi Cor 36

Kelabu

2.6.3. Sifat Besi Cor Bergrafit Bulat 38

2.7. Struktur dan Sifat-Sifat Baja 40

2.7.1. Struktur Baja Karbon 40

2.7.2. Sifat-Sifat Baja Cor 43

2.7.3. Struktur dan Sifat-Sifat Baja Cor Khusus 44

2.8. Struktur dan Sifat-Sifat Coran Paduan Alumunium 55

2.8.1. Paduan Al – Cu, Al – Cu – Si 55

2.8.2. Paduan Al – Si, Al – Si – Mg 56

2.8.3. Paduan Alumunium dan Magnesium 58

2.8.4. Paduan Alumunium dan Mangan 58

2.8.5. Paduan Alumunium-Magnesium-Seng 59

2.8.6. Paduan Alumunium Tahan Panas 59

2.9. Sifat – Sifat Alumunium 60

2.10. Klasifikasi Paduan Alumunium 62

2.11. Pengaruh Unsur Paduan dalam Alumunium 64

2.12. Pengujian Bahan 69

2.12.1. Kekerasan (*hardness Test*) 69

2.12.2. Uji Kekerasan *Brinell* 70

2.12.3. Uji Kekerasan *Vikers* 72

2.12.4. Struktur Mikro 76

BAB III : PELAKSANAAN PENGUJIAN 78

3.1. Diagram Alir Penelitian 78

3.2. Bahan Uji 79

3.3. Dimensi Benda Uji 80

3.4. Pengujian Mekanik 82

3.4.1. Pengujian Kekerasan 82

3.4.1.1. Pengujian Kekerasan Vikers pada Sepatu Rem 83

3.4.1.2. Pengujian Kekerasan Vikers pada Rumah Rem 84

3.4.2. Pengujian Struktur Mikro 86

BAB IV :ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN 87

4.1. Analisis Data Pengujian Mekanik 87

4.1.1. Data Pengujian Kekerasan Sepatu dan Rumah Rem 87

4.1.1.1. Data Pengujian Kekerasan *Vikers* pada Sepatu Rem 88

4.1.1.2. Data Pengujian kekerasan *Vikers* pada Rumah Rem 88

4.2. Analisis Struktur Mikro 89

4.3. Pembahasan 93

BAB V : KESIMPULAN DAN PENUTUP 94

5.1. Kesimpulan 94

5.2. Saran - Saran 95

DAFTAR PUSTAKA 97

LAMPIRAN 98

INTISARI

Penelitian sifat fisis dan mekanis terhadap rumah dan sepatu rem kendaraan bermotor roda dua, sebagai sample diambil rumah dan sepatu rem yang dipakai sepeda motor merk Honda dan Sanex.

Material utama dari rumah dan sepatu rem sepeda motor merk Honda dan Sanex adalah aluminium. Lapisan besi cor atau besi tuang terdapat pada plat gesek dalam rumah rem kedua merk. Material plat penahan pada sepatu rem kedua merk adalah baja.

Harga kekerasan sepatu rem merk Honda 103.02 Hv dan Sanex 100.4 Hv. Plat penahan dari baja pada Honda mempunyai kekerasan 123.2 Hv dan sanex 110.76 Hv.

Harga kekerasan rumah rem merk Honda 88.42 Hv dan Sanex 103.62 Hv. Plat gesek dari besi cor pada Honda mempunyai kekerasan 199.16 Hv dan sanex 243 Hv.

DAFTAR GAMBAR

			Halaman
Gambar 2.1	Sistem *leading trailing*	.....	9
Gambar 2.2	Dimensi dalam perhitungan rem	.....	12
Gambar 2.3	Profil permukaan yang bergesek	.....	13
Gambar 2.4	Diagram kesetimbangan Fe – Fe_3C	.....	16
Gambar 2.5	Pembekuan besi cor kelabu	.....	17
Gambar 2.6	Bentuk khusus distribusi grafit besi. cor kelabu	.....	20
Gambar 2.7	Bentuk distribusi grafit besi cor bergrafit bulat	.....	23
Gambar 2.8	Struktur cil dari permukaan poros kam	.....	24
Gambar 2.9	Struktur khusus dari besi cor	.....	25
Gambar 2.10	Struktur besi cor kelabu luar biasa	.....	26
Gambar 2.11	Struktur luar biasa besi cor kelabu bergrafit bulat	.....	27
Gambar 2.12	Stedit dan sulfida mangan	.....	28
Gambar 2.13	Martensit dan bainit	.....	29
Gambar 2.14	Diagram MAURER	.....	31
Gambar 2.15	Hubungan antara derajat kejenuhan dari karbon dan kekuatan tarik	.....	33
Gambar 2.16	Hubungan antara kekerasan brinell		

	dengan kekuatan tarik	.....	34
Gambar 2.17	Hubungan antara kekuatan tekan dan kekuatan tarik	.....	35
Gambar 2.18	Hubungan antara temperatur dengan berat jenis besi cor	.....	37
Gambar 2.19	Pengaruh kandungan karbon dan perlakuan panas pada sifat mekanik	.....	44
Gambar 2.20	Data pengujian tarik panas baja cor karbon yang dinormalkan	.....	44
Gambar 2.21	Harga bentur dari baja cor karbon	.....	45
Gambar 2.22	Kadar karbon dan kekerasan maksimum baja setelah dicelup dingin	.....	45
Gambar 2.23	Sifat baja paduan rendah	.....	46
Gambar 2.24	Baja cor 5 Cr – 0,5 Mo	.....	48
Gambar 2.25	Baja cor 13 Cr	.....	49
Gambar 2.26	Baja cor 18 Cr – 8 Ni	.....	50
Gambar 2.27	Baja cor mangan tinggi	.....	51
Gambar 2.28	Diagram Fe – Fe_3 C	.....	53
Gambar 2.29	Coran paduan Al – Si – Cu	.....	56
Gambar 2.30	Coran paduan Al – Si – Mg	.....	57
Gambar 2.31	Coran paduan Al – Mg	.....	60
Gambar 2.32	Prinsip Uji kekerasan *Brinell*	.....	71
Gambar 2.33	Prinsip pengukuran kekerasan *Vikers*	.....	73

Gambar 2.34	Komponen utama mesin uji *Vikers*	.....	74
Gambar 2.35	Jejak penekan piramida intan	.....	75
Gambar 3.1	Dimensi sepatu rem Honda	.....	80
Gambar 3.2	Dimensi rumah rem Honda	.....	80
Gambar 3.3	Dimensi sepatu rem Sanex	.....	81
Gambar 3.4	Dimensi rumah rem Sanex	.....	81
Gambar 3.5	Bekas Injakan Penetrator Mikrohardness Vikers	.....	82
Gambar 4.1	Foto struktur mikro sepatu rem Honda	.....	89
Gambar 4.2	Foto struktur mikro sepatu rem Sanex	.....	89
Gambar 4.3	Foto struktur mikro rumah rem Honda	.....	90
Gambar 4.4	Foto struktur mikro rumah rem Sanex	.....	90
Gambar 4.5	Foto struktur mikro besi cor pada rumah rem Honda	.....	91
Gambar 4.6	Foto struktur mikro besi cor pada rumah rem Sanex	.....	91
Gambar 4.7	Foto struktur mikro baja pada sepatu rem Honda	.....	92
Gambar 4.8	Foto struktur mikro baja pada sepatu rem Sanex	.....	92

DAFTAR TABEL

			halaman
Tabel 2.1	Komposisi kimia	.....	16
Tabel 2.2	Kekuatan Tarik, egangan Uji dan perpanjangan	.....	39
Tabel 2.3	Jenis baja karbon	.....	41
Tabel 2.4	Tata nama baja menurut SAE dan AISI	.....	42
Tabel 2.5	Pengaruh unsure paduan pada baja	.....	53
Tabel 2.6	Klasifikasi paduan alumunium cor	.....	63
Tabel 2.7	Klasifikasi paduan alumunium tempa	.....	64
Tabel 2.8	Karakteristik pengujian kekerasan	.....	70
Tabel 2.9	Diameter penetrator	.....	72
Tabel 2.10	Diameter penetrator	.....	72
Tabel 2.11	Diameter penetrator	.....	72
Tabel 3.1	Bahan – bahan benda uji	.....	79
Tabel 3.2	Diameter diagonal hasil injakan pada sepatu rem	.....	83
Tabel 3.3	Angka kekerasan *Vikers* pada sapatu rem	.....	83
Tabel 3.4	Konversi harga kekerasan pada sepatu rem	.....	84
Tabel 3.5	Diameter diagonal hasil injakan pada rumah rem	.....	84

Tabel 3.6 Angka kekerasan *Vikers* pada rumah rem 85

Tabel 3.7 Konversi harga kekerasan pada rumah rem 85

Tabel 4.1 Nilai kekerasan pada sepatu rem 88

Tabel 4.2 Nilai kekerasan pada rumah rem 88

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebuah teknik perancangan suatu mesin atau konstruksi sebaik apapun bila tidak diimbangi dengan pemilihan material atau bahan yang tepat belum dapat dikatakan sebagai sebuah perencanaan yang ideal. Dalam memproduksi suatu barang, bahan merupakan komponen utama yang penting disamping komponen lainnya. Para perancang perlu mencermati teknik produksi dan bahan teknik yang dipakai. Bahan yang dipakai perlu dievaluasi yang mencakup sifat-sifat seperti kekuatan, kekerasan, ketahanan kimia maupun ketahanan terhadap kondisi pemakaian dan lain-lain. Pada dasarnya sifat bahan adalah konsep utama yang perlu dipertimbangkan sebagai medium pengukuran, apakah memenuhi kondisi yang berlaku atau tidak.

Distribusi tegangan bahan yang dipakai tergolong rumit dan tak hanya terbatas pada tegangan tunggal, geseran sederhana, torsi dan sebagainya, tetapi dapat diperluas sampai tensor tegangan campuran yang dapat dijumpai bila dipilih satu titik pada bahan teknik. Apabila tegangan yang dihasilkan sesuai dengan gaya beban luar tak dapat diterima lagi, maka bahan akan patah. Hal ini disebut patah liat atau patah getas, tergantung pada perpanjangannya, apakah terjadi segera sebelum robekan atau tidak, ditunjukkan jenis patahan pertama-tama adalah kelakuan khas pada logam dan terakhir pada keramik.

Setiap bahan akan patah pada tegangan tertentu. Ada beberapa sifat bahan yang harus ditinjau, yaitu jenis atom penyusun bahan itu, bentuk kristal dimana atom didislokasikan, kesempurnaan kristal, modus agregasi bila kristal saling mendekat untuk menjadi bahan, ukuran mikro kristal, distribusi dan arahnya, keadaan batas kristal, kekosongan dan ketakmurnian yang menyatu dalam kristal, retakan rambut yang terjadi pada kristal yang diteruskan lewat beberapa kristal dan selanjutnya, bukan hanya struktur dalam tetapi kondisi permukaan juga perlu diperhatikan, apakah terjadi cacat atau tidak dan apa peran dari panjang, arah, dalam serta bentuk terhadap pemusatan tegangan. Dengan demikian sifat suatu bahan ditentukan oleh perhimpunan semua . tersebut.

Kemajuan dan kepesatan perkembangan teknologi kendaraan bermotor semakin menunjukkan peningkatan yang menakjubkan. Sepeda motor yang mempunyai pasaran yang luas di kalangan masyarakat biasa semakin menunjukkan persaingan yang ketat. Pada era 70-an pasaran sepeda motor dikuasai oleh produk-produk Jepang antara lain : Honda, Yamaha, Suzuki atau Kawasaki. Tetapi di awal tahun 2000 ini sepeda motor produk Cina mulai memasuki pasaran Indonesia. Perkembangan produk sepeda motor tersebut, tentu saja tidak bisa terlepas dari perkembangan produk komponen – komponen pendukungnya (*spare parts*) . Komponen suku cadang yang cukup dan mudah didapatkan akan meningkatkan kepuasan dari konsumen. Hal ini menyebabkan persaingan kualitas dan kuantitas suku cadang dari berbagai merk semakin ketat, di samping harga yang murah, konsumen juga

menuntut kualitas bahan yang baik. Persaingan sepeda motor dari produksi Jepang dan produksi Cina dapat dibaca di berbagai media.

Pada karya ini penulis akan berusaha mengungkap sifat apa saja yang terdapat pada komponen suku cadang sepeda motor produksi Jepang dengan produksi Cina. Komponen suku cadang yang penulis pilih adalah rumah dan sepatu rem kendaraan bermotor merk Sanex dan Honda. Pengujian demi pengujian akan dilakukan sebagai dasar penulisan ini.

1.2 Rumusan Masalah.

Penelitian sifat fisis dan mekanis rumah dan sepatu rem kendaraan bermotor roda dua merek Sanex dan Honda.

1.3 Batasan Masalah.

Pembatasan hanya pada jenis bahan rumah dan sepatu rem yaitu besi cor, sehingga penulis hanya akan mengungkapkan .istik bahan tersebut, terutama setelah melakukan pengujian.

1.4 Tujuan Penelitian.

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui sifat rumah dan sepatu rem yang dipakai pada kendaraan bermotor merk Honda dan Sanex.

1.5 Metode Penelitian.

1. Menentukan jenis rumah dan sepatu rem yang akan digunakan sebagai sampel.
2. Mengukur dimensi benda uji.

3. Menentukan jenis pengujian yang sesuai dengan tujuan.
4. Hipotesa terhadap benda uji, berdasar pada teori-teori yang ada.
5. Melakukan pengujian terhadap sampel.
6. Mengumpulkan data hasil pengujian.
7. Menganalisa kandungan yang terdapat di dalam benda uji.
8. Membandingkan .istik secara teoritis pada rumah dan sepatu rem dengan setelah dilakukan pengujian..
9. Menarik kesimpulan dari penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Sepeda motor dapat dikurangi kecepatannya secara perlahan atau dihentikan mendadak dengan menggunakan rem. Dilihat dari cara kerjanya rem dibedakan menjadi rem mekanik dan rem hidrolik. Sedangkan dilihat dari jenisnya rem dibedakan menjadi rem tromol dan rem cakram.

Rem tromol mekanik paling banyak digunakan pada sepeda motor. Pada rem tromol mekanik gerakan kanvas menekan tromol berasal dari putaran kam. Kam tersebut digerakkan oleh tarikan kawat rem. Kawat rem dihubungkan ke pedal rem atau handle rem pada stang kemudi. Kampas terdorong kesamping oleh gerakan kam. Jika handle atau pedal dibebaskan maka kampas akan kembali ke posisi semula oleh gaya pegas. Komponen rem tromol mekanik terdiri atas : Tromol, kampas rem, pegas pengembali. Kam penggerak, pen dan kawat rem.

Silinder roda ditempatkan pada unit rem. Jika tekanan handle rem diteruskan pada kawat rem, maka silinder roda akan menekan kampas rem ke samping. Tekanan kampas rem tersebut menimbulkan gesekan yang kuat antara kampas dan tromol rem sehingga putaran roda terhambat.

Tromol rem adalah tempat tumpuan kampas rem waktu menggesek. Pada saat terjadi gesekan suhu tromol sangat tinggi. Oleh karena itu tromol rem diberi sirip-sirip untuk memperluas bidang pendinginan, sehingga

pendinginan lebih efektif. Permukaan dalam tromol rem harus rata dan tidak licin agar pengeremen baik dan tidak menimbulkan getaran. Tromol biasanya dibuat dari besi tuang/ cor (besi tuang kelabu). Untuk menahan air dan debu tromol diberi alur. Jika ada air yang masuk, maka air akan mengalir lewat alur dan keluar lewat lubang aliran sehingga bagian dalam tromol bebas dari air.

Kampas rem merupakan komponen penggesek. Pada saat sepeda motor di rem kampas menekan tromol dari dalam. Tetapi karena tromol berputar cepat terjadi gesekan yang keras antara tromol dan kampas rem. Kampas rem dibuat dari tenunan asbes bercampur aspal dan karet buatan. Kadang serat asbes dipintal dengan memakai kawat-kawat tembaga yang halus dan dicampur dengan serat kapas.

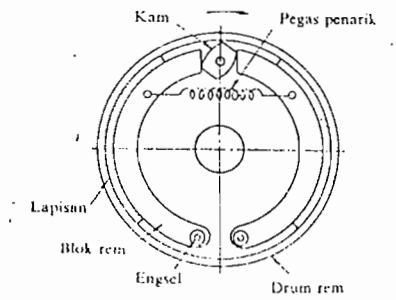
Pegas pengembali adalah pegas spiral yang terbuat dari bahan baja. Pegas pengembali berfungsi untuk menarik kembali kampas ke posisi semula setelah pengereman. Gaya pegas harus memenuhi kebutuhan untuk dapat menarik kampas rem. Oleh karena itu pegas yang lemah harus segera diganti.

Pada rem tromol mekanik kam penekan kampas rem ada yang menggunakan satu buah rem ada pula yang menggunakan dua buah kam. Rem yang hanya menggunakan satu buah kam sebagai penggerak kampas rem disebut model *leading trailing*, sedangkan yang menggunakan dua buah kam di sebut *two leading*.

Pada tipe *leading trailing* kedua kampas hanya digerakkan oleh satu kam. Dengan demikian bila tromol berputar ke kanan maka kampas sebelah kiri akan tertarik oleh putaran tromol sehingga kemungkinan kampas ini selip,

sedangkan kampas sebelah kanan justru menghasilkan peningkatan gaya pengereman.

Pada tipe *two leading* digunakan dua buah kam sebagai penggerak kampas ke samping. Kam dipasang di bagian atas dan di bagian bawah sehingga masing-masing kampas digerakkan oleh sebuah kam. Pada saat sepeda motor di rem maka ke dua kampas rem dapat menghasilkan penguatan gaya pengereman. Tentu saja masing-masing tipe mempunyai kelemahan dan kelebihan. Kelebihan *two leading* adalah pada saat sepeda motor bergerak maju maka kemampuan rem sangat baik tetapi jika suatu hal sepeda motor bergerak mundur maka kedua kampas rem akan selip sehingga kemampuan pengereman akan kurang. Hal ini berbeda dengan tipe *leading trailing* dimana baik sepeda motor maju atau mundur kemampuan rem sama meskipun tidak maksimal.



Gambar 2.1 Sistem *leading trailing*

Kelebihan dan kekurangan rem model tromol adalah :

Kelebihan :

1. Lapisan rem terlindung terutama dari air , debu dan benturan.
2. Dapat menghasilkan gaya rem yang besar untuk ukuran rem yang kecil.
3. Umur lapisan rem cukup panjang.

Kelemahan :

1. Konstruksinya agak rumit.
2. Pendinginan pada rem lebih kurang karena posisi tertutup.

2.2. Tinjauan mekanis

Dalam tinjauan mekanis rem tromol ini, penulis membuat perhitungan yang umum dan sederhana karena yang akan ditinjau secara mendalam adalah tinjauan material/ sifat fisisnya. Parameter-parameter dalam perhitungan ini adalah menurut hasil pengukuran dimensi rumah rem dan sepatu rem, sedangkan asumsi-asumsi tertentu berguna untuk mempermudah perhitungan. Asumsi-asumsi yang penulis buat tentunya tidak menyimpang dari kondisi sebenarnya sehingga tidak menyimpang dari kaidah teknik.

Dalam tinjauan mekanis ini perhitungan yang dipergunakan adalah untuk menghitung berapa besarnya gaya yang bekerja pada sebuah sepatu rem dan juga besarnya gaya gesek pada permukaan rumah rem (tromol). Hasil yang di dapat dari perhitungan besarnya gaya nantinya dapat untuk mengetahui berapa temperatur/ panas yang terjadi akibat gesekan sepatu dengan tromol rem.

2.2.1 Perhitungan gaya-gaya yang terjadi

Besarnya gaya – gaya yang terjadi pada sepatu rem dapat dihitung dengan rumus [1] :

$$\frac{Wv^2}{2g} = \frac{(fxd)}{D} xSxl \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.1)$$

Sedang untuk gaya tiap sepatu adalah :

Sepatu depan [2] : $-Fxa - f_1xe + \left(\frac{f_1}{0,38}\right)xb = 0$ ..... (2.2)

Sepatu belakang [3] : $Fxa - f_1xe - \left(\frac{f_1}{0,38}\right)xb = 0$ ..... (2.3)

Dimana :

W = Berat total system (berat kendaraan + penumpang).

D = Diameter ban efektif.

d = Diameter dalam drum/ tromol.

v = kecepatan kendaraan.

S = Jarak pengereman.

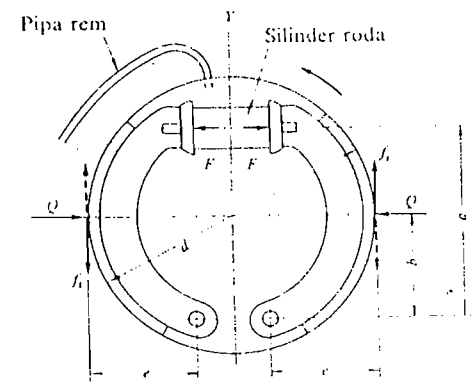
Untuk dimensi-dimensi lain bisa dilihat dari gambar 2.2

---

[1] Sularso, Kiyokatsu Suga. Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, (Jakarta:PT. Pradya Paramita), hal 86.

[2] Ibid. hal 86

[3] Opcit. Hal 86



Gambar 2.2 dimensi-dimensi dalam perhitungan gaya rem.

2.2.2 Keausan bahan karena gesekan

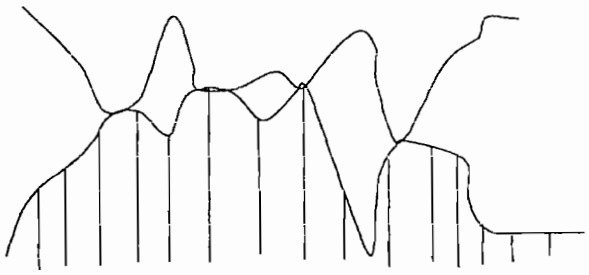
Tromol dan kampas rem dalam operasi kerjanya akan saling bergesek. Bila dua buah benda saling bergesek (baik logam maupun non logam) akan menyebabkan keausan. Keausan karena gesekan dua buah benda menimbulkan lepasnya partikel benda (dipermukaan benda) yang lebih lunak. Hal ini disebabkan karena permukaan sebuah benda tidak ada yang rata sempurna. Serata apapun permukaan suatu benda/ logam pada dasarnya merupakan sebuah profil yang naik-turun.

Pada saat terjadi gesekan antara dua buah logam maka pada sisi tinggi benda yang lebih lunak akan terdeformasi. Hal ini menimbulkan lepasnya sejumlah partikel benda itu. Sehingga lama-kelamaan hal itu akan menimbulkan pengikisan (abrasi) dari permukaan. Fenomena inilah yang disebut keausan.

Ada berbagai bentuk keausan permukaan logam, yaitu ;

1. Keausan logam dan non logam, keausan ini disebabkan karena gesekan dari dua buah benda yang terdiri dari logam dan non logam. Seperti pada gesekan rem, terjadi gesekan antara logam dari rumah rem (tromol) dan sepatu (kampas) dari asbestos.
2. keausan logam dan logam, keausan ini disebabkan karena gesekan dari dua buah benda yang keduanya dari logam. Contoh dari bentuk keausan ini adalah pada roda gigi transmisi.
3. Keausan Abrasif, keausan ini disebabkan karena terjadinya kontak antara logam dengan lingkungan sekitar seperti : udara, bahan kimia, air dll. Contoh pada keausan ini adalah mekanisme korosi pada logam.

Dibawah ini adalah gambar permukaan dua buah benda yang bergesek.



Gambar 2.3 Profil permukaan permukaan yang bergesek

2.3. Tinjauan fisis

Material pada rumah rem dan sepatu rem adalah alumunium dan besi tuang/ cor. Besi cor adalah paduan besi yang mengandung karbon, silisium,

mangan, fosfor, dan belerang. Besi cor ini digolongkan menjadi enam macam yaitu : besi cor kelabu, besi cor kelas tinggi, besi kelabu paduan, besi cor bergrafit bulat, besi cor yang dapat ditempa dan besi cor cil.

Struktur mikro dari besi cor terdiri dari ferit atau perlit dan serpih karbon bebas. Perlit merupakan campuran khusus terdiri dari dua fasa dan terbentuk sewaktu austenit dengan komposisi eutektoid bertransformasi menjadi ferit dan karbida. Karbon dan Silisium ternyata mempengaruhi struktur mikro, ukuran serta bentuk dari karbon bebas dan keadaan struktur dasar berubah sesuai dengan mutu dan kwantitasnya. Disamping itu ketebalan dan laju pendinginan mempengaruhi stuktur mikro.Kekuatan dari besi cor kelabu kira-kira 10-30 kg/mm^2, sangat getas, titik cairnya kira-kira 1200^0 C dan mempunyai mampu cor sangat baik serta murah, sehingga besi cor kelabu ini sering digunakan paling banyak untuk benda-benda coran.

Besi cor kelas tinggi mengandung lebih sedikit karbon dan silikon, ukuran grafit bebasnya agak kecil, dibanding dengan besi cor kelabu, sehingga kekuatan tariknya lebih tinggi yaitu kira-kira 30-50 kg/mm^2 dan memproduksi besi cor kelas tinggi lebih susah dibanding dengan besi cor kelabu.

Besi cor kelabu paduan mengandung unsur-unsur paduan dan grafit, mempunyai struktur yang stabil sehingga sifat-sifatnya lebih baik. Dilihat dari unsur-unsur paduan yang ditambahkan, ada dua hal yang perlu ditambahkan pertama hanya beberapa persen saja dan yang kedua lebih banyak. Unsur-unsur yang ditambahkan itu adalah khrom, nikel molibden, vanadium, titan dan sebagainya, sehingga ketahanan panas, ketahanan aus, ketahanan korosi

dan mampu mesin dari besi cor mampu ini baik sekali berkat adanya unsur-unsur tersebut.

Besi cor mampu tempa dibuat dari besi cor putih, yang dilunakan dalam sebuah tanur dalam waktu yang lama. Struktur sementit dari besi cor putih berubah menjadi ferit atau perlit dan karbon yang tertemper mengendap. Menurut struktur mikronya ada tiga macam besi cor mampu tempa, yaitu besi cor mampu tempa perapian hitam, besi cor mampu tempa perapian putih, dan besi cor mampu tempa perlit. Besi cor macam ini sangat baik keuletannya dan perpanjangannya dibandingan dengan besi cor kelabu, tetapi harganya mahal karena proses pelunakan, lagi pula tidak cocok untuk coran yang tipis dan kecil karena sebelum proses pelunakan keuletannya berkurang.

Besi cor grafit bulat dibuat dengan jalan mencampurkan magnesium, kalsium atau serium ke dalam cairan logam sehingga grafit bulat akan mengendap. Besi cor macam ini mempunyai kekuatan, keuletan, ketahanan aus dan ketahan panas yang baik sekali dibandingkan dengan besi cor kelabu.

Besi cor cil ialah besi cor yang mempunyai permukaan terdiri dari besi cor putih dan bagian dalamnya terdiri dari struktur dengan endapan grafit. Permukaannya mempunyai ketahanan aus yang baik sekali dan bagian dalamnya mempunyai keuletan yang baik pula. Besi cor demikian dipergunakan sebagai bahan tahan aus.

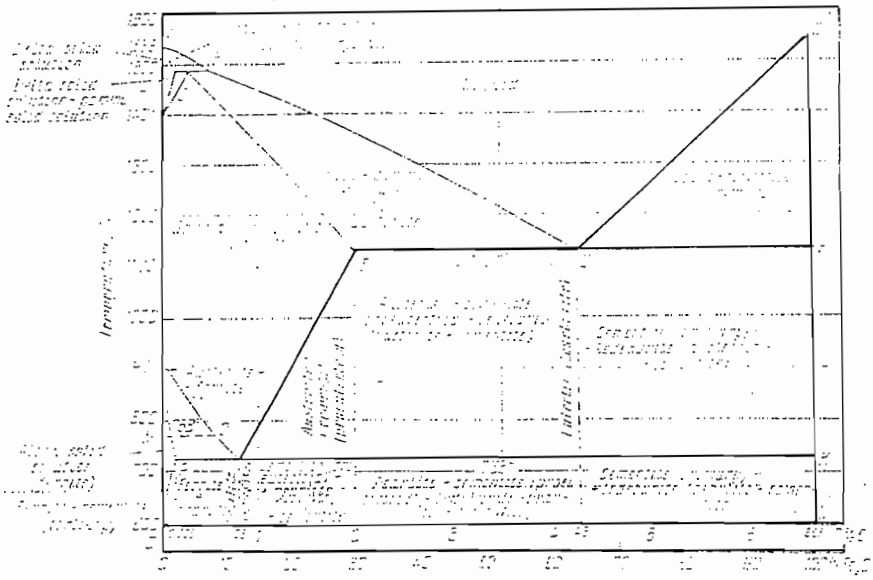
Besi cor merupakan bahan yang sangat penting, dipergunakan sebagai bahan coran lebih dari 80%. Untuk daerah komposisi kimia ditetapkan dalam diagram kesetimbangan Fe-Fe_3C pada batas kelarutan karbon pada besi γ,

yaitu mengan dung karbon 20% atau lebih, tetapi untuk besi cor pada kenyataanya terdiri dari paduan yang berkomponen banyak mengandung Si, Mn, P, S dan unsur-unsur yang lain. Tabel 2.1 memberikan ikhtisar sifat-sifat mekanis dari besi cor.

Jenis	Komposisi kimia (%)				(a) Karbon ekivalen rata-rata	Ketebalan dgam (mm)	Kekerasan Brinell	(b) Beban lentur (kg)	Defleksi (mm)	Kekuatan tarik (kgf mm²)	Keterangan
	Karbon total	Si	P	Lainnya							
Besi cor kelabu:											Kira-kira ada enam kelas di setiap standar suatu negara.
AISI Kelas 20	3,1-3,8	2,2-2,4	0,20-0,40	0,80-0,13 S	3,98	≥ 25	130-180	2000-3000	2,5-3,8	12,7-18,3	
AISI Kelas 40	2,75-3,0	1,5-1,9	0,07-0,15	0,5-0,7 Mn	3,42	≥ 25	180-217	3800-4500	7,7-9,7	28,8-31,6	
AISI Kelas 60	2,5-2,8	1,2-1,[illegible]	0,07-0,15		3,09	≥ 25	212-248	5200-6200	8,9-12,7	42,2-45,0	
Besi cor kekuatan tinggi (A. F. Meehan)	2,9-3,3	1,1-1,7	<0,12	0,8-1,0 Mn	—	≥ 22	≥ 217	1400-1660	7-8,5	≥ 35,0	
Besi cor maleabel inti kelabu	2,30-2,50	0,90-1,20	<0,1	0,20-0,35 Mn	—	—	114-140	—	—	≥ 35,0	JIS Kelas 3
" (perlit)	"	"	"	"	—	—	201-269	—	—	≥ 60,0	JIS Kelas 3
Besi cor nodular 1	3,4-4,1	2,1-2,7			—	—	120-190	—	—	≥ 40,0	Jis Kelas 1 dinormalkan dicelup dingin dan ditemper.
" 4	—	—	—	0,04 ≤ Mg	—	—	230-350	—	—	≥ 70,0	

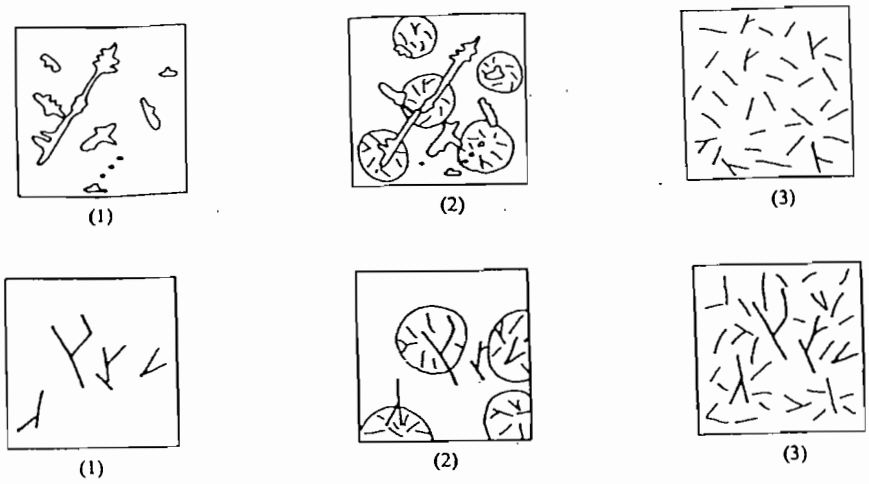
(Sumber : Pengetahuan Bahan Teknik, Tata Surdia, Pradya Paramita hal 113)

Dari diagram kesetimbangan Fe-C pada gambar 2.4, bila besi cor dari hipoeutektik atau hipereutektik didinginkan akan membeku menjadi kristal berupa austenit primer (grafit primer) setelah sampai pada garis cair seperti ditunjukan pada gambar 2.5 secara skematik.



Gambar 2.4. Diagram kesetimbangan Fe-Fe_3C

(a) **Besi cor hipoeutektik**
(1) Pengristalan kristal primer γ dalam fasa cari
(2) Petrumbuhan γ dan grafit sel eutektik
(3) Penyebaran grafit serpih dalam fasa γ



(b) **Besi cor hipereutektik**
(1) Pengristalan kristal primer grafit dalam fasa cair
(2) Pertumbuhan γ dan grafit sel eutektik
(3) Penyebaran grafit serpih dalam fasa dasar γ

Gambar 2.5 : Pembekuan besi cor kelabu
(*H. Morrogh: J. Iron steel Inst.* 206. 1968, I)

Untuk temperatur eutektik, fasa berupa grafit-austenit menginti kemudian tumbuh di sekitar kristal primer. Pada saat itu grafit tumbuh ke segala arah dan membentuk cabang-cabang sesuai dengan laju pertumbuhan akibatnya akan terbentuk kumpulan-kumpulan eutektik yang hampir menyerupai bentuk bola. ini dinamakan sel eutektik. Pada batas sel eutektik ini berkumpul cairan yang mempunyai titik cair rendah mengandung unsur lain, kemudian membeku dan selanjutnya pembekuan berakhir. Jadi struktur besi cor terdiri dari grafit yang berbentuk serpih-serpih berada pada matrik besi.

Pada umumnya patahan besi cor mempunyai warna kelabu yang disebabkan oleh grafit yang terjadi pada waktu pembekuan, besi cor yang demikian disebut besi cor kelabu. Bila laju pendinginan tinggi, Fe_3C-austenit dari eutektoid mengkristal yang menunjukan patahan berwarna putih, oleh karena itu besi cor ini disebut besi cor putih.

Besi cor akan terbentuk grafit atau sementit tergantung dari laju pendinginannya, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh komposisi kimianya.

2.4 Struktur Mikro

2.4.1 Struktur Besi Cor

Struktur dari besi cor terdiri dari : grafit, ferit, sementit dan perlit. Macam dari besi cor yang banyak dipakai ialah besi cor kelabu, dimana grafit atau karbon bebas yang terdapat terbesar dalam bentuk serpih. Tetapi kadang-kadang dipergunakan besi cor bergrafit bulat, dimana terdapat endapan grafit yang bulat, atau dipergunakan juga besi cor putih di mana semua karbon terikat dalam sementit. Kecuali grafit, struktur utamanya disebut matriks, dan struktur dasar dari matriks terdiri dari ferit, sementit dan perlit. Perlit adalah struktur yang berbentuk lapisan dari ferit yang liat dan sementit yang keras dan getas. Perlit itu ulet dan baik sekali ketahanan ausnya, sehingga untuk besi cor kelas tinggi perlu mempunyai matriks perlit. Ferit dalam besi cor adalah feritsilisium, yang liat tetapi tetapi tidak diingkan dalam jumlah banyak karena apabila berlebihan akan merusak sifat-sifatnya. Kadang-kadang matriksnya diubah menjadi ferit untuk mendapat sifat liat dalam besi cor mampu tempa atau besi cor bergrafit bulat.

Struktur tidak membentuk matriks sendirian tetapi terpisah dalam matriks atau membentuk struktur eutektik dengan austenit, atau tersisihkan sebagai stedit bercampur dengan fosfida besi. Sementit sangat keras dan merusak

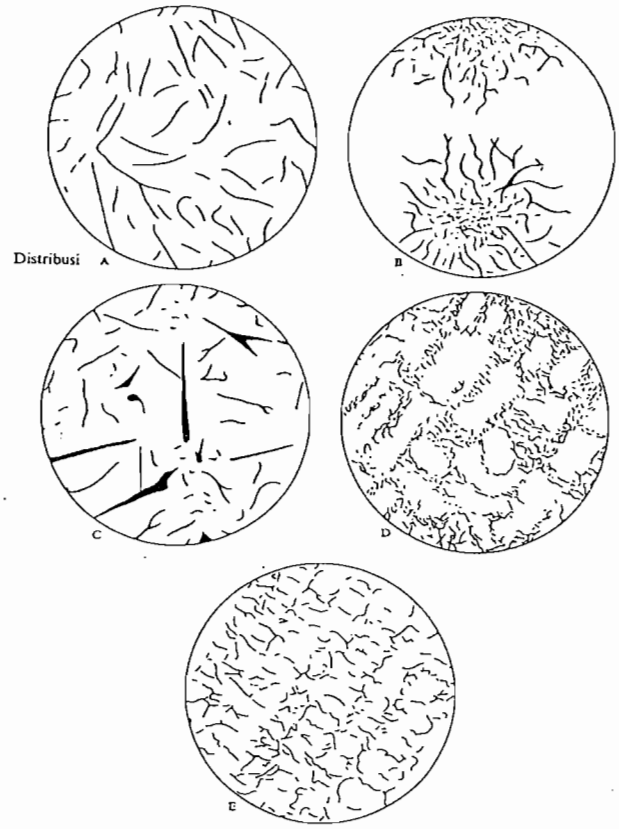
mampu mesin, sehingga pengendapan sementit lebih baik dihindari kecuali untuk mendapat sifat tahan aus.

2.4.2 Struktur Grafit

Grafit adalah satu bentuk kristal karbon yang lunak dan rapuh, mempunyai kebesaran Brinell H_B kira-kira 1, kekuatan tariknya kira-kira 2 kg/mm^2 dan berat jenisnya kira-kira 2,2. Dalam struktur besi cor biasa 85% dari kandungan karbon berbentuk sebagai grafit. Dalam struktur mikro, ada bermacam bentuk dan ukuran dari potongan-potongan grafit ini memberikan pengaruh yang besar terhadap sifat-sifat mekanis besi cor. Sebagai contoh besi cor kelabu yang mengandung 3,6% karbon dan 2,1% silisium, mempunyai serpih-serpih grafit dan kekuatan tarik 18 kg/mm^2, sedangkan besi cor bergrafit bulat yang mempunyai kandungan karbon silisium yang sama dan berkekuatan tarik 55 sampai 70 kg/mm^2. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan bentuk dari potongan-potongan grafit, dimana serpih-serpih grafit mengalami pemusatan tegangan pada ujung-ujungnya, bila suatu gaya bekerja tegak lurus pada arah serpih, sedangkan grafit bulat tidak mengalami hal tersebut.

2.4.3 Bentuk-bentuk Potongan Grafit dalam Besi Cor

Pada Gambar 2.6 ada lima macam bentuk yang umum dari potongan-potongan grafit dalam besi cor kelabu.



Gambar 2.6 Bentuk khusus dari distribusi grafit dalam besi cor kelabu
(Sumber : Tata Surdia, Kenji Chijiiwa, Teknik Pengecoran Logam, hal. 21)

Macam A : Terbagi rata, orientasi sebarang.

Macam ini mempunyai serpih-serpih grafit yang terbagi rata dan orientasinya sembarang. Keadaan ini timbul dalam besi cor kelas tinggi yang mempunyai matriks perlit dan ukuran grafit yang cocok. Selanjutnya potongan-potongan grafit yang bengkok memberikan kekuatan yang tertinggi pada besi cor. Untuk mendapat potongan-potongan grafit yang bengkok, pengendapan kristal-kristal mula harus ditingkatkan untuk membengkokkan potongan-potongan grafit tersebut austenit proeutektik. Besi cor dengan kandungan karbon tinggi sukar mempunyai potongan-potongan grafit bengkok disebabkan oleh sedikitnya pengendapan kristal-kristal mula.Untuk mendapatkan struktur serupa itu, perlu mengatur bentuk potongan-potongan grafit dengan menghilangkan oksid dan inokulasi penggrafitan dari besi cair.

Macam B : Pengelompokan " Rossete ", orientasi sebarang.

Macam grafit pengelompokan ini adalah salah satu dari sel eutektik, yang mempunyai potongan-potongan eutektik halus dari grafit di tengah dengan serpih-serpih grafit radial di sekitarnya. Kecenderungan pengendapan pada bagian tipis dan daerah bagian tengah eutektik berubah sesuai dengan komposisi dan keadaan pendinginan. Kadang-kadang tidak ada daerah eutektik dan hanya mengendap serpih-serpih grafit radial.

Bila besi cair agak sedikit dioksidasi, potongan-potongan grafit pengelompokan *rossete* dengan grafit eutektik cenderung untuk mengendap, sedangkan laju pendinginan yang besar atau kandungan silisium yang tinggi menyebabkan pengendapan ferit di tengah-tengahnya. Grafit bentuk ini muncul bersama dengan grafit macam A dalam coran-coran yang tipis.

Besi cor yang memerlukan kekuatan tarik 25 sampai 30 kg/mm^2 paling banyak dibolehkan adanya pengelompokan *rosette* 20 sampai 30% dengan daerah eutektik yang sedikit.

Pengelompokan potongan grafit *rosette* tersebar padat dalam besi cor yang mempunyai kandungan karbon tinggi karena banyak pengendapan grafit, sehingga struktur menjadi lemah dan bagian-bagian tengahnya retak dan bisa jatuh oleh gaya potong pada waktu dikerjakan dengan mesin yang mengakibatkan adanya lubang-lubang kecil. Bila ferit mengendap kecenderungan lebih banyak.

Macam C : Ukuran serpih saling menumpuk, orientasi sebarang.

Struktur ini muncul pada sistem hipereutektik. Jumlah grafit begitu banyak sehingga ferit sangat mudah mengendap. Pada struktur ini, kristal-kristal mula dari grafit yang panjang dan lebar ditumpuki dan dikelilingi oleh serpih-serpih grafit yang mengkristal di daerah eutektik. Struktur demikian begitu lemah yang disertai pengendapan ferit, karena itu tidak banyak dipakai.

Macam D : Penyisian antar dendrit, orientasi sebarang.

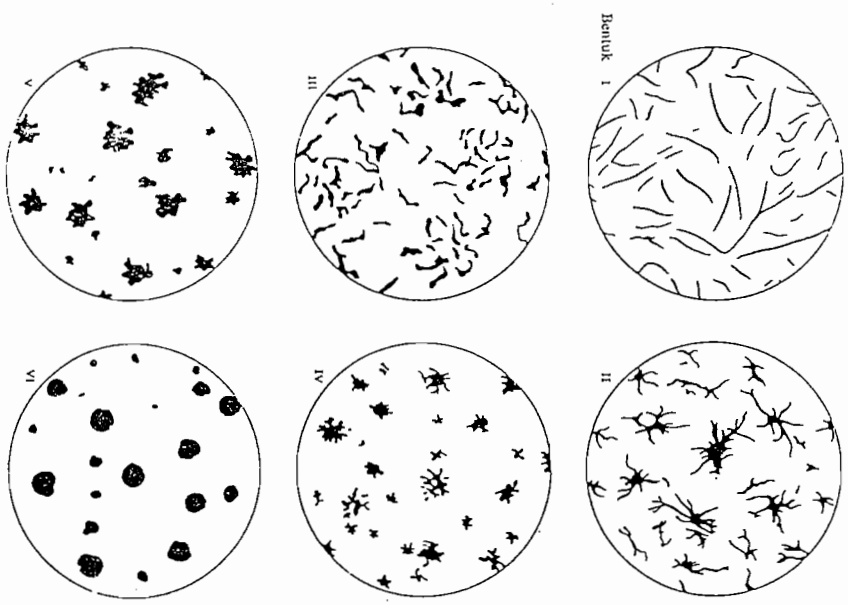
Struktur ini mempunyai potongan-potongan grafit eutektik yang halus, dan mengkristal di antara dendrit-dendrit kristal mula dari austenit. Ini muncul dengan adanya dingin lanjut dalam pembekuan eutektik. Satu dari keadaan dingin lanjut adalah oksidasi dalam pencairan, yang cenderung membentuk struktur macam ini. Keadaan ini umumnya diperbaiki oleh inokulasi penggrafitan, walaupun perbaikan itu tidak begitu jelas, kalau besi cor cair dalam keadaan oksidasi. Hal ini kadang-kadang muncul dan mengembang di tengah-tengah *rosette* macam B, dan kadang-kadang juga disisihkan di daerah yang membeku terakhir di tengah-tengah coran yang tebal. Matriks macam ini sering berisi ferit yang menyebabkan lemah.

Macam E : Penyisihan antar dendrit, orientasi tertentu.

Macam grafit ini muncul bila kandungan karbon agak rendah, sangat mengurangi kekuatan karena jarak yang dekat antara potongan-potongan grafit seperti pada macam D. Tetapi kadang-kadang kekuatannya tinggi, yang disebabkan karena kandungan karbon yang rendah dan berkurangnya pengendapan grafit.

2.4.4 Bentuk Potongan Grafit pada Besi Cor Bergrafit Bulat

Besi cor bergrafit bulat mempunyai berbagai bentuk potongan-potongan grafit yang ditunjukan pada gambar 2.5 sesuai dengan keadaan berbagai keadaan pengkristalannya. Bentuk-bentuk lain selain bulat, memberikan pengaruh yang sangat pada sifat-sifat mekanisnya, juga struktur-strukturnya (setelah gambar III) adalah lebih kuat dari besi cor kelabu. Besi cor bergrafit bulat sebagian berisi grafit tidak berbentuk bulat, namun besi ini masih banyak dipakai. Standar umum dari besi cor bergrafit bulat menghendaki kekuatan tarik lebih dari 55 kg/mm^2 setelah dicor, dan sebaliknya grafit berbentuk bulat seluruhnya untuk mendapat kekuatan tersebut.

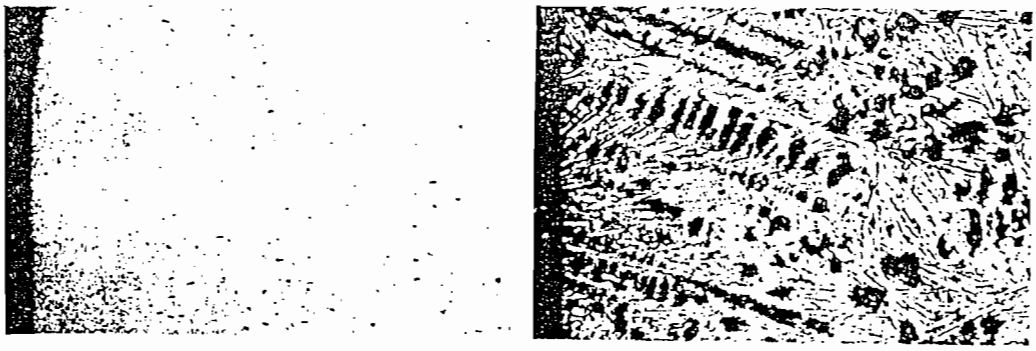


Gambar 2.7 Bentuk distribusi grafit dalam besi cor bergrafit bulat
(Sumber : Tata Surdia, Kenji Chijiwa, Teknik Pengecoran Logam, hal. 23)

2.4.5 Struktur Coran Cil

Struktur dari coran cil muncul apabila logam cair yang kandungannya cocok, dicil yaitu didinginkan secara cepat, dan kristal mula dari etektik-hiper adalah sementit, sedangkan kristal mula dari eutektik-hipo adalah austenit. Pembentukan eutektik membentuk ledeburit, yaitu struktur eutektik yang terdiri dari austenit dan sementit.

Gambar 2.8 menunjukan struktur bagian puncak poros kam, Pada potret (b) dendrit yang hitam adalah austenik proeutektik yang berubah menjadi perlit pada temperatur kamar, dan matriksnya adalah ledeburit. Pada potret (a) titik-titik pada coran cil adalah lubang-lubang halus diantara kristal-kristal dan presipitasi dari potongan-potongan grafit yang halus, yang sering menyebabkan keausan pit.



(a) 300 ×, tidak dietsa. Titik-titik hitam menunjukkan grafit halus dan lubang kecil di antara butir kristal.

(b) 300 ×, dietsa. Matriks = lideburit; dendrit hitam = Perlit dari austenit proeutektik.

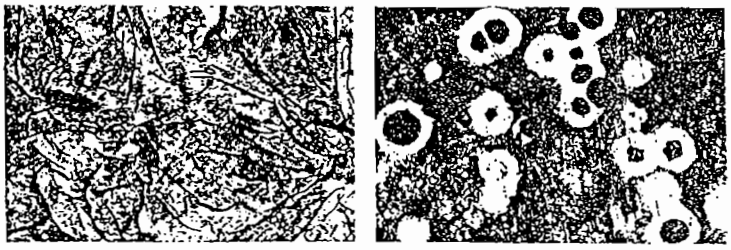
Gambar : 2.8 Struktur cil dari permukaan poros kam
(Sumber : Tata Surdia, Kenji Chijiiwa, Teknik Pengecoran Logam, hal.24)

2.4.6 Contoh-contoh Struktur Mikro dari Besi Cor

1) Contoh khas dari struktur besi cor

Pada gambar 2.9, potret (a) dan (b) masing-masing menunjukan struktur-struktur khas dari bei cor kelabu dan besi cor bergrafit bulat setelah dicor, potret (a) mengandung grafit macam A dengan sedikit grafit macam B dalam matriks perlit. Struktur ini dipakai dalam banyak penggunaan kecuali bila diinginkan bahan yang ulet. Kekuatan tariknya kira-kira 25 sampai 27 kg/mm^2 . Potret (b) mengandung potongan-potongan grafit diibungkus dalam endapan ferit dalam matriks yang hampir seluruhnya perlit, yang menunjukan struktur grafit bulat yang baik sekali. Struktur dari potongan-potongan grafit dibungkus dalam endapan ferlit yang sering muncul dalam besi cor bergrafit bulat yang disebut "mata banteng". Besi cor dengan struktur ini mempunyai kekuatan tarik 63 kg/mm^2 dan perpanjang 2,6 %.

Disamping itu bisa didapat bahan yang mempunyai perpanjangan lebih dari 10% dengan matriks ferit yang didapat melalui perlakuan panas dan bahan lain dengan kekuatan tarik 70 sampai 90 kg/mm^2 yang mempunyai matriks sorbit.



(a) Besi cor kelabu. 100 ×, dietsa.
Grafit: Macam A dengan sedikit grafit macam B. Matriks: Perlit

(b) Besi cor bergrafit bulat. 100 ×, dietsa.
Bagian putih sekeliling grafit adalah ferit.

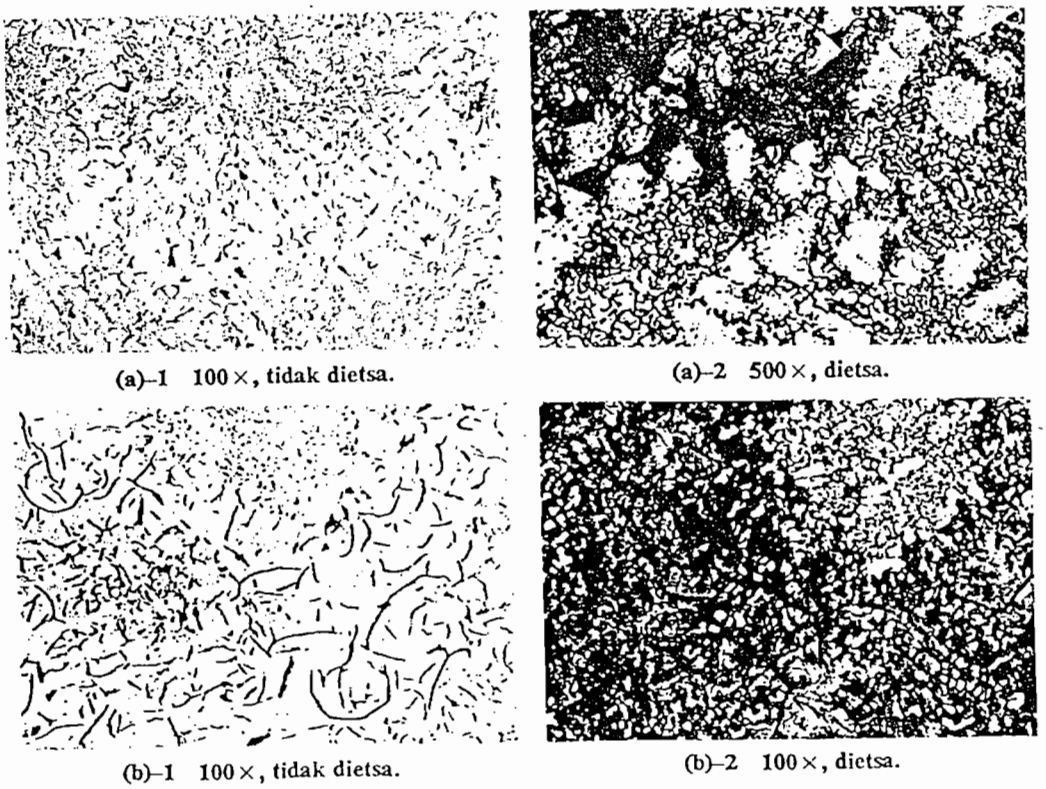
Gambar : 2.9 Struktur khusus dari besi cor
(Sumber : Tata Surdia. Kenji Chijiiwa, Teknik Pengecoran Logam, hal.24)

UNIVERSITAS SANATA DHARMA PERPUSTAKAAN YOGYAKARTA

2) Struktur luar biasa besi cor

Pada gambar 2.10, potret (a)-1 dan 2 menunjukan struktur dengan potongan-potongan grafit macam D, yaitu struktur luar biasa dari hasil pendinginan-kejutan dekat kulit coran. Ini adalah struktur yang lemah dan mengandung potongan-potongan grafit halus pada matriks yang hampir seluruhnya ferit karena pengendapan grafit yang cepat.

Potret (b)-1 dan 2 menunjukan struktur grafit macam B yang muncul dalam bagian coran dari tebal 7 mm di mana ferit diendapkan di daerah tengah dari grafit eutektik.



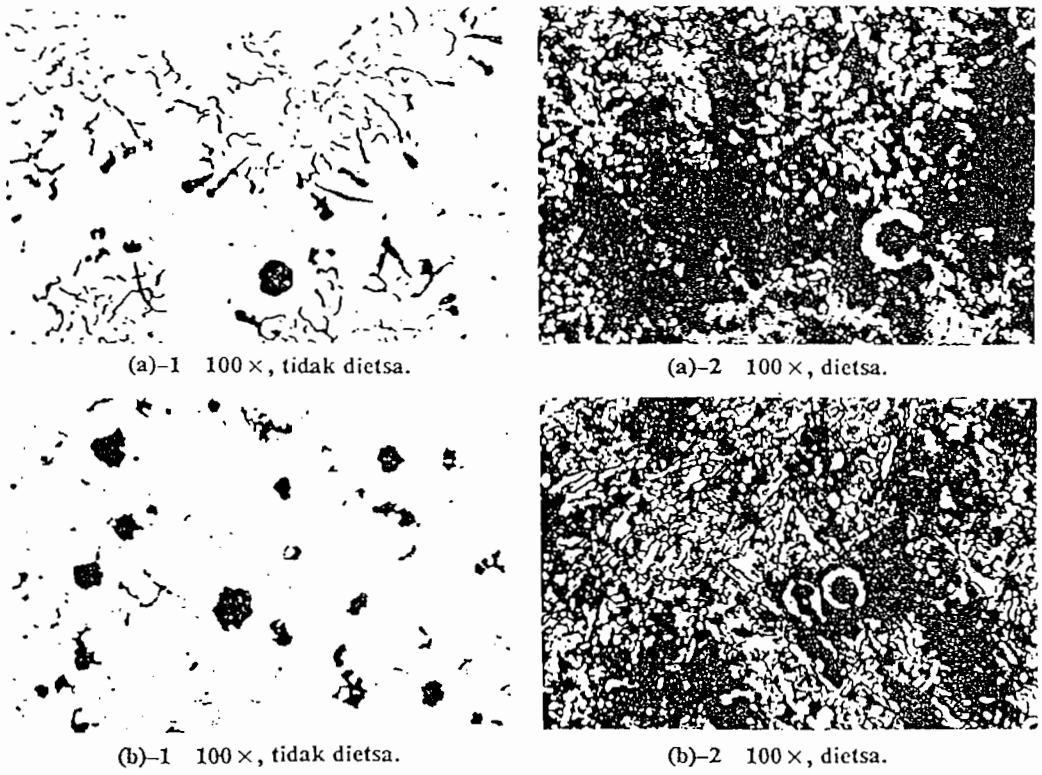
(a)–1 100×, tidak dietsa. (a)–2 500×, dietsa.

(b)–1 100×, tidak dietsa. (b)–2 100×, dietsa.

Gambar : 2.10 Struktur besi cor kelabu luar biasa
(Sumber : Tata surdia, Kenji Chijiiwa, Teknik Pengecoran Logam, hal. 25)

3) Struktur luar biasa dari besi cor bergrafit bulat

Pada gambar 2.11, potret (a)-1 dan 2 menunjukan struktur luar biasa dimana serpih-serpih grafit mengendap. Potret (b)-1 dan 2 menunjukan struktur luar biasa dimana bulatan dirubah bentuk dan sementitnya diendapkan.



Gambar : 2.11 Struktur luar biasa besi cor kelabu bergrafit bulat
(Sumber : Tata Surdia, Kenji Chijiiwa, Teknik Pengecoran Logam, hal. 26)

4) Stedit dan Mangan (MnS)

Stedit disisihkan dalam bentuk luar biasa dalam matrik perlit yang dinyatakan pada potret (a) dari gambar 2.12. Stedit ialah sistim eutektik terner dari besi γ, sementit (Fe C) dan fosfida besi (Fe P) yang sangat keras. Titik cairnya 950^0 C, sehingga cenderung untuk tersisih di daerah pembekuan akhir. Kadang-kadang besi cor dibuat supaya mempunyai kandungan fosfor yang tinggi, umpamanya untuk silinder motor bakar, agar mendapatkan aus yang tinggi, tetapi biasanya kandungan fosfor yang tinggi merusak ketahanan tekanan hidrolis. Butir-butir halus yang kelabu dalam matriks dari potret (b) adalah sulfida mangan (MnS), yang sebenarnya abu-abu merah. Besi cor ini mempunyai titik cair 1600^0 C, sehingga butir-butir MnS terjadi dalam logam cair dan terbuang sebagai kerak, tidak memberikan pengaruh kepada sifat-sifat bahan meskipun ia terkandung dalam struktur.

(a) Stedit, 500 ×, dietsa.
Bintik hitam: stedit.

(b) Sulfida mangan, 500 ×, dietsa.
Potongan-potongan halus kelabu: sulfida mangan.

Gambar : 2.12 Stedit dan sulfida mangan
(Sumber : Tata Surdia, Kenji Chijiiwa, Teknik Pengecoran logam. hal.26)

5) Bainit dan Maistensit

Pada gambar 2.13, potret (a) menunjukan matriks martensit didapat dengan pengerasan induksi dari besi cor bergrafit bulat. Bahan struktur ini sangat keras dan dipakai untuk permukaan yang mengalami gesekan dari bagian-bagian mesin yang menghendaki ketahanan aus, yang didapat dengan perlakuan panas tertentu.

Potret (b) menunjukan struktur besi cor tak bulat yang didapat dengan menambah Nikel 0,7% dan Molibden 0,7% agar menjadi kelabu. Kekuatan tariknya setelah dicor 35 sampai 45 kg/mm^2 dan matriksnya adalah bainit.

Disamping itu ada besi cor austenit yang mempunyai ketahanan aus dan ketahanan panas yang tinggi, didapat dengan menyetabilkan austenit pada temperatur kamar dengan jalan menambahkan Ni, Cr, Mo dan lain-lainnya.

(a) Martensit, 500 ×, dietsa.

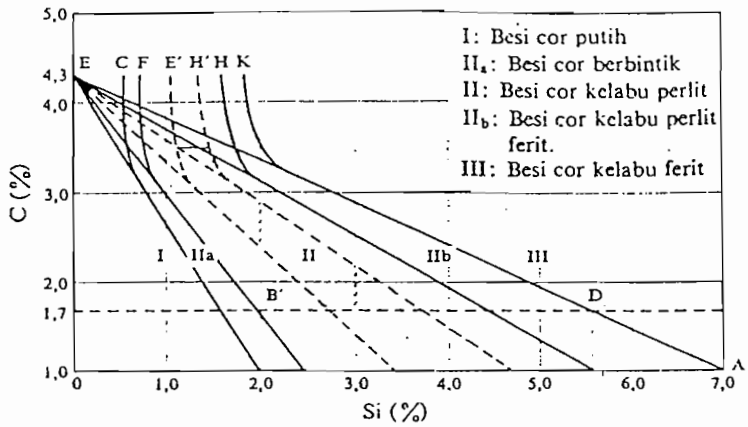
(b) Bainit, 500 ×, dietsa.

Gambar : 2.13 Martensit dan bainit
(Sumber : Tata Surdia, Kenji Chijiiwa, Teknik Pengecoran logam, hal. 27)

2.5 Pengaruh Unsur terhadap Sifat Mekanis

2.5.1 Pengaruh Karbon dan Silisium

Kandungan yang memberikan pengaruh besar pada bahan adalah karbon dan silisium. Untuk mendapat struktur yang baik, kandungan karbon harus ada pada daerah yang cocok, yang berubah menurut kandungan silisium. Silisium menggalakkan penggrafitan dan silisium yang banyak cenderung untuk membuat besi cor kelabu. Untuk besi cor diperkirakan ditentukan oleh hubungan antara kandungan karbon dan silisium. Gambar 2.14 adalah diagram MAURER, yang menunjukan korelasi tersebut pada suatu diagram. Pada diagram ini, struktur dari batang-batang uji yang bundar dengan diameter 25 mm dari berbagai komposisi dituangkan ke dalam cetakan pasir yang kering pada temperatur 1250^0 C dan didinginkan pada laju pendinginan yang tetap, digolongkan dalam 5 macam struktur. Daerah pengaruh I menunjukan besi cor putih, II menunjukan besi cor perlit, IIa menunjukan besi cor berintik dengan sementit yang terpisah, IIb menunjukan besi cor dengan ferit yang tidak mempunyai perlit dalam matriksnya dan sangat lunak. Diagram MAURER di buat dengan perumpamaan bahwa karbon dan silisium dapat saling bertukar untuk memberikan pengaruh-pengaruh pada pembentukan sturktur dan tidak mungkin dianggap sempurna.Tetapi diagram itu secara praktis dipakai, karena bagian tengah cocok dengan kasus-kasus paktis. Selanjutnya diagram ini dibuat dalam keadaan temperatur tetap, sehingga garis-garis bergeser sesui dengan laju pendinginan, yaitu laju pendinginan yang cepat menggesernya ke kanan dan laju pendinginan yang pelan menggesernya ke kiri.



Gambar : 2.14 Diagram Maurer

2.5.2. Pengaruh mangan

Mangan tidak memberikan pengaruh yang sungguh-sungguh pada struktur kecuali untuk kandungan silisium yang rendah. Mangan sendiri mencegah penggrafitan dan menggalakkan kestabilan sementit dan larut di dalamnya. Ia membuat butir-butir halus yang perlitis dan mencegah pengendapan ferit, sehingga dikehendaki penambahan mangan untuk mendapat struktur yang hanya perlit dan grafit.

2.5.3. Pengaruh fosfor

Fosfor dalam besi cor terutama berbentuk stedit (kristal eutektik dari fosfida besi), fosfor sendiri mencegah pengendapan grafit, dan bila kandungannya lebih dari 1%, sementit kasar timbul pada ledeburit. Struktur ini tidak menjadi halus meski di bawah keadaan pendinginan yang cepat. Pertambahan kandungan fosfor mengurangi kelarutan karbon dan memperbanyak sementit pada kandungan karbon yang tetap, sehingga struktur menjadi keras dan sementit sukar terurai.

2.5.4. Pengaruh belerang

Belerang mengurangi kelarutan karbon dalam besi cair, dan dapat menggalakkan penggrafitan. Kenyataannya, menambah belerang mengurangi grafit dan cenderung membentuk besi cor putih. Kecuali kasus adanya mangan, belerang cenderung membentuk sulfida besi dan menggalakkan pembentukan besi cor putih, yang kadang-kadang menyebabkan bintik-bintik keras atau kebalikan cil.

2.5.5 Pengaruh-pengaruh unsur lain

Sebagai tambahan kepada unsur-unsur yang disebut di atas, unsur-unsur yang menggalakkan penggrafitan adalah tembaga, nikel dan alumunium, dan unsur-unsur yang mencegahnya ialah khrom, molibden dan seterusnya.

2.6. Sifat-sifat coran besi cor

2.6.1 Sifat-sifat mekanis dari besi cor kelabu

Sifat-sifat mekanis besi cor kelabu menunjukan kecocokan sebagai bahan untuk bagian-bagian mesin. Sifat-sifat mekanis itu adalah kekutan tarik, perpanjangan, kekerasan kekuatan tekan, kekuatan bentur, kekuatan lentur, kekuatan lelah, kekuatan aus, mampu mesin, sifat meredam getaran dan sebagainya. Berikut ini hanya sifat-sifat penting dari besi cor yang akan dijelaskan.

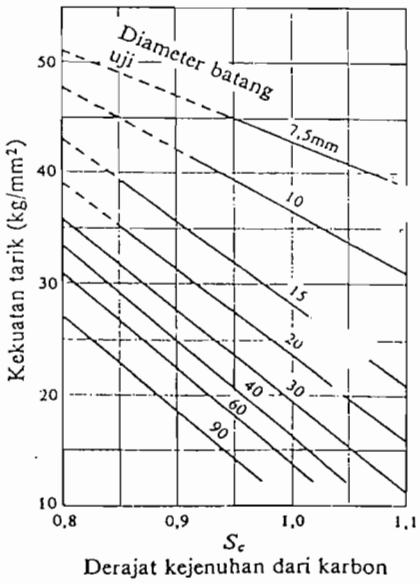
1) Kekuatan tarik dan perpanjangan

Karbon memberikan pengaruh terbesar pada kekuatan tarik besi cor kandungan karbon yang rendah meninggikan kekuatannya. Silisium

memberikan kecenderungan yang serupa tetapi lebih lemah dari karbon. Hubungan yang ditunjukan pada gambar 2.15 adalah antara "derajat kejenuhan karbon" dan kekuatan tarik. Derajat kejenuhan karbon ialah :

$$Sc = \frac{C\%}{4{,}23 - 0{,}312\%}$$

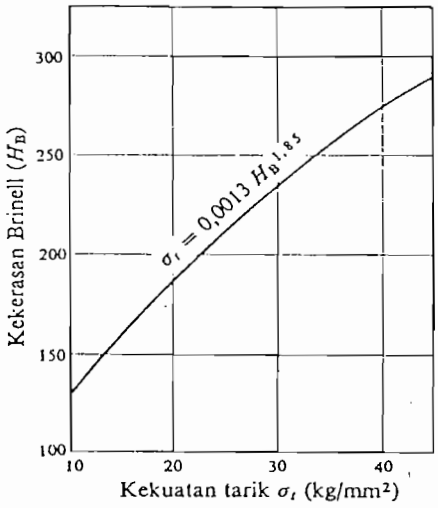
Besi cor kelabu menjadi lemah karena ferit-silisium bila kandungan silisium lebih dari 2% dan menjadi lebih getas bila prosentase silisium 2,2 sampai 2,5% atau lebih. Prosentase mangan kurang dari 1,2% menguatkan besi cor kelabu, fosfor dan belerang memberikan pengaruh kecil pada besi cor kelabu kira-kira 0,3 sampai 1,2% dan kekuatan tarik yang tinggi akan menguranginya.



Gambar : 2.15 Hubungan antara derajat kejenuhan dari karbon dan kekuatan tarik

2) Kekerasan

Kekerasan besi cor kelabu ialah 130 sampai 270 kekerasan brinel, dan sangat rapat hubungannya dengan struktur ; grafit kasar dalam matriks ferit menyebabkan kekerasan rendah dan grafit halus dan sedikit menyebabkan kekerasan lebih tinggi. Disamping itu kekerasan berbanding lurus dengan kekuatan tarik seperti gambar 2.16 dan dengan demikian memberikan cara yang efektif dalam penentuan bahan-bahan.

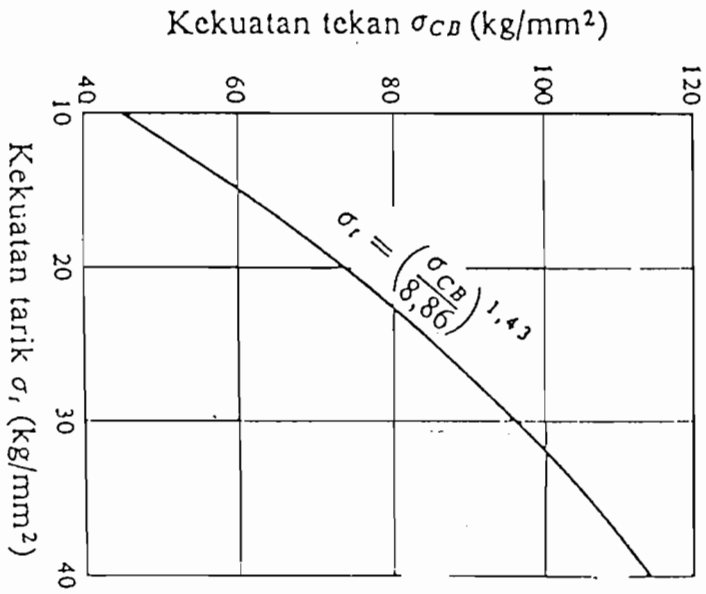


Gambar : 2.16 Hubungan antara kekerasan Brinel dan kekuatan tarik

3) Kekutan tekan

Kekuatan tekan dari besi cor kelabu adalah 3 sampai 5 kali lebih besar dari kekuatan tariknya, dan kebanyakan lebih besar dari kekuatan baja. Kekuatan

tarik yang lebih tinggi mengurangi perbandingan antara kekuatan tekan dan kekuatan tarik. Hubungan ini di tnjukan pada gambar 2.17.



Gambar : 2.17 Hubungan antara kekuatan tekan dan kekuatan tarik

4) Kekuatan bentur

Besi cor kelabu adalah getas dan lemah terhadap benturan. Terutama benturan karbon silisium dan fosfor yang lebih tinggi menyebabkan kekuatan bentur yang lebih rendah. Pengendapan sementit dan stedit mengurangi perbandingan antara kekuatan tarik dan kekuatan tekan atau kekuatan bentur.

6) Mampu mesin dan tahan aus

Besi cor kelabu adalah bahan yang mempunyai sifat mampu mesin dan tahan aus, Mampu mesinnya sangat baik karena grafit bekerja sebagai pelumas. Kekerasan dan kekuatan tarik yang lebih rendah menyebabkan mampu mesin yang lebih baik.

Dalam ketahanan ausnya struktur perlit lebih baik dari pada struktur ferit. Umumnya kekerasan yang lebih tinggi menyebabkan tahan aus yang lebih baik, umpamanya besi cor perlit yang kekerasannya lebih dari 180 sampai 200 Brinel adalah besi cor yang didinginkan. Pengaruh fosfor sangat efektif karena pengaruh stedit. Selanjutnya dalam kasus-kasus khusus ketahanan aus sangat diperbaiki oleh penambahan khrom, nikel, molibden, tembaga dan sebagainya.

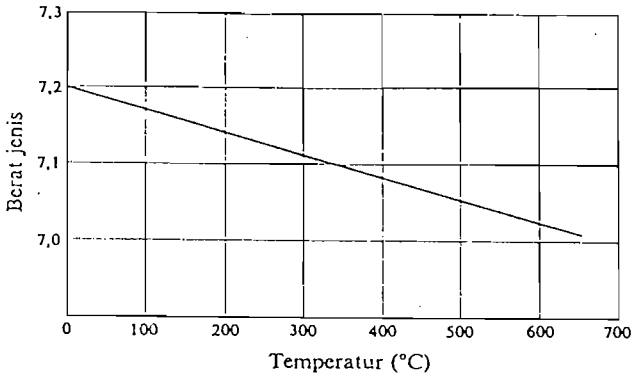
2.6.2 Sifat-sifat Fisis dan Kimia dari Besi Cor Kelabu

Struktur besi cor adalah campuran dari berbagai fasa seperti grafit, ferit, perlit, sementit dan selanjutnya stedit atau sulfida mangan, yang masing-masing mempunyai sifat-sifat sendiri. Sifat besi cor berubah menurut berbandingan campuran dari fasa-fasa tersebut. Sifat-sifat besi cor secara rata-rata dapat diuraikan di bawah ini.

1) Berat jenis

Berat jenis besi cor kelabu adalah 7,1 sampai 7,3 pada temperatur kamar, dan sangat dipengaruhi oleh kandungan grafit, sedangkan dalam keadaan cair berat jenisnya 6,75 sampai 6,95. Dalam keadaan padat, penrunan berat jenis

berbanding lurus dengan tingginya temperatur seperti ditunjukan pada gambar 2.18.



Gambar : 2.18 Hubungan antara temperatur dan berat jenis besi cor

2) Pemuaian panas

Koefisien pemuaian panas dari besi cor kelabu kira-kira 10 x $10^{-6}/^{0}C$, yang sedikit rendah dari pada baja dan lebih tinggi dibandingkan dengan koefesien pemuaian besi cor putih. Pemuaian berubah menurut komposisi, struktur dan temperatur. Ia tidak begitu banyak dipengaruhi oleh komposisi seperti sifat-sifat lainnya, ada kecenderungan untuk dikurangi oleh kandungan karbon yang lebih tinggi. Pemuaian sukar dipengaruhi oleh kandungan biasa dari unsur lain.

3) Konduktivtas listrik

Dari semua fasa pada struktur, grafit mempunyai tahanan listrik terbesar, sehingga konduktivitas listrik dipengaruhi jelas oleh kandngan grafit, distribusi dan bentuk-bentuk dari potongan grafit. Penambahan karbon dan silisium menggalakkan penggrafitan, yang mengurangi konduktivitas listrik.

Selanjutnya grafit kasar mengurangi konduktivitas listrik meskipun besi cor mempunyai kadar karbon yang sama.

4) Ketahanan korosi

Dari banyak korosi kimia dan struktur yang sangat menderita adalah ferit dan perlit lebih stabil dari pada ferit sedangkan sementit baik sekali dalam ketahanan korosi. Besi cor lebih buruk dalam ketahanan korosinya terhadap asam dibanding baja, hal itu disebabkan pengaruh sel kimia antara besi dan grafit. Tetapi ketahanan korosi dari besi cor terhadap air murni dan air laut lebih baik dari pada besi baja. Struktur yang halus dengan potongan-potongan gfafit yang halus sangat baik dalam ketahanan korosi. Ketahanan korosi sukar dipengaruhi oleh unsur-unsur lain selain karbon dan silisium, akan tetapi untuk memperbaiki ketahanan korosi sangat efektif bila ditambahkan khrom, nikel atau tembaga.

2.6.3 Sifat-sifat Besi Cor Bergrafit Bulat

Besi cor bergrafit bulat mempunyai kekuatan dan keliatan yang tinggi dan sifat-sifat yang unik dalam sifat-sifat fisik dan kimianya, sebab grafit yang rapuh dan lemah itu dalam besi cor ini berbentuk bulat. Sebagai contoh sifat-sifat mekanis dari besi cor bergrafit bulat dalam standar ISO ditunjukkan dalam tabel 2.1. Daftar ini menunjukkan bahwa kekuatan besi cor bergrafit bulat didistribusikan dalam daerah yang lebar, yang disebabkan oleh dispersi bentuk-bentuk grafit dan struktur-struktur seperti halnya pada besi cor kelabu. Besi cor ini mempunyai kekuatan lebih tinggi kalau semua potongan grafit itu berbentuk bulat, halus dan tersebar merata, walaupun coran yang sebenarnya

mempunyai bentuk grafit seperti serpih salju atau seperti ulat dan kekuatan yang lebih rendah dari pada besi cor bergrafit bulat.

Sebagai struktur matriks, matriks ferit lebih lemah dan liat, sedangkan matriks perlit agak kurang liat, sedangkan matriks perlit agak kurang liat tetapi ulet. Struktur coran yang biasa setelah dicor adalah campuran dari keduanya, dan pelunakan menyebabkan struktur ferit sedangkan penormalan menyebabkan struktur perlit.

Sementit muncul dibagian tipis dari coran yang mengalami pendinginan cepat, sehingga dengan perlakuan panas sering berubah menjadi ferit atau perlit.

Besi cor bergrafit bulat mempunai mampu keras sseperti baja, karena ia dapat dirubah menjadi matriks martensit yang kekuatan dan kekerasan yang lebih tinggi, dengan cara menemper atau kekerasan kulit. Ketahanan aus dan ketahanan panasnya lebih baik dari pada besi cor kelabu.

Macam	Kekuatan tarik. (min)	Tegangan uji 0,2% (min)	Perpan-jangan. (min)	Keterangan	
				Daerah kekerasan Brinell	Struktur utama
	kg/mm²	kg/mm²	%		
70–2	70	45	2	230–300 H_B	Perlit
60–2	60	40	2	210–280 H_B	Perlit
50–7	50	35	7	170–240 H_B	Perlit Ferit
42–12	42	28	12	150–200 H_B	Ferit
38–17	38	24	17	140–180 H_B	Ferit

Tabel : 2.2 Kekuatan tarik, tegangan uji dan perpanjangan dan keterangan lain

2.7 Struktur dan Sifat-sifat Baja

Untuk mendapatkan baja dilakukan serangkaian proses. Bijih besi yang dihasilkan tambang dilebur dalam dapur tinggi (*Blast furnace*) untuk mendapatkan bijih mentah (*Pig iron*). Besi mentah hasil dapur tinggi masih mengandung unsur-unsur C, Si, Mn, P dan S dlam jumlah yang cukup besar. Kandungan unsure-unsur tersebut perlu dikurangi agar diperoleh baja sesuai dengan keinginan. Proses pembuatan baja dapat diartikan sebagai proses yang bertujuan mengurangi kadar C, Si, Mn, P dan S dari biji mentah lewat proses oksidasi peleburan.

Baja dapat dibedakan atas beberapa kategori :

Baja karbon biasa (*plain carbon steel*)

Baja paduan rendah (high stength, low alloy steel)

Low alloy structural steel

Baja tahan karat (*stainless steel*)

Baja tuang/cor (*cast steel*)

Baja perkakas (*tool steel*)

Baja penggunaan khusus (*special purpose steel*)

2.7.1 Struktur Baja Karbon

Baja karbon adalah jenis baja yang paling awal dikenal orang. Baja ini mempunyai komponen utama Fe dan C. Kadar karbonnya lebih rendah dari besi cor dan biasanya kurang dari 1.0% C. Sebagai unsur-unsur tambahan selain karbon, baja cor mengandung 0.20 sampai 0.70% Si, 0.5 sampai 1.0% Mn, fosfor dibawah 0.06% dan belerang dibawah 0.06%.

Baja karbon masih dibedakan atas:

Tabel 2.3 Jenis baja karbon

Jenis baja	Kadungan karbon
Baja karbon rendah	0.05 % - 0.3 %
Baja karbon sedang	0.3 % - 0.5 %
Baja karbon tinggi	> 0.5 %

Struktur mikro dari baja cor mempunyai kadar karbon kurang dari 0.8% terdiri dari ferrit dan perlit. Kadar karbon yang lebih tinggi menambah jumlah perlit, dalam hal ini apabila kadar karbon diatas 0.80%, baja terdiri perlit dan sementit yang terpisah. Kadar karbon yang tinggi menambah jumlah sementit, Gambar 2.19, menunjukkan struktur mikro dari baja cor karbon yang mempunyai kadar karbon 0.2%, pada perbesaran 100X, yang didinginkan didalam tungku 950 °C setelah pengecoran. Bagian hitam adalah perlit dan bagian putih adalah ferrit. Gambar 2.15 menunjukkan struktur mikro dari baja karbon berkadar karbon 0.8% pada perbesaran 400X yang didinginkan dalam tungku 900°C, struktur perlit terlihat sangat baik.

AISI (*American Iron and Steel Institute*) dan SAE (*Sosiety of Automotive Engineers*) memberi kode untuk baja karbon biasa dengan seri 10xx, dua angka terakhir menunjukkan kandungan karbon (C) dalam baja tersebut, misalnya baja 1050, berarti mempunyai kadungan C sebesar 0.50 %. Berikut ini jenis-jenis baja menurut AISI dan SAE:

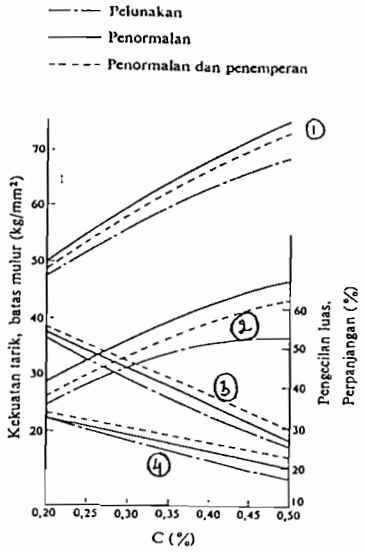
Tabel 2.4. Tata nama Baja menurut SAE dan AISI.

Seri	Elemen Tambahan	Seri	Elemen tambahan
10xx	Baja karbon tanpa S dan P	48xx	Ni : 3.50 % Mo : 0.25 %
11xx	Baja karbon dengan S	51xx	Cr : 0.8 %
12xx	Baja karbon dengan S dan P	514xx	Corrosion and resisting steels
13xx	Mn : 1.6 – 1.9 %	515xx	Corrosion and resisting steels
23xx	Ni : 3.50 %	52xx	Cr : 1.5 %
25xx	Ni : 5.00 %	61xx	Cr : 0.78 % V : 0.13 %
31xx	Ni : 1.25 % Cr : 0.60 %	86xx	Ni : 0.55 % Cr : 0.50 % Mo : 0.20 %
32xx	Ni : 1.75 % Cr : 1.00 %	87xx	Ni : 0.55 % Cr : 0.50 % Mo: 0.25 %
33xx	Ni : 3.50 % Cr : 1.50 %	88xx	Ni : 0.55 % Cr : 0.50 % Mo: 0.25 %
34xx	Ni : 3.00 % Cr : 0.80 %	92xx	Mn: 0.80 % Si : 2.00 %
303xx	Corrosion and heat resisting steels	93xx	Ni : 3.25 % Cr : 1.20 % Mo: 0.12 %
40xx	Mo : 0.25 %	94xx	Mn: 0.95 – 01.25 % Ni : 0.45 % Cr : 0.40 % Mo: 0.20 %
41xx	Cr : 1.00 % Mo : 0.2 %	97xx	Ni : 0.55 % Cr : 0.17 % Mo : 0.20 %
43xx	Ni : 1.83 % Cr 0.80 % Mo : 0.25 %	98xx	Ni : 1.00 % Cr : 0.80 % Mo : 0.25 %
46xx	Ni : 1.75 % Mo : 0.25 %		

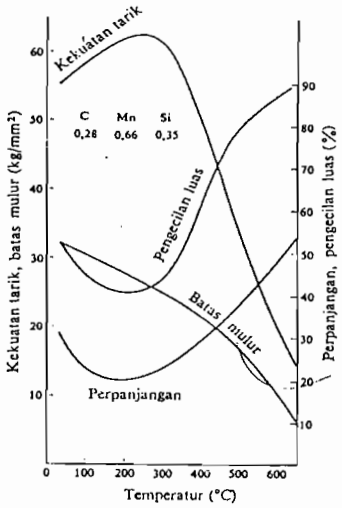
2.7.2 Sifat-sifat Baja Cor

Bila kadar karbon dari baja karbon bertambah, kekuatannya bertambah sedangkan perpanjangannya, pengecilan luas dan harga benturnya berkurang dan menjadi sukar dilas. Penambahan mangan juga memberikan kekuatan tarik lebih tinggi, tetapi pengaruhnya kurang bila dibandingkan dengan karbon.

Coran baja karbon biasanya dilunakkan, dinormalkan dan ditemper sebelum dipakai. Dibandingkan dengan melunakkan, menormalkan coran baja karbon memberikan butir-butir halus dan memberikan harga yang lebih tinggi untuk batas mulur serta kekuatan tarik. Perpanjangan dan pengecilan luas diperbaiki dengan jalan menormalkan. Perbaikan sifat-sifat baja cor dengan jalan menormalkan sangat jelas apabila kadar karbonnya lebih tinggi, apabila coran baja ditemper pada 650°C setelah dilunakkan, maka batas mulur, kekuatan tariknya menurun sedangkan perpanjangan dan pengecilan luasnya lebih baik. Gambar 2.19 menunjukkan pengaruh kadar karbon dan keadaan pengolah-panasan kepada sifat-sifat mekanis dari coran baja karbon. Gambar 2.20 menunjukkan hasil pengujian tarik dari baja cor karbon yang dinormalkan pada berbagai temperatur. Kekuatan baja cor karbon sangat turun, diatas kira-kira 300°C. Perpanjangan dan pengecilan luas turun kalau temperatur meningkat sampai 200°C dan naik diatas 200°C.



Gambar 2.19. Pengaruh kandungan karbon dan perlakuan panas pada sifat-sifat mekanik



Gambar 2.20. Data dari pengujian tarik panas dari baja cor karbon yang dinormalkan

Harga bentur baja cor turun sesuai dengan turunnya temperatur. Temperatur transisi didefinisikan sebagai temperatur pada saat harga bentur turun dengan cepat. Ini merupakan indeks yang penting untuk keuletan dari logam yang dipergunakan pada temperatur rendah.

2.7.3 Struktur dan Sifat-sifat Baja Cor Khusus

Baja cor khusus terdiri dari baja cor paduan rendah dan baja cor paduan tinggi yang dibuat dengan menambahkan macam-macam unsur paduan pada baja cor karbon. Mangan dan silisium tidak bisa dihindarkan selalu tercampur waktu pengolahan baja, sehingga dalam hal ini baja cor tidak dapat disebut baja cor khusus, kecuali unsur-unsur tersebut ditambahkan sebagai unsur paduan.

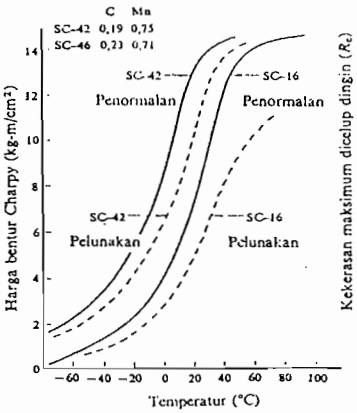
Baja disebut sebagai baja paduan rendah apabila paduannya ditambahkan 1% sampai 2% dan disebut baja paduan menengah apabila paduannya ditambahkan 2% sampai 5% dan disebut baja paduan tinggi bila unsur paduan

ditambahkan diatas harga-harga tersebut, tetapi dalam hal ini tidak dapat dibedakan secara tepat.

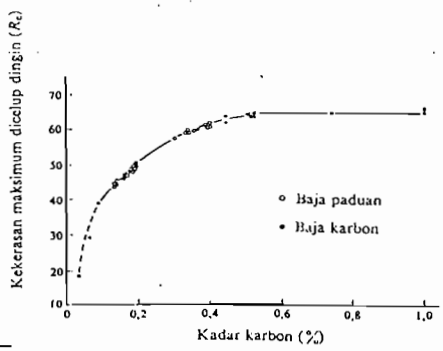
Baja cor khusus biasanya baru dipergunakan setelah melalui pencelupan dingin, penormalan dan penemperan untuk memperbaiki sifat-sifatnya.

1. *Baja Cor Paduan Rendah*

Baja cor karbon dikeraskan dan dikuatkan dengan pencelupandingin tetapi mampu kerasnya agak buruk dan hanya kulitnya saja yang keras. Lapisan mengeras menjadi lebih tebal dengan menambah Mn, Cr, Mo atai Ni. Baja tersebut boleh dikatakan mempunyai mampu keras yang tinggi. Hal itu disebabkan karbon larut dalam austenit yang menyebabkan baja menjadi keras dengan pencelupan dingin. Gambar 2.22 menunjukkan hubungan antara kekerasan yang tertinggi dari berbagai baja yang dicelup dingin terhadap kadar karbonnya. Titik-titik hitam menunjukkan harga-harga untk baja karbon. Kalau kadar karbon rendah, kekerasan tertinggi akan bertambah dengan bertambahnya kadar karbon, tetapi tidak demikian untuk kadar karbon lebih dari 0.5-0.6%.



Gambar 2.21. Harga bentur dari baja cor karbon

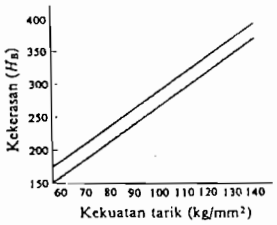


Gambar 2.22. Kadar karbon dan kekerasan maksimum baja setelah dicelup dingin

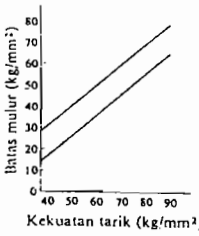
Hubungan antara kadar karbon dan kekerasan dapat dipergunakan untuk baja karbon, karena kekerasan tertinggi ditentukan oleh kadar karbon sedangkan macam atau kadar unsur-unsur paduan hanya memperdalam lapisan yang keras dan tidak menambah kekerasan.

Dalam penormalan, walaupun baja mempunyai mampu keras tinggi akan terdapat perbedaan kekerasan yang kecil antara kulit dan bagian tengahnya, tetapi kalau baja karbon dikeraskan dengan menambah unsur paduan maka kekerasan baja yang dinormalkan bertambah sebanding dengan kekuatannya.

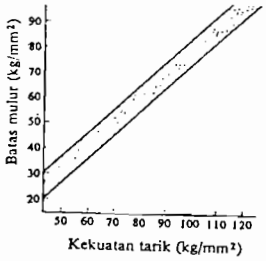
Ada hubungan yang hampir tetap antara dua sifat mekanis baja cor paduan rendah yang tidak tergantung pada komposisi kimia seperti ditunjukkan Gambar 2.23 (1) sampai (6) yaitu menunjukkan sifat-sifat macam-macam baja cor paduan rendah yang mengalami perlakuan panas baik dengan penormalan, penemperan atau dengan pencelupan dingin dan penemperan.



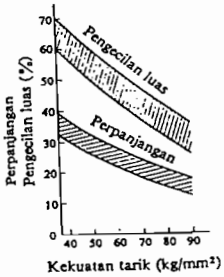
(1) Kekuatan tarik dan kekerasan Brinell baja cor paduan rendah.



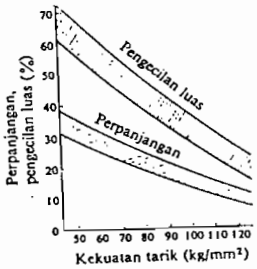
(2) Hubungan antara kekuatan tarik dan batas mulur baja cor paduan rendah yang dinormalkan dan ditemper.



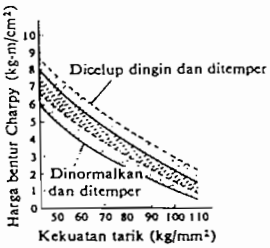
(3) Kekuatan tarik dan batas mulur dari baja cor paduan rendah yang dicelup dingin dan ditemper.



(4) Ketergantungan perpanjangan dan pengecilan luas pada kekuatan tarik dari baja cor paduan rendah setelah dinormalkan dan ditemper.



(5) Hubungan antara kekuatan tarik, perpanjangan dan pengecilan luas dari baja cor paduan rendah setelah dicelup dingin dan ditemper.



(6) Hubungan antara kekuatan tarik dan harga bentur.

Pada umumnya, sifat-sifat baja cor menjadi lebih buruk kalau masanya bertambah, karena masanya besar bagian tengahnya mempunyai kekuatan dan keuletan yang lebih buruk dibanding dengan kulitnya. Hal ini disebabkan oleh perbedaan dan perbandingan pembekuan. Bila masa menjadi lebih besar, di bagian yang lebih dekat ke tengah, pembekuannya menjadi lebih lambat dan strukturnya menjadi lebih lemah.

Baja cor paduan rendah terdiri dari beberapa macam seperti diuraikan dibawah ini:

Baja cor mangan rendah dan baja khrom mangan mempunyai mampu keras lebih tinggi dari pada baja cor karbon biasa, sehingga dengan pengolahan panas yang cocok didapat baja yang murah dan ulet. Baja cor paduan karbon rendah dipergunakan untuk bagian-bagian mesin yang memerlukan kekuatan dan keuletan, dan baja cor paduan tinggi dipakai untuk gigi dan roda karena sangat baik ketahanan ausnya.

Baja cor molibden dan baja krom molibden dipakai untuk tangki tahan panas dan tahan tekan, misalnya untuk rumah-rumah turbin. Baja khrom molibden dipakai sampai 500°C, baja cor 1 Cr-0.5 dipakai 550°C, sedangkan baja cor 1 Cr-1 Mo-1/4 V dan baja cor 5 Cr – 0.5 Mo dipakai sampai temperatur 600°C. Gambar 2.17 menunjukkan struktur mikro dari baja cor 5 Cr-0.5 Mo. Molibden ditambahkan agar dapat memperbaiki kekuatan jalar pada temperatur tinggi. Khrom tidak hanya memperbaiki ketahanan korosi pada asam dan ketahanan korosi pada temperatur tinggi saja, tetapi juga menyetabilkan karbid dan mencegah penguaraiannya (penggrafitan)

Vanadium mempunyai pengaruh memperbaiki kekuatan jalar pada baja Cr-Mo. Tangki-tangki tahan panas dan tahan tekan sering disambung las, sehingga coran sebaiknya mengandung karbon serendah mungkin. Gambar 2.24 menunjukkan struktur mikro dari baja cor 5 Cr – 0,5 Mo.

Baja Cor 5 Cr–0,5 Mo. (400 ×). Pelunakan 900°C 4 jam. Dicelup dingin di minyak dari 900°C, 2 jam. Pendinginan udara dari 700°C, 2 jam. Struktur sorbit sempurna.

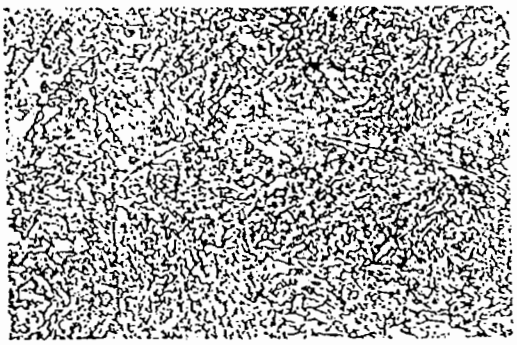
Gambar 2.24 : Baja cor 5 Cr – 0,5 Mo

2 *Baja Cor Tahan Karat*

Baja cor tahan karat adalah baja yang diperbaiki tahan korosinya dengan menambah nikel atau khrom, unsur tersebut akan memberikan ketahanan korosi dan ketahanan panas dan dingin yang baik sekali dibandingkan dengan baja karbon biasa. Baja di udara atau di dalam air akan berkarat oleh oksidasi, sedangkan baja paduan dengan kandungan khrom lebih dari harga tertentu mempunyai sifat pasif terhadap oksidasi dan bebas dari karat. Bila nikel ditambahkan, maka ketahanan korosi, keuletan pada temperatur rendah, mampu olah dan mampu lasnya sangat diperbaiki. Baja tahan karat ini dapat digolongkan menjadi : baja tahan karat martensit, austenit dan ferrit sesuai dengan struktur mikronya.

Baja tahan karat martensit mempunyai mampu-keras dan ketahanan korosi yang paling baik dalam keadaan setelah dicelup dingin dan ditemper. Contoh khas adalah baja 13% Cr yang mempunyai mampu keras sendiri dengan

pengerasan alam yaitu pendinginannya dalam udara luar. Gambar 2.25 menunjukkan struktur setelah dicelup dingin. Baja ini cocok sekali dipakai dalam atmosfer yang bersifat korosi ringan dan cocok untuk sesuatu yang memerlukan kekuatan, kekerasan dan ketahanan aus yang tinggi, sebagai contoh untuk saluran dan rumah-rumah turbin air.



Baja Cor 13 Cr (400 ×).
Dicelup dingin di minyak, 950°C 1 jam. Sedikit ferit δ tersebar di antara matriks martensit di seluruh permukaan.

Gambar 2.25. Contoh Baja cor 13 Cr

Baja cor tahan karat ferrit mengandung khrom lebih dari 16% tidak dapat dikeraskan dengan jalan pencelupan dingin. Baja ini ketahanan korosinya lebih kecil dibandingkan dengan baja tahan karat austenit, tetapi murah, sehingga sering dipergunakan untuk komponen-komponen yang berhubungan dengan industri kimia. Baja ini terutama baik sekali ketahanan korosinya terhadap asam nitrat, tetapi baja yang mengandung khrom lebih dari 18% akan kehilangan keuletannya dan akibat pengelasan akan menjadi getas dan mudah patah.

Baja cor tahan karat austenit yang khas ialah 18 Cr – 8Ni mempunyai ketahanan korosi dan sifat-sifat mekanis yang baik. Struktur sistem Fe-Ni-Cr menjadi austenit lengkap pada komposisi 18%Cr-8Ni dengan ketahanan korosi yang terbaik dan tak akan didapat kecuali bila karbon larut dalam

austenit dan tidak mengendap secara terpisah, oleh karena itu baja cor ini dipakai setelah menjadi austenit seluruhnya dan kemudian didinginkan dalam air setelah dipanaskan pada temperatur 1,000 °C-1,100°C. Gambar 2.26 menunjukkan struktur baja tersebut.

Baja Cor 18 Cr–8 Ni, (100 ×). Didinginkan di air, 1.050°C 1 jam. Matriks putih adalah austenit, ferit δ tersebar di seluruh permukaan.

Gambar 2.26. Baja Cor 18 Cr- 8 Ni, (100X)

3 *Struktur dan Sifat-sifat dari Baja Cor Tahan Panas*

Umumnya baja cor tahan panas adalah nama umum untuk baja cor yang dipakai pada temperatur tinggi yaitu diatas 650°C, terdiri dari baja cor paduan tinggi dengan khrom tinggi dan baja cor paduan tinggi dengan nikel tinggi sesuai dengan komposisi kimiannya. Perbedaan dengan baja cor tahan karat ialah kandungan karbonnya lebih tinggi dan kekuatannya yang tinggi pada temperatur tinggi. Sifat-sifat yang harus dipunyai oleh baja cor tahan panas sebagai berikut:

Kestabilan permukaan (tahan korosi dan tahan asam yang baik).

Kekuatan jalar pada temperatur tinggi.

Keuletan pada temperatur tinggi.

Tahanan yang tinggi terhadap kegetasan karena pengarbonan.

Tahanan yang tinggi terhadap kelelahan panas.

Tahan aus yang baik dan deformasi kecil.

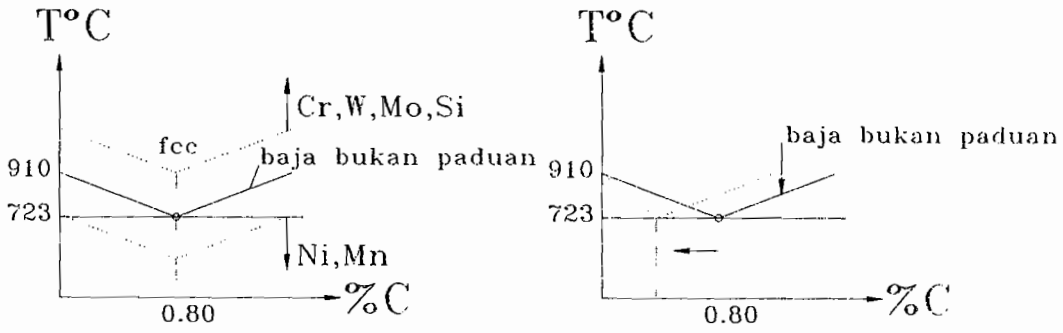
Baja cor tahan panas dipakai untuk bagian-bagian tungku pelebur logam aparat pengolah minyak, klin untuk semen, ketel uap, mesin jet, turbin gas, aparat pembuat gelas, aparat pembuat karet sintetis, dan tungku pemanas logam.

4 *Struktur dan Sifat-sifat dari Baja Cor Mangan Tinggi*

Baja cor mangan tinggi disebut juga *Hadfield*, menurut nama si penemu. Baja ini mengandung mangan 11 sampai 14% dan karbon 0.9% sampai 1.2%, dengan harga perbandingan Mn dan C kira-kira 10. Struktur setelah dicor sangat getas karena karbid mengendap pada batas butir austenit, sedangkan struktur yang dicelup dingin dalam air dari 1000°C menjadi austenit seluruhnya dan keuletannya jauh lebih baik. Gambar 2.27 menunjukkan struktur baja cor mangan tinggi. Kekerasannya kira-kira 200 HB, dan dapat dikeraskan sampai kurang lebih 550 HB dengan penempaan berulang-ulang dan pengerjaan dingin. Baja jenis ini mempunyai tahanan yang tinggi terhadap keausan di bawah beban bentur, dengan demikian dapat dipakai sebagai bahan penghancur, lapisan dari gilingan bola, silangan rel dan lain-lain.

Gambar 2.27. Baja cor mangan tinggi

Baja Cor manggan tinggi. (400×). Didinginkan di air 1.000°C. Semua butir kristal adalah austenit yang mengandung mangan, sebagai larutan padat. Berbagai macam warna tergantung pada pantulan cahaya.



Gambar 2. 28. Diagram Fe-Fe_3C

Titik eutektik (titik dimana suhu kritis atas dan bawah berada pada tempat yang sama) akan bergeser kekiri pada diagram Fe-C.

Kecepatan pendinginan kritis akan lebih lambat

Tabel 2.5. Pengaruh unsur paduan terhadap baja

Unsur-unsur paduan	Pengaruh pada baja
S (Sulfur) dan P (Phosfor)	Semua baja mengandung S dan P. Unsur-unsur ini sebagian berasal dari kotoran terbawa bijih besi sebelum diolah dalam dapur tinggi. Kadar S dan P harus dibuat sekecil mungkin, karena kandungan S dan P akan menurunkan kualitas baja. Kadar S dalam jumlah banyak menjadikan baja rapuh pada suhu tinggi, sedangkan P menjadikan baja rapuh pada suhu dingin. Kadang-kadang unsur P perlu ditambahkan pada baja agar mudah dikerjakan dengan mesin perkakas dan untuk mendapatkan ukuran tatal lebih kecil ketika dikerjakan dengan mesin otomatis (Pb juga membawa pengaruh seperti P)
Mn (Mangan)	Semua baja mengandung Mn, karena diperlukan dalam proses pembuatan baja. Kadar Mn lebih kecil dari 0.6% tidak dianggap sebagai unsur paduan, karena tidak mempengaruhi sifat baja secara menyolok. Unsur Mn dalam proses pembuatan baja berfungsi sebagai deoxider (pengikat O_2) sehingga proses peleburan dapat berlangsung baik. Kadar Mn rendah dapat juga menurunkan kecepatan pendinginan kritis.
Ni (Nikel)	Unsur Ni memberi pengaruh sama dengan Mn, yaitu menurunkan suhu kritis dan kecepatan pendinginan

	kritis. Kadar Ni cukup banyak menjadikan baja austenit pada suhu kamar. Ni membuat struktur butiran halus dan menaikkan keuletan baja.
Si (Silikon)	Unsur Si selalu terdapat pada baja. Unsur ini menurunkan laju perkembangan gas sehingga mengurangi sifat berpori baja. Si akan menaikkan tegangan tarik, menurunkan kecepatan pendinginan kritis. Unsur Si harus selalu ada dalam baja walupun dalam jumlah kecil untuk memberi sifat mampu tempa pada baja.
Cr (Cromium)	Cr dapat memindahkan titik eutektik ke kiri. Cr dan C akan membentuk carbide yang akan menaikkan kekerasan baja. Cr akan meningkatkan kemampuan potong dan daya tahan alat perkakas tetapi menurunkan keuletan. Cr juga menurunkan kecepatan pendinginan kritis dan menaikkan suhu kritis baja.
Co (Cobalt)	Biasanya unsur Co digunakan berama-sama dengan paduan lainnya. Co menaikkan daya tahan aus dan menghalangi pertumbuhan butiran.
W (Tungsten) Mo (Molibden) V (Vanadium)	Seperti Cr, unsur-unsur ini akan membentuk karbide dalam baja yang akan menaikkan kekerasan, kemampuan potong dan daya tahan aus baja. Unsur-unsur ini juga akan memberikan daya tahan panas pada alat perkakas yang bekerja pada kecepatan tinggi. Unsur ini tidak begitu mempengaruhi kecepatan pendinginan baja tetapi menaikkan titik eutektik baja. Unsur paduan ini terutama digunakan pada baja HSS (*High Speed Steel*)

2.8 Struktur dan sifat-sifat coran paduan alumunium

Alumunium banyak digunakan sebagai paduan dari pada sebagai logam murni. Alumunium tidak kehilangan sifat ringan dan sifat-sifat mekanisnya dan mampu cornya diperbaiki dengan menambah unsur-unsur lain. Unsur-unsur paduan itu antara lain : tembaga, silisium, magnesium, mangan, nikel dan sebagainya. Semua bahan paduan di atas dapat mengubah sifat-sifat paduan alumunium.

2.8.1 Paduan alumunium-tembaga, alumunium-tembaga-silisium

Paduan alumunium –tembaga adalah paduan alumunium yang mengandung tembaga 4,5%, memiliki sifat-sifat mekanis dan mampu mesin yang baik sedangkan mampu cornya agak jelek.

Pada aluminium-tembaga cor sangat jarang digunakan karena tingkat kecairannya jelek, sifat ini dapat diperbaiki dengan menambah unsur silisium dan bahan ini mempunyai sifat cukup baik pada suhu tinggi dengan menambah unsur nikel dan magnesium.

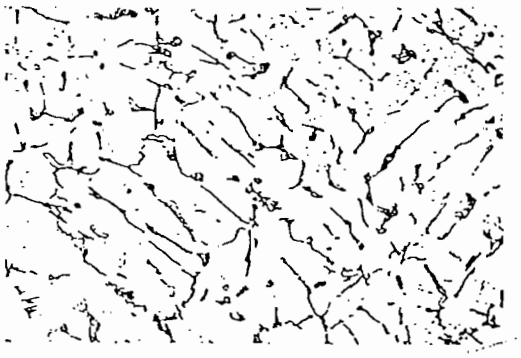
Paduan alumunium-tembaga dengan kadar Cu 4,5% memiliki sifat-sifat mekanis dan mampu mesin yang baik sedangkan mampu cor bahan ini agak jelek.

Paduan alumunium-tembaga-silisium kadar Cu 4 – 5 % dapat memperbaiki mampu cor dan dipakai untuk rangka utama katup-katup. Komposisi paduannya adalah : Si : 4,58%;

Cu : 4,20%;

Fe : 0,14% dan alumunium sisanya

Paduan alumunium-tembaga-silisium dibuat dengan menambah 4-5% silisium pada paduan alumunium-tembaga untuk memperbaiki cornya, paduan ini disebut "lautal", adalah salah satu paduan alumunium dimana paduan ini terutama dipakai untuk bagian-bagian dari mobil atau motor, meteran dan rangka utama dari katup-katup. Gambar (2.29) menunjukkan struktur mikro dari paduan alumunium-tembaga-silisium.



Coran paduan Al–Si–Cu(100 ×). Bagian putih adalah aluminium proeutektik dan bagian hitam berbentuk jarum adalah $CuAl_2$. Komposisi; Si 4,58%; Cu 4,20%; Fe 0,14%; Al sisanya.

Gambar 2.29 : Coran paduan Al – Si – Cu

Coran paduan Al-Si-Cu (100 x). Bagian putih adalah alumunium proeutektik dan bagian hitam berbentuk jarum adalah $CuAl_2$. Komposisi: Si 4,58%; Cu 4.20%; Fe 0,14%; Al sisanya.

2.8.2 Paduan alumunium-silisium, alumunium-silisium-magnesium

Paduan eutektik dari alumunium dan silisium sekitar 2% disebut silisium yang memiliki sifat mampu cor yang baik dan tahan terhadap korosi. Paduan ini biasanya dipakai untuk bagian-bagian mesin biasa. Paduan yang biasa dicor mempunyai sifat mekanis yang buruk karena butir-butir silisium yang besar dan paduan ini relatif ringan, koefisien rendah, penghantar panas dan listrik yang baik, bila paduan ini dicor dengan tambahan natrium dan agitasi dari logam cair untuk membuat kristal halus dan memperbaiki sifat-sifat mekanis. Tapi cara ini tidak efektif untuk coran tebal.

Paduan alumunium-silisium diperbaiki dalam sifat-sifat mekanisnya dengan menambahkan magnesium, tembaga atau mangan, dan selanjutnya diperbaiki dengan perlakuan panas. Paduan alumunium dengan Si 7 – 9% dan Mg 0,3 – 1,7% dikeraskan dengan pengerasan presipitasi Mg_2Si sehingga sifat-sifat mekanisnya dapat diperbaiki. Paduan ini dinamakan silumin gamma dan dipakai untuk rumah-rumah, teromol rem dan sebagainya. Gambar (2.30) menunjukkan struktur mikro dari paduan alumunium-silisium-magnesium.

Penambahan unsur Cu 3 – 5% pada paduan alumunium-silisium dapat juga meningkatkan sifat-sifat mekanis dan paduan alumunium-silisium-tembaga dengan komposisi silisium mendekati komposisi eutektik dapat digunakan pada suhu tinggi dengan koefisien muai panjang relatif kecil. Paduan ini banyak digunakan sebagai bahan piston mesin motor bakar (*internal combusion engine*).

Coran paduan Al–Si–Mg. Hitam Mg_2Si, abu-abu $CuAl_2$ dan eutektik Si berbintik-bintik mengendap di antara matriks alpha-Al. Komposisi: Cu 1,08%; Si 11,55%; Mg 0,82%; Fe 0,45% Ni 1.63% Al sisanya. Pengolahan panas T 6, Eutektik Si. α–Al, $CuAl_2$, Mg_2Si.

Gambar 2.30 : Coran Paduan Al – Si – Mg

Coran paduan Al-Si-Mg. Hitam Mg_2Si, abu-abu $CuAl_2$ dan eutektik Si berbintik-bintik mengendap di antara matriks alpha – Al. Komposisi : Cu 1,08%; Si 11,55%; Mg 0,82%; Fe 0,45%; Ni 1,63%; Al sisanya. Pengolahan panas T 6. Eutektik Si. α - Al, $CuAl_2$, Mg_2Si.

2.8.3 Paduan alumunium – magnesium

Paduan alumunium yang mengandung magnesium sekitar 4% atau 10% mempunyai ketahanan korosi dan sifat-sifat mekanis yang baik. Mempunyai kekuatan tarik di atas 30 kg/mm^2 dan perpanjangan di atas 12% setelah perlakuan panas. Paduan ini disebut hidronalium dan dipakai untuk bagian-bagian dari alat-alat industri kimia, kapal laut, kapal terbang, dan sebagainya, yang membutuhkan ketahanan korosi.

Paduan yang mengandung tembaga mempunyai daya tahan jelek terhadap korosi dan untuk menigkatkan ketahanan korosinya pada permukaan paduan dilapisi dengan alumunium murni atau paduan alumunium tahan korosi, baik terhadap korosi dalam air laut dan udara dengan kadar garam relatif tinggi.

Komposisi dari paduan ini adalah :

Mg : 3,86%

Si : 0,18%

Mn : 0,39%

Fe : 0,29%

Cu : 0,07% dan Alumunium sisanya.

2.8.4 Paduan alumunium dan mangan

Mangan merupakan unsur yang memperkuat alumunium tanpa mengurangi ketahanan terhadap korosi dan dipakai untuk membuat paduan tahan aus.

2.8.5 Paduan alumunium – magnesium – seng

Alumunium menyebabkan keseimbangan biner semu dengan senyawa antar logam $MgZn_2$ dan kelarutannya menurun bila temperatur turun. Paduan bersifat keras dan getas oleh korosi tegangan. Dengan penambahan kira-kira 0,3% Mn Atau Cr, butir kristal padat diperhalus dan terhindar dari retakan korosi tegangan. Paduan ini mempunyai kekuatan tertinggi diantara paduan lainnya. Penggunaan paduan ini terutama untuk konstruksi pesawat terbang.

Komposisi dari paduan ini adalah :

Zn : 5,5%

Mg : 2,5%

Cu : 1,5%

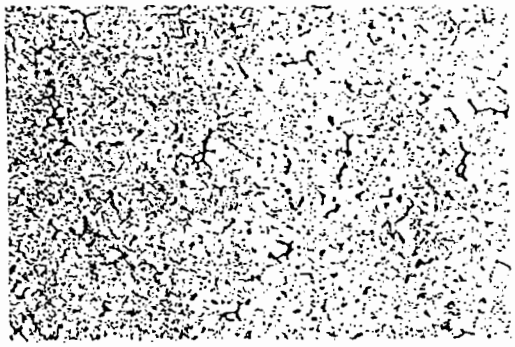
Cr : 0,3%

Mn : 0,2%

2.8.6 Paduan alumunium tahan panas

Paduan Y adalah paduan Al – Cu – Ni – Mg yang kekuatannya tidak berubah sampai 200°C dan sangat tinggi walaupun pada temperatur 300°C, sehingga paduan ini baik dipergunakan untuk piston.

Lo – Ex adalah paduan Al – Si – Cu – Ni – Mg yang mempunyai koefisien muai rendah dan kekuatan panasnya tinggi, paduan ini banyak dipakai untuk torak, Gambar (2.31) menunjukkan struktur mikro dari satu macam paduan Al – Mg.



Coran paduan Al–Mg. (100 ×).
Matriks adalah α–Al, titik hitam adalah MgSi.
Komposisi; Mg 3,86%; Si 0,18%; Mn 0,39%; Fe 0,29%; Cu 0,07%; Al sisanya.

Gambar 2.31 : Coran Paduan Al – Mg

Coran paduan Al – Mg (100 X). Matriks adalah α - Al, titik hitam adalah Mg Si. Komposisi : Mg 3,86%; Si 0,18%; Mn 0,39%; Fe 0,29%; Cu 0,07%; Al sisanya.

2.9 Sifat – sifat alumunium

Penggunaan alumunium meningkat setiap tahun dan menempati urutan kedua setelah logam fero (besi dan baja). Penggunaan alumunium merupakan yang terbanyak diantara logam non fero. Hal ini disebabkan oleh sifat-sifat alumunium antara lain:

- Kekuatan
- Ringan
- Tahan korosi
- Mudah dibentuk
- Konduktifitas panas dan listrik yang tinggi
- Dan lain – lain.

Karena alumunium merupakan logam, non fero yang banyak digunakan dan memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

a. **Kerapatan** ***(Density)***

Alumunium memiliki berat jenis rendah, yaitu sebesar 2700 kg/m^3 (bandingkan dengan baja kerapatan 7770 kg/m^3)

b. **Tahan terhadap korosi** ***(Corrosion resistance)***

Untuk logam-logam non fero dapat dikatakan bahwa semakin besar kerapatannya maka semakin baik daya tahan korosinya, tetapi alumunium merupakan pengecualian. Walaupun alumunium mempunyai daya senyawa tinggi terhadap oksigen (logam aktif) dan oleh sebab itu dikatakan bahwa alumunium mudah sekali mengoksidasi (korosi). Tetapi dalam kenyataannya alumunium mempunyai daya tahan yang sangat baik terhadap korosi. Hal ini disebabkan oleh lapisan atau selaput tipis oksida transparan dan jenuh oksigen di seluruh permukaan . Selaput ini mengendalikan laju korosi dan melindungi lapisan dibawahnya dari serangan atmosfir berikutnya.

c. **Sifat mekanis** ***(mechanical properties).***

Alumunium mempunyai kekuatan tarik, kekerasan dan sifat mekanis lain sebanding dengan paduan bukan besi *(non -- ferrous alloys)* lainya. Dan juga sebanding dengan beberapa jenis baja.

d. Penghantar panas dan listrik yang baik (*head and electrical conductivity*)

Di samping daya tahan yang baik terhadap korosi, alumunium juga mempunyai daya hantar panas dan listrik yang tinggi. Daya hantar alumunium murni sekitar 60% dari daya hantar tembaga.

e. **Tidak beracun** ***(nontoxcity)***

Alumunium dapat digunakan sebagai bahan pembungkus atau kaleng makanan dan minuman. Hal ini disebabkan reaksi kimia antara makanan dan minuman tersebut dengan alumunium tidak menghasilkan zat beracun yang membahayakan manusia.

f. **Sifat mampu bentuk** ***(formability)***

Alumunium dapat dibentuk dengan mudah. Alumunium mempunyai sifat dapat mudah ditempa *(malleability)* yang memungkinkan dibuat dalam bentuk plat atau lempengan tipis.

g. **Titik lebur rendah (*melting point*)**

Titik lebur alumunium relatif rendah (660 ^{o} C) sehingga sangat baik untuk proses penuangan dengan waktu peleburan relatif singkat dan biaya operasi akan lebih murah.

Selain sifat-sifat tersebut masih banyak sifat-sifat alumunium yang menguntungkan seperti : anti magnetic, revlektivitas tinggi, nilai arsitektur dan dekoratif, mudah dilakukan proses pengerjaan akhir (*finishing*) dan lain sebagainya.

2.10 Klasifikasi paduan alumunium

Paduan alumunium diklasifikasikan dalam berbagai standar oleh berbagai negara. Paduan alumunium diklasifikasikan menjadi dua kelompok umum, yaitu :

Paduan alumunium tuang/ cor (*cast allumunium alloys*) dan paduan alumunium tempa (*wrought allumunium alloys*).

Setiap kelompok tadi dibagi lagi menjadi dua katagori, yaitu paduan dengan perlakuan panas (*heat treatabel alloys*) dan paduan tanpa perlakuan panas (*nonheat treatabel alloys*).

Sistem penandaan untuk kedua kelompok paduan tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.6 : Klasifikasi paduan alumunium cor

Seri paduan	Unsur paduan
1xx.x	Al ≥ 99%
2xx.x	Cu
3xx.x	Si + Cu atau Mg
4xx.x	Si
5xx.x	Mg
6xx.x	Tidak digunakan
7xx.x	Zn
8xx.x	Sn

Tabel 2. 7 : Klasifikasi paduan alumunium tempa

Seri paduan	Unsur paduan utama
1xxx	Al ≥ 99%
2xxx	Cu atau Cu + Mg
3xxx	Mn
4xxx	Si
5xxx	Mg
6xxx	Mg + Si
7xxx	Zn + Mg atau Zn + Mg + Cu
8xxx	Unsur lainnya

Perubahan cukup nyata dari sifat-sifat paduan alumunium dapat terjadi karena perlakuan panas tertentu seperti pengerasan regangan, peng-anil-an dan lain-lain.

2.11 Pengaruh unsur paduan dalam alumunium

Untuk mendapatkan hasil cor paduan alumunium berkualitas baik, perlu diketahui berat jenis dan titik cair masing-masing unsur paduan dalam paduan tersebut. Saat proses pembekuan berlangsung, terjadi pemisahan bertahap dari unsur-unsur yang memiliki berat jenis berbeda . Unsur yang memiliki berat jenis lebih rendah akan terapung di daerah permukaan dan membentuk jaringan struktur kristal sendiri, unsur dengan berat jenis lebih besar akan terikat bersama dengan unsur larutan padat yang berada di bawah, membentuk ikatan logam atau struktur kriatal utama. Agar diperoleh keseragaman unsur yang terdistribusi secara merata

pada bahan, maka diperlukan tambahan unsur sebagai katalisator untuk mempermudah terjadinya ikatan dari berbagai macam jenis unsur yang berlainan berat jenis. Bila unsur –unsur dengan berat jenis berbeda membentuk ikayan sendiri, akan didapatkan sifat bahan yang tidak homogen. Ketidakhomogenan bahan akibat perbedaan berat jenis unsur-unsur penyusunnya dapat menyebabkan cacat segregasi gravitasi. Pengaruh positif dan negatif unsur-unsur pada paduan antara lain :

Silisium (Si)

Unsur Si dalam paduan alumunium mempunyai pengaruh positif :

- Mempermudah proses pengecoran,
- Meningkatkan daya tahan terhadap korosi,
- Memperbaiki sifat-sifat atau karakteristik coran.

Pengaruh negatif yang ditimbulkan unsur Si berupa :

- Penurunan keuletan bahan terhadap beban kejut dan
- Hasil cor akan rapuh bila kandungan Si terlalu tinggi.

Tembaga (Cu)

Pengaruh positif yang ditimbulkan oleh penambahan unsur Cu dalam paduan alumunium adalah :

- Meningkatkan kekerasan bahan,
- Memperbaiki kekuatan tarik dan
- Mempermudah proses pengerjaan dengan mesin.

Pengaruh negatif yang dapat ditimbulkan oleh unsur Cu adalah :

- Menurunkan daya tahan terhadap korosi,

- Mengurangi keuletan bahan dan
- Menurunkan kemampuan dibentuk dan dirol.

Unsur Mangan (Mn)

Pengaruh positif yang ditimbulkan unsur mangan dalam paduan alumunium adalah :

- Meningkatkan kekuatan dan daya tahan pada temperatur tinggi,
- Meningkatkan daya tahan terhadap korosi dan
- Mengurangi pengaruh buruk unsur besi.

Pengaruh negatif dari unsur mangan adalah :

- Menurunkan kemampuan penuangan dan
- Meningkatkan kekasaran butiran partikel.

Unsur Magnesium (Mg)

Magnesium dapat memberikan pengaruh positis, yaitu :

- Mempermudah proses penuangan,
- Meningkatkan kemampuan pengerjaan mesin,
- Meningkatkan daya tahan terhadap korosi,
- Meningkatkan kekuatan mekanis,
- Menghaluskan butiran kristal secara efektif dan
- Meningkatkan ketahanan terhadap beban kejut/ impak.

Pengaruh negatif yang ditimbulkan oleh unsur Mg adalah :

- Meningkatkan kemungkinan timbulnya cacat pada besi cor.

Unsur Nikel (Ni)

Unsur Ni dalam paduan alumunium dapat memberikan pengaruh positif berupa :

- Peningkatan kekuatan dan ketahanan bahan pada temperatur tinggi,
- Penurunan pengaruh buruk unsur Fe (besi) dalam paduan.

Penambahan unsur Ni dapat juga menyebabkan penigkatan daya tahan paduan terhadap korosi.

Unsur Besi (Fe)

Pengaruh positif unsur Fe pada paduan alumunium adalah :

-Mencegah terjadinya penempelan logam cair pada cetakan selama proses penuangan.

Pengaruh negatif yang ditimbulkan Fe adalah :

- Penurunan sifat mekanis,
- Penurunan kekuatan tarik,
- Timbulnya bintik keras pada hasil cor dan
- Peningkatan cacat porositas.

Unsur Seng (Zn)

Dalam paduan alumunium , unsur Zn memberikan pengaruh positif berupa:

- Meningkatkan sifat mampu cor,
- Meningkatkan kemampuan di mesin,
- Mempermudah dalam pembentukan,
- Meningkatkan keuletan bahan dan
- Meningkatkan kekuatan terhadap beban kejut.

Pengaruh negatif yang ditimbulkan unsur Zn adalah :

- Menurunkan ketahanan korosi,
- Menurunkan pengaruh baik dari unsur besi,
- Bila Zn terlalu besar/ tinggi dapat menimbulkan cacat rongga udara.

Unsur Titanium (Ti)

Dalam paduan alumunium unsur Titanium memberikan pengaruh positif, yaitu :

- Meningkatkan kekuatan hasil cor pada temperatur tinggi,
- Memperhalus butir kristal dan permukaan.

2.12 Pengujian Bahan

Sifat-sifat khas perlu dikenal dengan baik karena bahan dipergunakan untuk berbagai macam keperluan dalam berbagai keadaan.

Secara garis besar pengujian terhadap benda uji dapat dibedakan atas pengujian bersifat merusak benda uji (*destruktif*) dan pengujian tidak bersifat merusak benda uji (*non destruktif*). Pengujian bersifat merusak benda uji akan menimbulkan kerusakan pada benda uji setelah selesai dan sebaliknya pengujian bersifat tidak merusak benda uji tidak akan menimbulkan kerusakan yang berarti.

Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk pengujian untuk bahan cincin meliputi kekerasan dan struktur mikro

2.12.1 Kekerasan (*hardness test*)

Uji kekerasan (*hardness test*) merupakan uji statis diantaranya:

Uji kekerasan Brinell

Uji kekerasan Rockwell

Uji kekerasan Vickers

Uji kekerasan Knop

Uji kekerasan Berkovitch

Uji kekerasan Shore

Uji kekerasan ini kecuali uji kekerasan Shore didasarkan pada penekanan (*indentation*) suatu penetrator yang tidak terdeformasi ke permukaan benda uji yang akan dicari kekerasannya, sehingga terjadi bekas (*lekuk*) yang akan dijadikan dasar penilaian. Penekanan dilakukan sampai melebihi batas elastis

atau batas kenyal benda uji sehingga terjadi bekas lekukan permanen pada permukaan. Bila logam yang diuji mempunyai kekerasan yang semakin tinggi, maka bekas penekanan pada permukaan benda uji akan semakin kecil untuk beban tekan yang sama.

Tabel berikut ini menunjukkan karakteristik berbagai pengujian kekerasan:

Tabel 2.8. Karakteristik pengujian kekerasan

Cara pengujian	Brinell (H_B)	Rockwell (H_RA, H_RC etc.)	Rockwell superficial (H_R30T, H_R30N dst)	Vickers (H_V)	Kekerasan mikro (H_V)	Shore (H_S)
Penekan	Bola baja 10 mmϕ Karbida	Kerucut intan 120°; Bola baja 1/16"-1/2"	Kerucut intan 120°; Bola baja 1/16"-1/2"	Piramida intan sudut bidang berhadapan 136°	Jenis Vickers Jenis Knoop sudut 130°, 172°	Palu intan 3 g
Beban	500-3,000 kg	Beban mula 10 kg beban total 60,100, 150 kg	Beban mula 3 kg, beban total 15,30 dan 45 kg	1-120 kg	1-500 g	
Kekerasan	Beban / Luas penekanan	Dalamnya penekanan	Dalamnya penekanan	Beban / Luas penekanan	Beban / Luas penekanan	Tinggi pantulan 6,5" dari 10" tinggi pantulan asal adalah 100

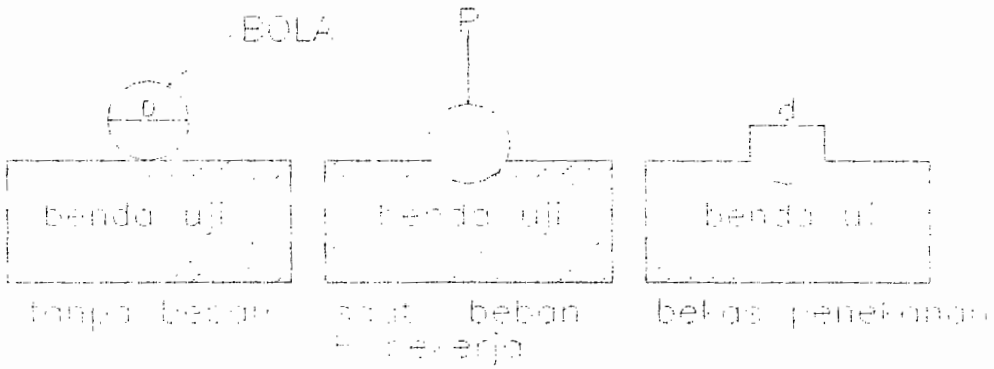
Sumber: Pengetahuan Bahan Teknik, Tata Surdia, Shinroku Saito, Pradnya Paramita

Pada penelitian ini benda uji yang digunakan tipis dan kecil, maka pengujian kekerasan yang dipakai adalah pengujian kekerasan mikrohardness.

2.12.2 Uji kekerasan Brinnell

Cara Brinell ini dilakukan dengan penekanan sebuah bola yang lazim disebut bola Brinell terbuat dari baja chrom yang telah disepuh ke permukaan benda uji tanpa sentakan. Tekanan yang digunakan berupa gaya tekan statis. Permukaan benda uji harus bersih dan rata. Setelah gaya tekan ditiadakan ban bola brinell dikeluarkan dari bekas atau lekukan yang terjadi, maka diameter

paling atas dari lekukan tersebut diukur kemudian dijadikan dasar perhitungan kekerasan logam benda uji. Kekerasan ini disebut "kekerasan Brinell" yang disingkat dengan HB atu BHN (*Brinell Hardness Number*).



Gambar 2.32 : Prinsip uji kekerasan Brinell

kekerasan Brinell HB dihitung dengan rumus

$$HB = \frac{Gaya\ Pada\ Penetrator\ \ (kg)}{Luas\ Penampangbekas\ injakan\ (mm)^2}$$

$$HB = \frac{P}{\frac{\pi}{2} D\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)} \qquad kg/mm^2$$

dimana P = Gaya yang bekerja pada penetrator (kg)

D = Diameter penetrator bola (mm)

d = diameter bekas injakan atau lekukan (mm)

Bola Brinell tidak boleh terdeformasi saat pengujian benda uji. Bola Brinell mempunyai standard dengan diameter (D) sama dengan 10 mm (0.3937 in) dengan penyimpangan maksimal saat beban tekan sebesar 0.005 mm (0.0002 in)

Saat penggunaan uji Brinell ini pada prakteknya perlu diperhatikan beban tekan (P), diameter bola dan jenis logam uji.

Tabel 2.9 Diameter penetrator

Tebal benda uji (mm)	Diameter penetrator (mm)	Penyimpangan maksimal (mm)
1 – 3	2.5	0.0035
3 – 6	5	0.004
> 6	10	0.005

Tabel 2.10 Diameter penetrator

HB rata-rata	P/D^2	Bahan
20 – 80	5	Aluminium, Tembaga,
80 – 160	10	Kuningan, Paduan Cu,
160	30	Baja, Besi Cor.

Tabel 2.9 Diameter penetrator

Dia. Penetrator D (mm)	$P/D^2 = 5$	$P/D^2 = 10$	$P/D^2 = 30$
	Gaya (Kg)		
2.5	31.25	62.5	187.5
5	125	250	750
10	500	1000	3000

2.12.3 Uji kekerasan Vickers

Pengujian Vickers pertama kali diperkenalkan oleh R. Smith dan G. Sandland pada tahun 1925 di Inggris. Uji kekerasan cara Vickers didasarkan pada prinsip yang sama dengan cara Brinell, yaitu dengan cara menekan penetrator piramid intan yang mempunyai sudut puncak 136° ke permukaan benda uji. Bekas injakan yang dihasilkan oleh penetrator membentuk segi empat karena penetratornya berupa piramid sama sisi. Perhitungan kekerasan

didasarkan pada panjang diagonal segi-empat bekas injakan. Beban tekan bervariasi dari 1 sampai 500 kg. Beban standard adalah 5; 10; 30; 50; 100; atau 120 kg.

Nilai kekerasannya disebut dengan Kekerasan Vickers HV atau HVN (Vickers Hardness Number).

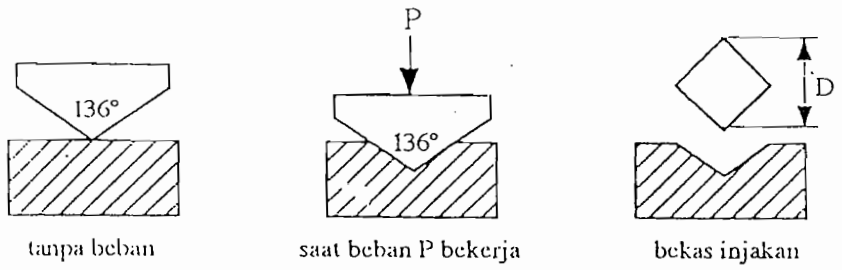
$$HV = \frac{2\,Sin\left(\frac{\theta}{2}\right)P}{D^2}$$

dengan P : beban tekan yang diberikan

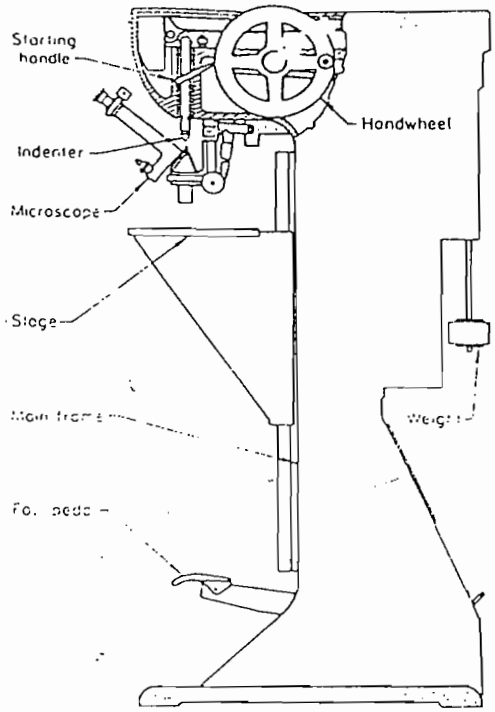
D : panjang diagonal bekas injakan

θ : sudut puncak penetrator = 136°

$$HV = \frac{2\,Sin\left(\frac{136°}{2}\right)P}{D^2} = \frac{1.854P}{D^2}$$



Gambar 2.33. Prinsip pengukuran Kekerasan Vickers



Gambar 2.34. Komponen utama dari mesin uji Vickers

Uji kekerasan Vickers banyak dilakukan pada penelitian logam, karena metoda tersebut memberikan hasil berupa skala kekerasan yang kontinyu untuk suatu beban tertentu.

Pengukuran pada suatu skala yang ekstrem pada masing-masing pengujian tidak dapat dibandingkan dengan skala kekerasan yang lain, jejak yang dibuat oleh penekan piramida serupa secara geometris dan tidak terdapat persoalan mengenai ukurannya, maka nilai kekerasan Vickers tidak tidak tergantung beban dengan kata lain beban yang dipakai tergantung kekerasan logam yang akan diuji.

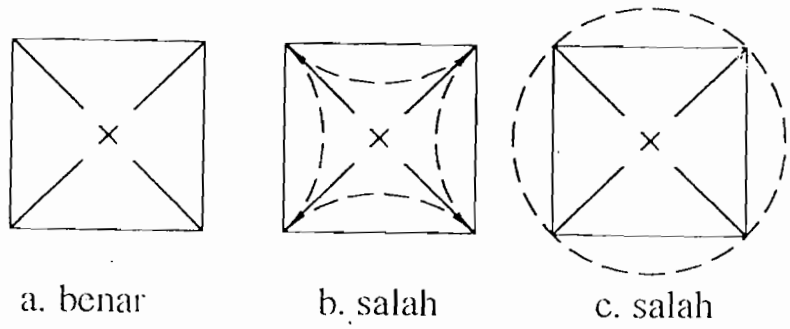
Hal-hal yang dapat menghalangi keuntungan metode Vickers :

1). Pengujian tidak dapat digunakan untuk pengujian rutin, karena pengujian tersebut lamban.

2). Memerlukan persiapan permukaan benda uji yang teliti dan hati-hati.

3). Terdapat pengaruh faktor kesalahan manusia yang besar pada penentuan panjang diagonal.

Lekukan jejak penekan piramida intan yang benar harus berbentuk bujur sangkar seperti Gambar 2.35a



Gambar 2.35 Jejak Penekan Piramida Intan

Gambar 2.35a menunjukkan jejak penekan yang benar.

Gambar 2.35b lekukan berupa lekukan bantalan jarum akibat adanya penurunan logam disekitar permukaan piramida yang datar. Kondisi ini terjadi pada logam-logam yang dilunakkan dan mengakibatkan pengukuran panjang diagonal berlebih.

Gambar 2.35c lekukan berbentuk tong, terjadi pada logam-logam yang mengalami pengerjaan dingin, bentuk demikian diakibatkan oleh penimbunan keatas logam-logam disekitar permukaan penekan, sehingga diagonal lebih kecil dari seharusnya.

Oleh karena itu kedua kondisi tersebut menimbulkan kesalahan yang besar pada nilai kekerasan dari benda uji.

UNIVERSITAS SANATA DHARMA PERPUSTAKAAN YOGYAKARTA

2.12.4. Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan sesuai ketentuan yang berlaku, menggunakan alat mikroskop logam. Sifat-sifat logam dan paduannya dengan mudah dapat dipelajari dari struktur mikronya. Struktur mikro dari logam dan paduannya ini dapat dilihat di mikroskop logam. Hampir semua cabang ilmu metalurgi fisik menggunakan mikroskop logam.

Mikroskop yang paling sederhana adalah mikroskop cahaya yang terdiri dari 3 bagian pokok, yaitu :

1. Lensa Pemantul (*Illuminator*) yang berfungsi untuk memantulkan permukaan logam.
2. Lensa obyektif yang mempunyai daya pisah, berfungsi untuk memisahkan 2 obyek yang berdekatan.
3. Lensa mata (*eye pice*) yang berfungsi untuk memperbesar obyek yang diteliti.

Pengujian mikroskopik pada suatu benda uji yang mewakili suatu logam, dilakukan dengan pemolesan dan kemudian dietsa dengan larutan kimia tertentu yang sesuai.

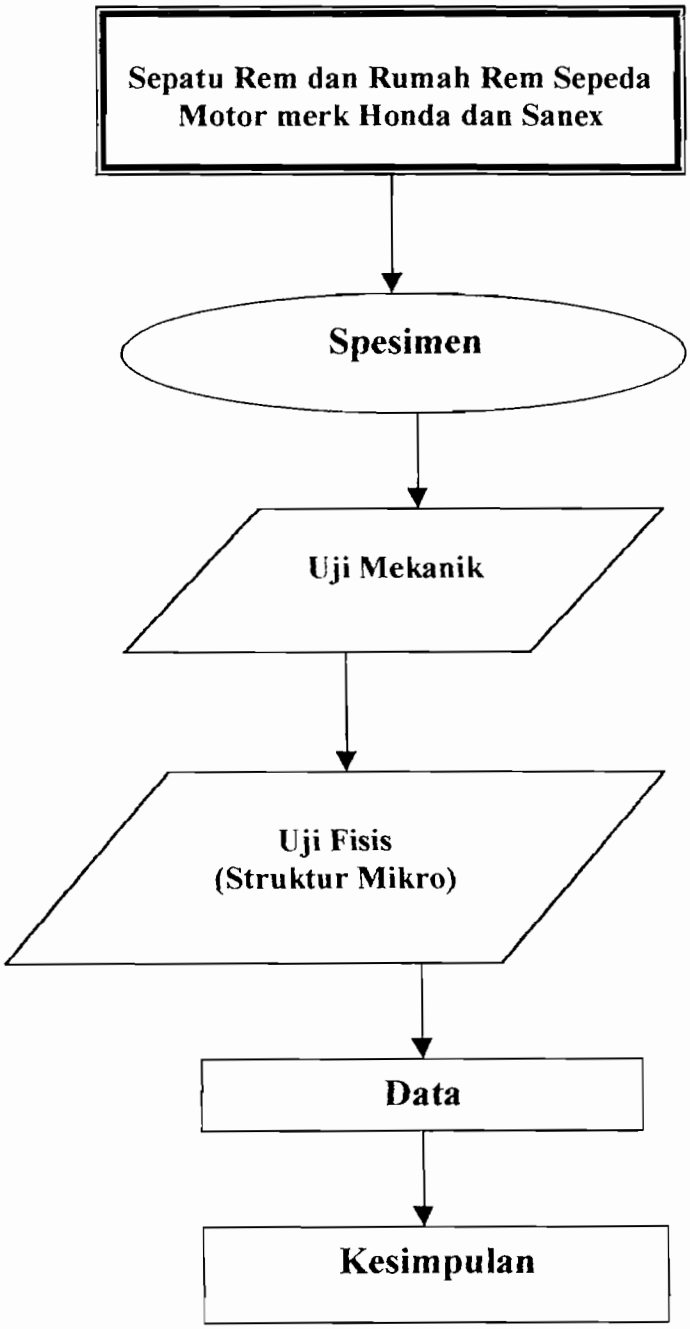
Proses kimia atau etsa mula-mula memperlihatkan batas butir, tetapi lebih lanjut akan memperlihatkan bayangan yang berbeda antara satu butir dengan butir lainnya. Hal itu akan menunjukkan bidang-bidang sepanjang kristalografi tertentu. Bagian yang memiliki orientasi yang sama akan terdapat dalam satu butir. Tiap-tiap butir memiliki

orientasi yang berbeda dari butir-butir sekitarnya. Setiap butir akan memantulkan sinar ke lensa obyektif pada mikroskop dan hasilnya akan timbul bagian terang, sementara butir-butir sekitarnya akan memantulkan sinar ke lain arah dan tampak lebih gelap.

BAB III

PELAKSANAAN PENGUJIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



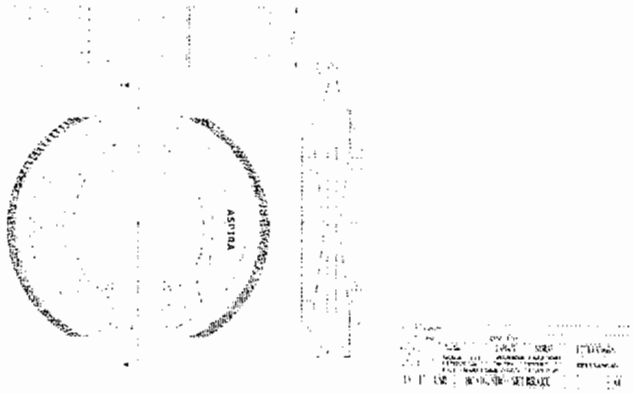
3.2 Bahan Uji

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah sepatu rem, rumah rem (tromol rem) kendaraan bermotor merk Honda dan Sanex. Material ini dalam pembuatannya memakai alumunium cor, besi cor dan baja dengan paduan utamanya adalah tembaga (Cu), Magnesium (Mg), Nikel (Ni), Silisium (Si) dan Mangan (Mn).

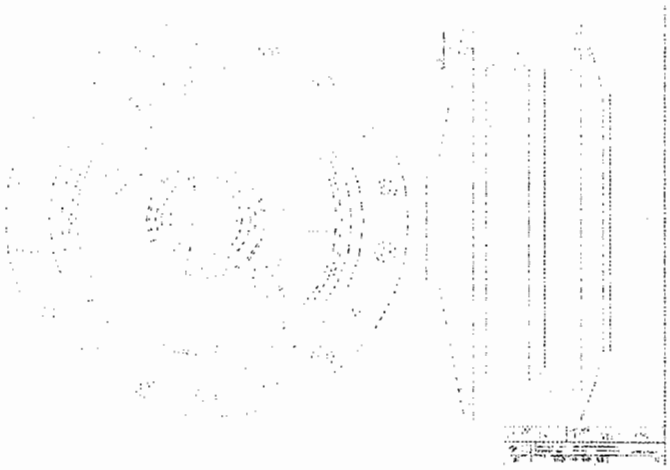
Tabel 3.1 : Bahan – bahan Benda Uji

No	Nama	Komponen	Elemen	Bahan
1	Honda Baru	Sepatu Rem	Sepatu	Alumunium
			Plat Penahan	Baja
		Rumah Rem	Rumah Rem	Alumunium
			Plat Gesek	Besi Cor
2	Sanex Baru	Sepatu Rem	Sepatu	Alumunium
			Plat Penahan	Baja
		Rumah Rem	Rumah Rem	Alumunium
			Plat Gesek	Besi Cor

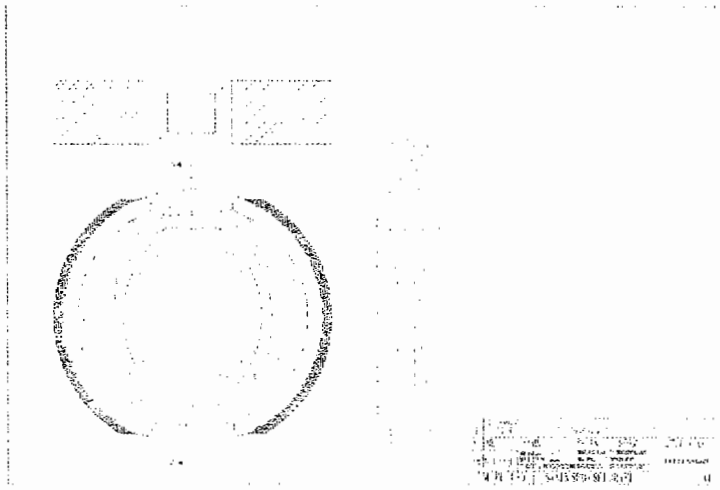
3.3 Dimensi Benda Uji



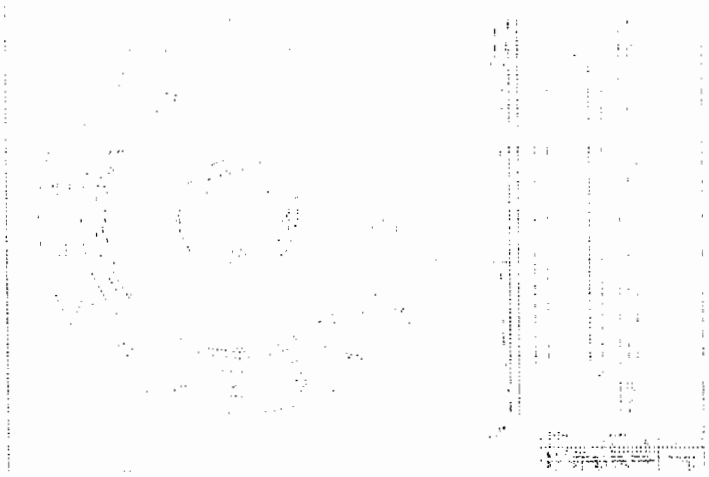
Gambar 3.1 : Dimensi sepatu rem Honda



Gambar 3.2 : Dimensi rumah rem Honda



Gambar 3.3 : Dimensi sepatu rem sanex



Gambar 3.4 : Dimensi rumah rem Sanex

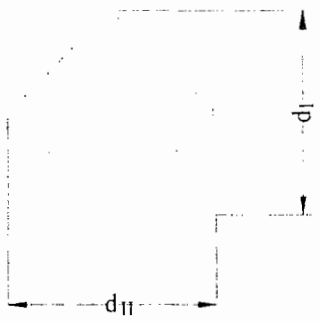
3.4 Pengujian Mekanik

3.4.1 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan pada spesimen menggunakan metode Vikers. Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Ilmu Logam Universitas Gajah Mada Yogyakarta. Alat pengujian dengan Vikers Hardness.

Pelaksanaan pengujian kekerasan metode Vikers yang dilakukan adalah :

1. Beban yang diberikan adalah 1000 gram (1 kg).
2. Setiap spesimen dilakukan 5 kali dan 23 kali penekanan permukaan.
3. Lama penekanan 10 detik.



Gambar 3.5 : Bekas injakan penetrator Uji Mikrohardness Vickers
Panjang diagonal bekas injakan penetrator.
Satuan Mikro Meter (μm)

$$HV = \frac{1.854P}{d^2}$$ dengan,

P : Beban Penetrator = 1000 gr

HV : Nilai Kekerasan Vickers

d : panjang diagonal Bekas Injakan rata-rata

$d = (d_I + d_{II})/2$

3.4.2 Pengujian Struktur Mikro

Pengujian dilakukan di Laboratorium Ilmu Logam Universitas Gajah Mada Yogyakarta. Tujuan pengujian struktur mikro adalah untuk mengetahui bentuk butiran pada spesimen (material) benda uji.

Langkah-langkah persiapan pengujian struktur mikro sebagai berikut :

1. Spesimen dihaluskan permukaannya dengan menggunakan kertas amplas halus mesh 400, 500, 600, 800,1000, 1200 dan 1500.
2. Spesimen dipoles sampai mengkilat dengan menggunakan autosol.
3. Spesimen dibersihkan dan dikeringkan.
4. Spesimen dietsa menggunakan larutan : 2% HNO_3 dan 98 % HNO_3
5. Pemotretan metalografi spesimen dengan menggunakan mikroskop logam dengan pembesaran 100 X dan 500 X.
6. Hasil pemotretan yang tampak jelas struktur logamnya dicetak di Lab. Foto dan hasilnya baru bisa dianalisis.

BAB IV

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1 Pengujian Kekerasan *Vickers* pada Sepatu Rem

Data hasil pengujian kekerasan Vickers pada sepatu rem sepeda motor merk Honda dan Sanex diperoleh :

Tabel 4.1 : Diameter diagonal hasil injakan penetrator pada Sepatu Rem

Hasil Injakan Penetrator pada Sepatu Rem Honda

ELEMEN	SPESIMEN		d_1	d_2	d_3	d_4	d_5
S	1	d_1	125.80	130.30	134.70	133.80	135.60
E		d_2	127.80	131.40	132.60	134.70	136.20
P		***d**	**126.80**	**130.85**	**133.65**	**134.25**	**135.90**
A	2	d_1	131.00	134.40	130.40	135.40	136.20
T		d_2	131.00	136.50	131.20	136.40	135.70
U		***d**	**131.00**	**135.45**	**130.80**	**135.90**	**135.95**
	3	d_1	136.50	136.20	134.20	132.10	134.70
R		d_2	141.60	135.70	135.10	133.70	135.60
E		***d**	**139.05**	**135.95**	**134.65**	**132.90**	**135.15**
M	4	d_1	132.40	134.30	134.30	136.70	137.80
		d_2	132.70	135.10	135.60	135.80	135.20
		***d**	**132.55**	**134.70**	**134.95**	**136.25**	**136.50**
	5	d_1	134.20	136.10	133.40	132.70	133.80
		d_2	133.40	135.70	132.70	133.40	134.70
		***d**	**133.80**	**135.90**	**133.05**	**133.05**	**134.25**
PLAT	1	d_1	128.30	118.80	127.50	119.80	120.10
PENAHAN		d_2	127.60	119.00	125.40	118.70	122.40
(BAJA)		***d**	**127.95**	**118.90**	**126.45**	**119.25**	**121.25**

d = Nilai rata-rata panjang diagonal bekas injakan

Hasil Injakan Penetrator pada Sepatu Rem Sanex

ELEMEN	SPESIMEN		d_1	d_2	d_3	d_4	d_5
SEPATU	1	d_1	149.00	132.70	134.10	136.70	136.10
REM		d_2	147.40	134.80	132.70	135.20	135.40
		***d**	**148.20**	**133.75**	**133.40**	**135.95**	**135.75**
	2	d_1	132.70	140.10	137.40	139.40	136.70
		d_2	131.60	138.20	138.60	140.20	137.80
		***d**	**132.15**	**139.15**	**138.00**	**139.80**	**137.25**

	3	d_1	139.00	140.30	139.80	139.10	138.60
		d_2	140.50	142.40	140.10	141.20	136.70
		***d**	**139.75**	**141.35**	**139.95**	**140.15**	**137.65**
	4	d_1	128.70	136.40	138.60	142.10	140.10
		d_2	129.80	135.60	139.70	143.70	139.90
		***d**	**129.25**	**136.00**	**139.15**	**142.90**	**140.00**
	5	d_1	128.50	128.30	129.10	129.40	128.70
		d_2	129.00	129.30	128.90	128.60	129.10
		***d**	**128.75**	**128.80**	**129.00**	**129.00**	**128.90**
PLAT	1	d_1		127.80	131.00	128.90	130.10
PENAHAN		d_2		128.50	130.40	129.70	129.40
(BAJA)		***d**	**-**	**128.15**	**130.70**	**129.30**	**129.75**

Tabel 4.2 : Diameter rata-rata injakan penetrator pada sepatu rem

Injakan Penetrator pada Sepatu Rem Honda

		d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	*d
1	*d	126.80	130.85	133.65	134.25	135.90	132.29
2	*d	131.00	135.45	130.80	135.90	135.95	133.82
3	*d	139.05	135.95	134.65	132.90	135.15	135.54
4	*d	132.55	134.70	134.95	136.25	136.50	134.99
5	*d	133.80	135.90	133.05	133.05	134.25	134.01

Injakan Penetrator pada Baja Sepatu Rem Honda

1	*d	127.95	118.90	126.45	119.25	121.25	122.76

Injakan Penetrator pada Sepatu Rem Sanex

		d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	*d
1	*d	148.20	133.75	133.40	135.95	135.75	137.41
2	*d	132.15	139.15	138.00	139.80	137.25	137.27
3	*d	139.75	141.35	139.95	140.15	137.65	139.77
4	*d	129.25	136.00	139.15	142.90	140.00	137.46
5	*d	128.75	128.80	129.00	129.00	128.90	128.89

Injakan Penetrator pada Baja Sepatu Rem Sanex

1	*d	-	128.15	130.70	129.30	129.75	103.58

Tabel 4.3 : Angka kekerasan *Vickers* Sepatu Rem

Kekerasan Vickers Sepatu Rem Honda

Spesimen	Hv1	Hv2	Hv3	Hv4	Hv5	Σ Hv	Hv rata-rata
1	115.00	108.00	104.00	103.00	100.00	530.00	106.00
2	108.00	101.00	108.00	100.00	100.00	517.00	103.40
3	95.80	100.00	102.00	105.00	101.00	503.80	100.76

4	105.00	102.00	102.00	99.80	99.00	507.80	101.56
5	104.00	100.00	105.00	105.00	103.00	517.00	103.40
						Jumlah	515.12
						Hv rata-rata akhir	**103.02**

Kekerasan Vickers Baja Sepatu Rem Honda

Spesimen	Hv1	Hv2	Hv3	Hv4	Hv5	Σ Hv	Hv rata-rata
1	113.00	131.00	116.00	130.00	126.00	616.00	**123.20**

Kekerasan Vickers Sepatu Rem Sanex

Spesimen	Hv1	Hv2	Hv3	Hv4	Hv5	Σ Hv	Hv rata-rata
1	84.40	104.00	104.00	100.00	101.00	493.40	98.68
2	106.00	95.70	97.40	94.90	98.30	492.30	98.46
3	94.90	92.70	94.60	94.30	97.80	474.30	94.86
4	111.00	100.00	95.70	90.80	94.60	492.10	98.42
5	112.00	112.00	111.00	111.00	112.00	558.00	111.60
						Jumlah	502.02
						Hv rata-rata akhir	**100.40**

Kekerasan Vikers Baja Sepatu Rem Sanex

Spesimen	**Hv1**	**Hv2**	**Hv3**	**Hv4**	**Hv5**	Σ **Hv**	**Hv rata-rata**
1	-	113.00	109.00	111.00	110.00	443.00	**110.75**

4.2 Pengujian kekerasan Vikers pada Rumah Rem

Data hasil pengujian kekerasan Vikers pada rumah rem sepeda motor merk Honda dan Sanex diperoleh :

Tabel 4.4 : Diameter Diagonal Hasil Injakan Rumah Rem

Hasil Injakan Rumah Rem Sanex

	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	d_8	d_9	d_{10}	d_{11}	d_{12}
d_1	136.40	133.40	133.60	133.40	133.40	136.30	133.20	138.00	135.80	135.30	139.00	135.80
d_2	137.20	132.10	132.30	132.60	134.10	135.00	132.10	137.80	133.50	134.10	138.00	134.70
*d	136.80	132.75	132.95	133.00	133.75	135.65	132.65	137.90	134.65	134.70	138.50	135.25

d_{13}	d_{14}	d_{15}	d_{16}	d_{17}	d_{18}	d_{19}	d_{20}	d_{21}	d_{22}	d_{23}
133.80	133.80	134.70	134.10	136.40	132.10	131.70	132.60	132.40	131.70	132.10
133.70	132.70	132.50	132.70	135.80	131.40	130.40	131.80	131.20	130.40	130.40
133.75	133.25	133.60	133.40	136.10	131.75	131.05	132.20	131.80	131.05	131.25

d = Nilai rata-rata panjang diagonal bekas injakan

Diameter injakan penetrator plat gesek Sanex

d_1	87.65	88.70	88.30	87.20	
d_2	86.40	86.20	87.40	86.80	
*d	87.03	87.45	87.85	87.00	87.33

Diameter injakan penetrator pada rumah rem Honda

	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	d_8	d_9	d_{10}	d_{11}
d_1	146.10	138.90	140.30	140.10	141.70	146.50	144.20	144.80	156.10	156.00	144.50
d_2	145.80	137.60	140.20	138.80	140.80	146.10	143.80	143.20	155.80	154.30	143.80
*d	145.95	138.25	140.25	139.45	141.25	146.30	144.00	144.00	155.95	155.15	144.15

d_{12}	d_{13}	d_{14}	d_{15}	d_{16}	d_{17}	d_{18}	d_{19}	d_{20}	d_{21}	d_{22}	d_{23}
143.70	146.20	141.70	140.70	139.10	138.70	145.80	149.70	149.70	151.20	149.70	151.20
142.00	145.10	140.30	139.20	138.70	138.40	144.70	148.10	149.20	149.80	149.20	149.70
142.85	145.65	141.00	139.95	138.90	138.55	145.25	148.90	149.45	150.50	149.45	150.45

Tabel 4.5 : Angka Kekerasan *Vickers* pada Rumah Rem

Kekerasan *Vickers* pada Rumah Rem Sanex

Hv1	Hv2	Hv3	Hv4	Hv5	Hv6	Hv7	Hv8	Hv9	Hv10	Hv11	Hv12
99.1	105	105	105	104	101	105	97.5	102	102	96.7	101

Hv13	Hv14	Hv15	Hv16	Hv17	Hv18	Hv19	Hv20	Hv21	Hv22	Hv23	Σ Hv	Hv rata-rata
104	104	104	104	100	107	108	106	107	108	108	2383.3	**103.62**

Kekerasan *Vickers* Plat Gesek pada Rumah Rem Sanex

Hv1	Hv2	Hv3	Hv4	Σ Hv	Hv rata-rata
245	242.00	240.00	245.00	972.00	**243.00**

Kekerasan *Vickers* Plat Gesek pada Rumah Rem Honda

Hv1	Hv2	Hv3	Hv4	Hv5	Hv6	Hv7	Hv8	Hv9	Hv10	Hv11	Hv12	Hv13
87.00	96.90	94.20	95.30	92.90	86.6	89.4	89.4	76.2	77	89.2	90.8	87.3

Hv14	Hv15	Hv16	Hv17	Hv18	Hv19	Hv20	Hv21	Hv22	Hv23	Σ Hv	Hv rata-rata
93.3	94.6	96	96.5	87.8	83.5	83	81.9	83	81.9	2033.70	**88.42**

Kekerasan ***Vickers*** Plat Gesek pada Rumah Rrem Honda

Hv1	Hv2	Hv3	Hv4	Hv5	Hv6	Σ Hv	Hv rata-rata
199.00	201.00	195.00	202.00	198.00	200	1195.00	**199.16**

PERHITUNGAN DATA BERDASAR RALAT/ DEVIASI

Untuk mendapatkan data pengujian kekerasan yang valid, dipakai perhitungan standart deviasi dan ralat untuk menyatakan kekerasan rumah dan sepatu rem dengan persamaan sebagai berikut :

$$\gamma = \sqrt{\frac{\Sigma(a_1 - a_r)^2}{n(n-1)}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4.1)$$

Dengan, a_1 = Data pengujian

a = Banyaknya data

a_r = rata-rata

γ = Deviasi

Angka Kekerasan *Vickers* Sepatu Rem Honda

No	Hv	$Hv - \overline{Hv}$	$(Hv - \overline{Hv})^2$
1	106	2.98	8.8804
2	103.4	0.38	0.1444
3	100.76	-2.26	5.1076
4	101.56	-1.46	2.1316
5	103.4	0.38	0.1444
Σ	515.12	0	16.4084

Hv rata-rata = 515.12/5 = 103.024

$$\boxed{\gamma = \sqrt{\frac{\sum(16.408)}{5(4)}} = 0.9058}$$

Kekerasan *Vickers* Baja Sepatu Rem Honda

No	Hv	$Hv - \overline{Hv}$	$(Hv - \overline{Hv})^2$
1	113	-10.2	104.04
2	131	7.8	60.84
3	116	-7.2	51.84
4	130	6.8	46.24
5	126	2.8	7.84
Σ	616	0	270.8

Hv rata-rata = 616/5 = 123.2

$$\gamma = \sqrt{\frac{\sum(270.8)}{5(4)}} = 3.6797$$

Kekerasan *Vickers* Sepatu Rem Sanex

No	Hv	$Hv - \overline{Hv}$	$(Hv - \overline{Hv})^2$
1	98.68	-1.72	2.958
2	98.46	-1.94	3.764
3	94.86	-5.54	30.692
4	98.42	-1.98	3.920
5	111.6	11.2	125.440
Σ	502.02	0	166.774

Hv rata-rata = 502.02/5 = 100.404

$$\gamma = \sqrt{\frac{\sum(166.774)}{5(4)}} = 2.8877$$

Kekerasan *Vickers* Baja Sepatu Rem Sanex

No	Hv	$Hv - \overline{Hv}$	$(Hv - \overline{Hv})^2$
1	113	2.25	5.063
2	109	-1.75	3.063
3	111	0.25	0.063
4	110	-0.75	0.563
Σ	443	0	8.750

Hv rata-rata = 443/4 = 110.75

$$\gamma = \sqrt{\frac{\sum(8.750)}{4(3)}} = 0.8539$$

Angka Kekerasan *Vickers* pada Rumah Rem Sanex

No	Hv	$Hv - \overline{Hv}$	$(Hv - \overline{Hv})^2$
1	99.1	-4.52	20.4304
2	105	1.38	1.9044
3	105	1.38	1.9044
4	105	1.38	1.9044
5	104	0.38	0.1444
6	101	-2.62	6.8644
7	105	1.38	1.9044
8	97.5	-6.12	37.4544
9	102	-1.62	2.6244
10	102	-1.62	2.6244
11	96.7	-6.92	47.8864
12	101	-2.62	6.8644
13	104	0.38	0.1444
14	104	0.38	0.1444
15	104	0.38	0.1444
16	104	0.38	0.1444
17	100	-3.62	13.1044
18	107	3.38	11.4244
19	108	4.38	19.1844
20	106	2.38	5.6644
21	107	3.38	11.4244
22	108	4.38	19.1844
23	108	4.38	19.1844
Σ	2383.3	0	232.2592

Hv rata-rata = 2383.3/23 = 103.62

$$\gamma = \sqrt{\frac{\sum(232.2592)}{23(22)}} = 0.6775$$

Kekerasan plat gesek pada Rumah Rem Sanex

No	Hv	$Hv - \overline{Hv}$	$(Hv - \overline{Hv})^2$
1	245	2	4
2	242	-1	1
3	240	-3	9
4	245	2	4
Σ	972	0	18

Hv rata-rata = 972/4 = 243

$$\gamma = \sqrt{\frac{\sum(18)}{4(3)}} = 1.2247$$

Kekerasan Plat Gesek pada Rumah Rem Honda

No	Hv	$Hv - \overline{Hv}$	$(Hv - \overline{Hv})^2$
1	87.0	-1.42	2.0164
2	96.9	8.48	71.9104
3	94.2	5.78	33.4084
4	95.3	6.88	47.3344
5	92.9	4.48	20.0704
6	86.6	-1.82	3.3124
7	89.4	0.98	0.9604
8	89.4	0.98	0.9604
9	76.2	-12.22	149.3284
10	77.0	-11.42	130.4164
11	89.2	0.78	0.6084
12	90.8	2.38	5.6644
13	87.3	-1.12	1.2544
14	93.3	4.88	23.8144
15	94.6	6.18	38.1924
16	96.0	7.58	57.4564
17	96.5	8.08	65.2864
18	87.8	-0.62	0.3844
19	83.5	-4.92	24.2064
20	83.0	-5.42	29.3764
21	81.9	-6.52	42.5104
22	83.0	-5.42	29.3764
23	81.9	-6.52	42.5104
Σ	2033.7	0	820.3592

Hv rata-rata = 2033.7/23 = 88.4217

$$\gamma = \sqrt{\frac{\sum(820.3592)}{23(22)}} = 1.2733$$

Kekerasan plat gesek pada Rumah Rem Honda

No	Hv	$Hv - \overline{Hv}$	$(Hv - \overline{Hv})^2$
1	199	-0.17	0.0289
2	201	1.83	3.3489
3	195	-4.17	17.3889
4	202	2.83	8.0089
5	198	-1.17	1.3689
6	200	0.83	0.6889
Σ	1195	0	30.8334

Hv rata-rata = 1195/6 = 199.1667

$$\gamma = \sqrt{\frac{\sum(30.8334)}{6(5)}} = 1.0138$$

4.2 Analisis Data Pengujian Mekanik

4.2.1 Data pengujian Kekerasan Sepatu dan Rumah rem Sepeda Motor Merk Honda dan Sanex.

Penelitian kekerasan terhadap sepatu dan rumah rem kendaraan bermotor roda dua dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Pengujian terhadap kualitas sepatu dan rumah rem kendaraan bermotor roda dua dideteksi dengan uji kekerasan. Kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan bahan terhadap penetrasi pada permukaannya. Metode uji kekerasan menggunakan mikrohardness Vickers. Penetrasi dipakai diamond. Sebelum dilakukan pengujian kekerasan tahap-tahap yang penulis persiapkan untuk mendapatkan data dan menarik kesimpulan adalah :

- Mengukur dimensi benda uji.
- Menentukan jenis pengujian yang sesuai dengan tujuan.
- Hipotesa terhadap benda uji, berdasar pada teori-teori yang ada.
- Melakukan pengujian terhadap sampel.
- Mengumpulkan data hasil pengujian.
- Menarik kesimpulan dari pengujian.

4.2.2 Data Pengujian kekerasan *Vikers* pada sepatu rem

Data hasil pengujian kekerasan Vikers pada sepatu rem sepeda motor merk Honda dan Sanex diperoleh :

Berdasar tabel 4.6 : Nilai kekerasan pada Sepatu Rem

No	Nama	Elemen	ΣHV (Kg/mm^2)
1	Honda Baru	Sepatu rem	103.02 ± 0.90
2	Sanex Baru	Sepatu rem	100.40 ± 2.88
3	Honda Baru	Plat Penahan	123.20 ± 3.67
4	Sanex Baru	Plat Penahan	110.75 ± 0.85

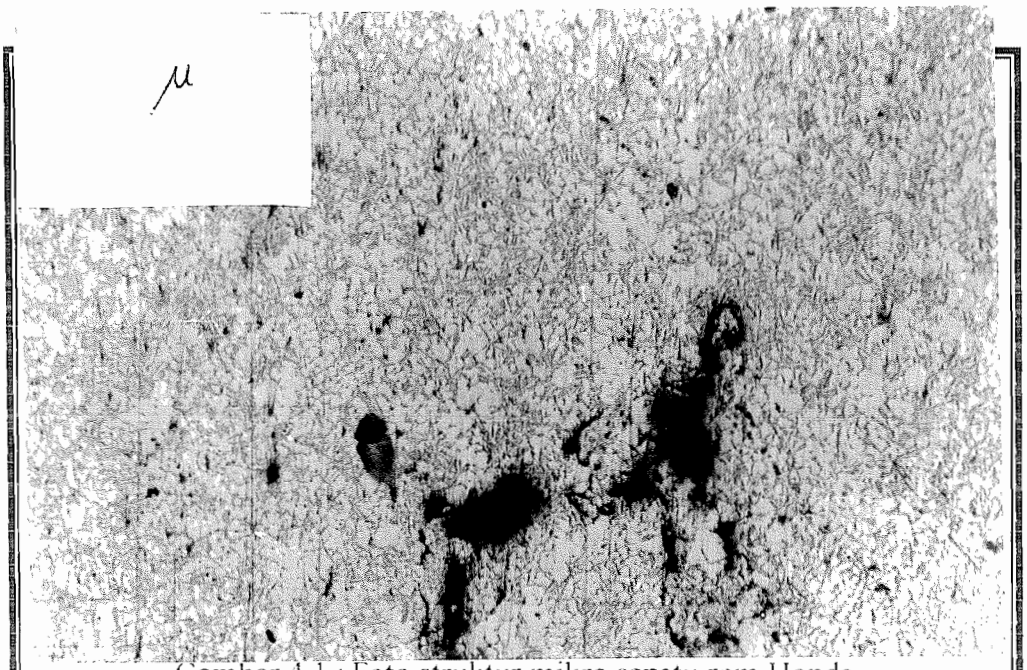
4.2.3 Data Pengujian kekerasan Vikers pada Rumah Rem

Berdasar tabel 4.7 : Nilai Kekerasan pada Rumah Rem

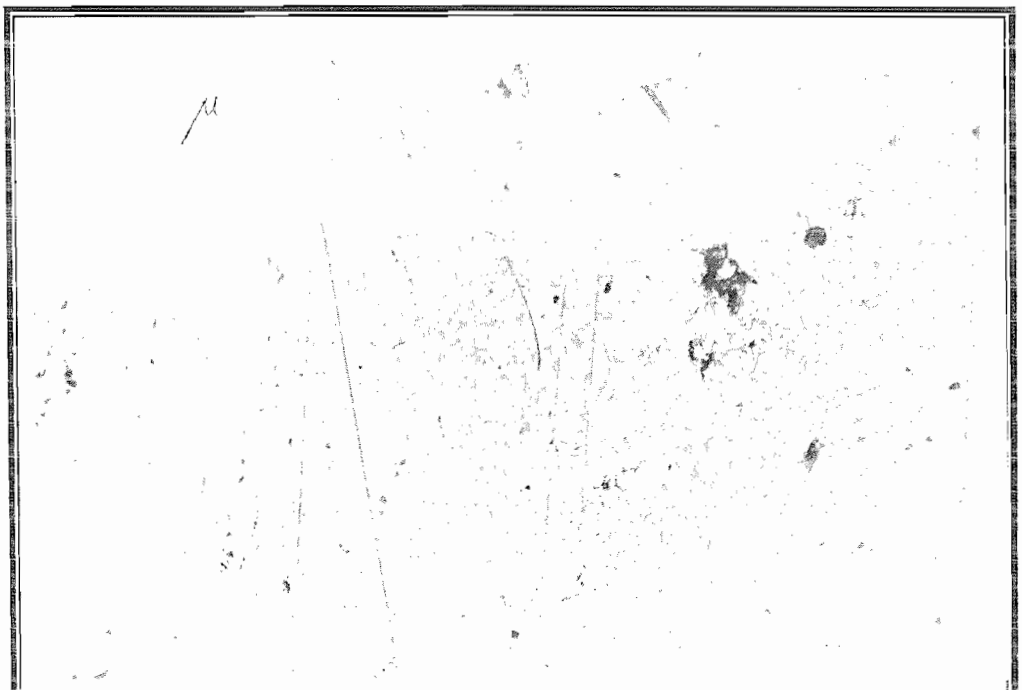
No	Nama	Elemen	ΣHV (Kg/mm^2)
1	Honda Baru	Rumah rem	88.42 ± 1.27
2	Sanex Baru	Rumah rem	103.62 ± 0.67
3	Honda Baru	Plat Gesek	199.16 ± 1.01
4	Sanex Baru	Plat Gesek	243.00 ± 1.22

4.2 Analisis Struktur Mikro

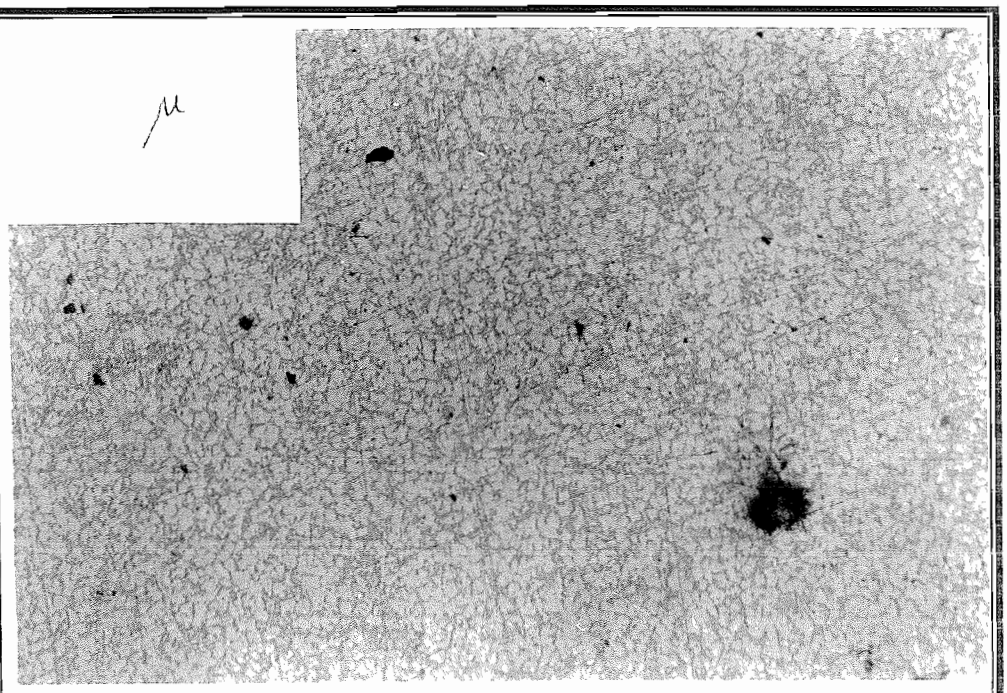
Hasil foto Struktur mikro pada pengujian benda uji dapat di lihat di bawah ini :



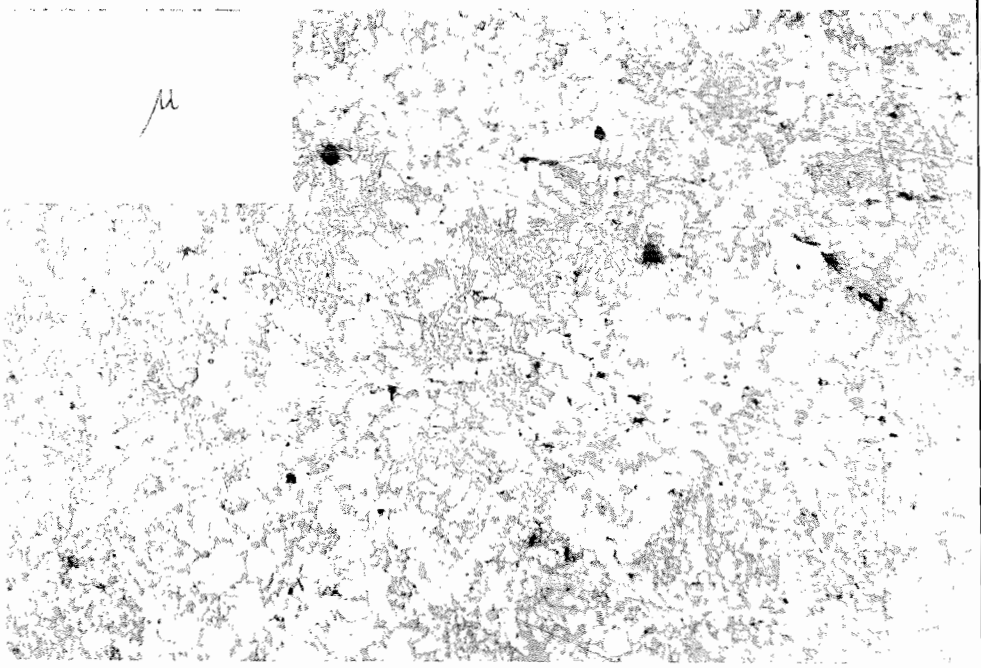
Gambar 4.1 : Foto struktur mikro sepatu rem Honda



Gambar 4.2 : Foto struktur mikro sepatu rem Sanex

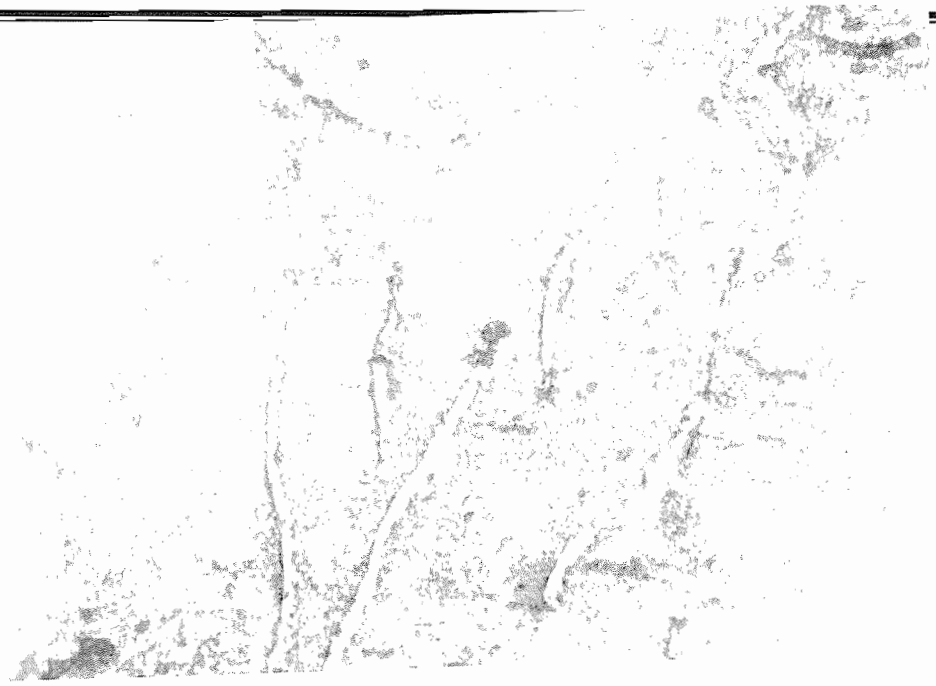


Gambar 4.3 : Foto struktur mikro rumah rem Honda

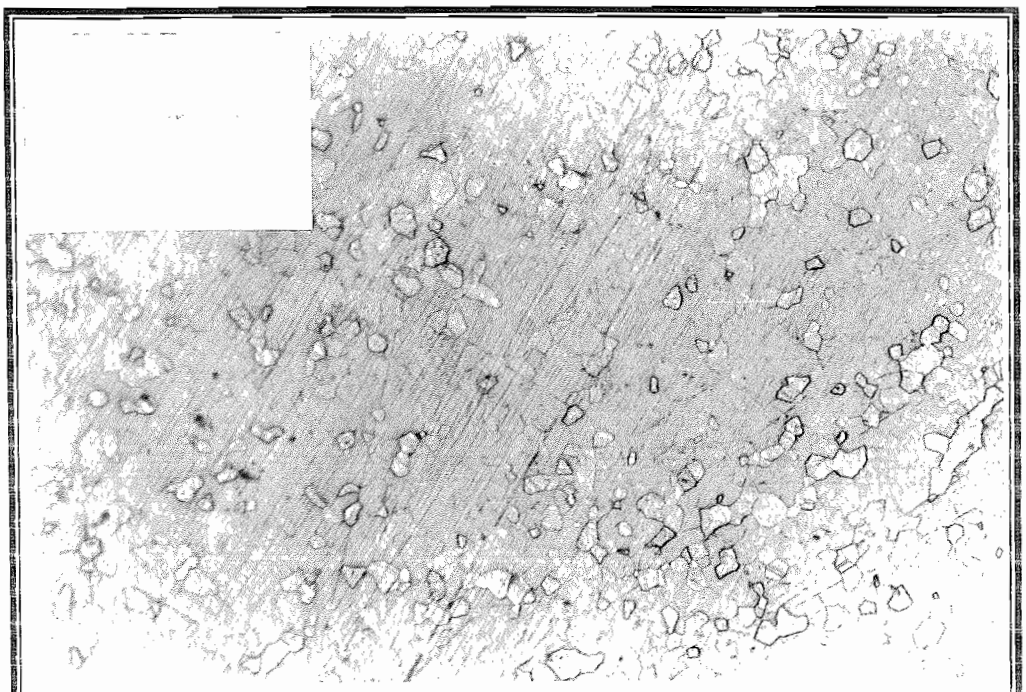


Gambar 4.4 : Foto struktur mikro rumah rem Sanex

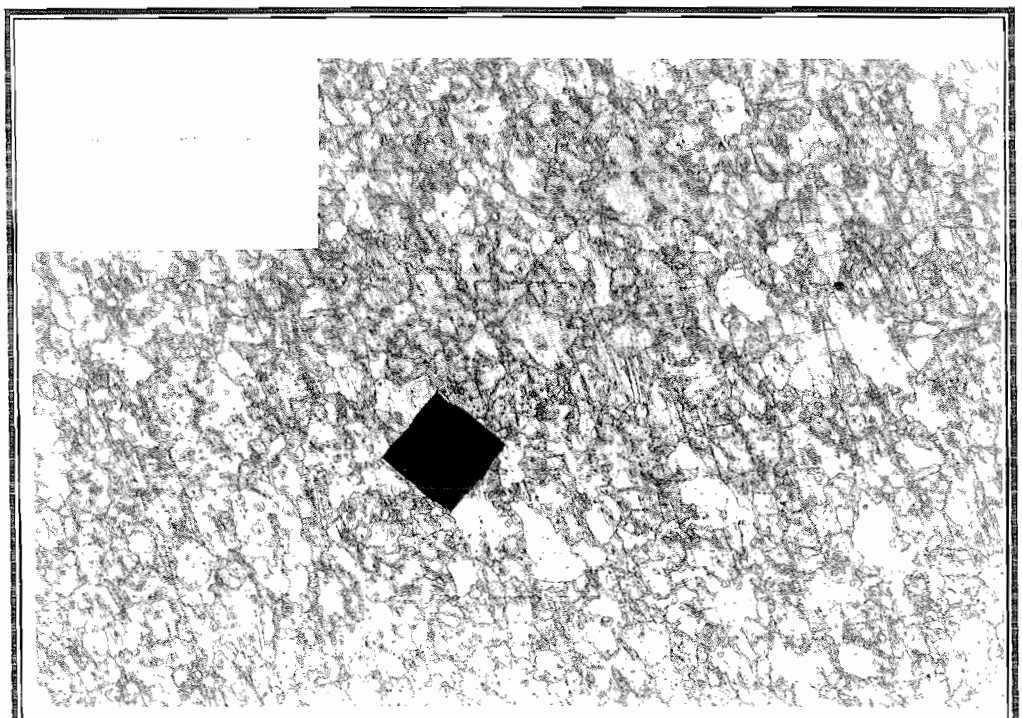
Gambar 4.5 : Foto struktur mikro Plat Gesek pada rumah rem Honda



Gambar 4.6 : Foto struktur mikro Plat Gesek pada rumah rem Sanex



Gambar 4.7 : Foto struktur mikro baja plat penahan pada Honda



Gambar 4.8 : Foto struktur mikro baja plat penahan pada Sanex

4.3 Pembahasan

Berdasar dari data hasil penelitian dapat diketahui bahwa kekerasan sangat erat hubungannya dengan struktur mikro. Pada plat gesek kendaraan bermotor merk Honda dan Sanex terdapat kristal martensit dan grafit. Kristal martensit mengakibatkan material mempunyai kekerasan yang tinggi dan grafit merupakan struktur dari besi cor. Bahan besi cor cocok bagi material plat gesek karena mempunyai kekerasan yang tinggi. Saat terjadi pengereman kampas yang biasanya terbuat dari bahan asbestos akan bergesek dengan plat gesek. Gesekan ini akan menimbulkan proses abrasi bahan dimana bahan yang lebih lunak akan kehilangan partikel permukaan karena gesekan. Dalam hal ini bahan yang murah harganya diusahakan yang terkena efek abrasi/ keausan lebih besar. Kecuali itu plat gesek dari besi cor juga berfungsi sebagai bahan penguat pada rumah rem yang terbuat dari alumunium.

Plat penahan terbuat dari baja yang mempunyai kekerasan lebih besar daripada bahan alumunium pada sepatu rem. Pada saat pengereman terjadi penekanan pada kedua sepatu rem. Karena ada lapisan baja yang keras maka keausan karena deformasi akibat gaya yang terjadi dapat diatasi.

Sepatu rem dan rumah rem terbuat dari bahan alumunium karena disamping sifat-sifat yang dikehendaki bisa tercapai, murah dan ringan, proses pencetakan/ pengecoran juga lebih mudah.

Struktur grafit kasar dalam ferit pada sepatu dan rumah rem menyebabkan kekerasan rendah.

BAB V

KESIMPULAN DAN PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian sifat fisis dan mekanis yang meliputi pengujian bahan, dengan uji kekerasan dan struktur mikro pada sepatu rem dan rumah rem sepeda motor merk Honda dan sanex, secara umum dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada sepatu rem Honda dan Sanex terdapat tiga bahan yang berbeda. Satu non logam yaitu kampas rem yang biasanya terbuat dari asbestos dan dua bahan lainnya adalah logam, yaitu dudukan kampas yang terbuat dari alumunium dan plat penahan yang terbuat dari baja.
2. Pada rumah rem Honda dan Sanex terdapat dua bahan yang semuanya terbuat dari logam, yaitu tromol dari alumunium dan plat gesek dari besi cor.
3. Harga kekerasan material sepatu rem merk Honda adalah : Hv=103.02 kg/mm^2, sedang plat penahan Hv = 123.20 kg/mm^2.
4. Harga kekerasan material sepatu rem merk Sanex adalah : Hv=100.40 kg/mm^2, sedang plat penahan Hv = 110.76 kg/mm^2. Dari hasil pengujian di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa harga kekerasan sepatu rem merk Honda lebih keras daripada kendaraan bermotor merk Sanex.

5. Harga kekerasan material rumah rem merk Honda adalah : Hv=88.42 kg/mm^2, sedang plat gesek Hv = 199.16 kg/mm^2.
6. Harga kekerasan material rumah rem merk Sanex adalah : Hv=103.62 kg/mm^2, sedang plat gesek Hv = 243 kg/mm^2. Dari hasil pengujian di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa harga kekerasan rumah rem merk Sanex lebih keras daripada kendaraan bermotor merk Honda

.5.2 Saran – saran

1. Berdasar hasil pengujian dan penelitian diketahui bahwa kualitas bahan komponen dapat diketahui kekurangan dan kelebihan dari sepatu dan rumah rem kendaraan bermotor merk Honda dan Sanex. Konsumen perlu mengetahui dan mempertimbangkan kualitas pendukung *(spare parts)* dari masing-masing merk. Biasanya konsumen sering menukar komponen sepatu dan rumah rem merk Honda dengan Merk Sanex. Dalam hal ini penelitian ini bisa dijadikan bahan pertimbangan bagi konsumen dalam memilih *spare parts.*
2. Dalam beberapa hal, kualitas bahan komponen kendaraan bermotor tergantung pada kualitas industri. Industri di Indonesia perlu didorong maju untuk meningkatkan kualitas bahan agar konsumen dapat menikmati produk yang baik dan terjangkau harganya.

Semoga hasil penelitian komponen kendaraan bermotor berupa sepatu dan rumah rem merk Honda dan Sanex dapat bermanfaat bagi kita semua.

DAFTAR PUSTAKA

ASME Hand Book. *Metal Properties*. McGraw-Hill Co. New York.

Kenji. C. Tata Surdia. *Teknik Pengecoran Logam*. PT. Pradya Paramita. Jakarta. 1976.

Niemann, G. *Elemen Mesin Jilid I*. 1992. Jakarta. Penerbit Erlangga.

Shinroku Saito, Tata Surdia. *Pengetahuan Bahan Teknik*. PT. Pradya Paramita. Jakarta. 1995.

Smallman,R.E, *Metalurgi Fisik Modern*. Edisi keempat, PT Gramedia. Jakarta. 1991.

Sularso, *Elemen Mesin*, Cetakan Pertama, Pradya Paramita, Jakarta, 1978.

Van Vlack, Lawrence, H, Sriati Djaprie, *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Edisi kelima. Penerbit Erlangga. Jakarta. 1991.

LAMPIRAN

Load 1000gf (1kgf)

Diagonal (μm)	Vickers Hardness Number									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
35	1513	1505	1496	1488	1479	1471	1463	1455	1447	1439
36	1431	1423	1415	1407	1399	1392	1384	1377	1369	1362
37	1354	1347	1340	1333	1325	1318	1311	1304	1298	1291
38	1284	1277	1271	1264	1257	1251	1244	1238	1232	1225
39	1219	1213	1207	1200	1194	1188	1182	1176	1170	1165
40	1159	1153	1147	1142	1136	1130	1125	1119	1114	1108
41	1103	1098	1092	1087	1082	1076	1071	1066	1061	1056
42	1051	1046	1041	1036	1031	1026	1022	1017	1012	1007
43	1003	998	993	989	984	980	975	971	966	962
44	958	953	949	945	940	936	932	928	924	920
45	916	911	907	903	899	896	892	888	884	880
46	876	872	869	865	861	857	854	850	846	843
47	839	836	832	829	825	822	818	815	811	808
48	805	801	798	795	791	788	785	782	779	775
49	772	769	766	763	760	757	754	751	748	745
50	742	739	736	733	730	727	724	721	718	716
51	713	710	707	704	702	699	696	694	691	688
52	686	683	680	678	675	673	670	668	665	663
53	660	658	655	653	650	648	645	643	641	638
54	636	633	631	629	626	624	622	620	617	615
55	613	611	608	606	604	602	600	598	595	593
56	591	589	587	585	583	581	579	577	575	573
57	571	569	567	565	563	561	559	557	555	553
58	551	549	547	545	544	542	540	538	536	534
59	533	531	529	527	525	524	522	520	518	517
60	515	513	512	510	508	507	505	503	502	500
61	498	497	495	493	492	490	489	487	485	484
62	482	481	479	478	476	475	473	472	470	469
63	467	466	464	463	461	460	458	457	455	454
64	453	451	450	448	447	446	444	443	442	440
65	439	437	436	435	433	432	431	430	428	427
66	426	424	423	422	421	419	418	417	415	414
67	413	412	411	409	408	407	406	405	403	402
68	401	400	399	397	396	395	394	393	392	391
69	389	388	387	386	385	384	383	382	381	379
70	378	377	376	375	374	373	372	371	370	369
71	368	367	366	365	364	363	362	361	360	359
72	358	357	356	355	354	353	352	351	350	349
73	348	347	346	345	344	343	342	341	340	339
74	339	338	337	336	335	334	333	332	331	330
75	330	329	328	327	325	325	324	324	323	322
76	321	320	319	318	318	317	316	315	314	314
77	313	312	311	310	309	309	308	307	306	306
78	305	304	303	302	302	301	300	299	299	298
79	297	296	296	295	294	293	293	292	291	290

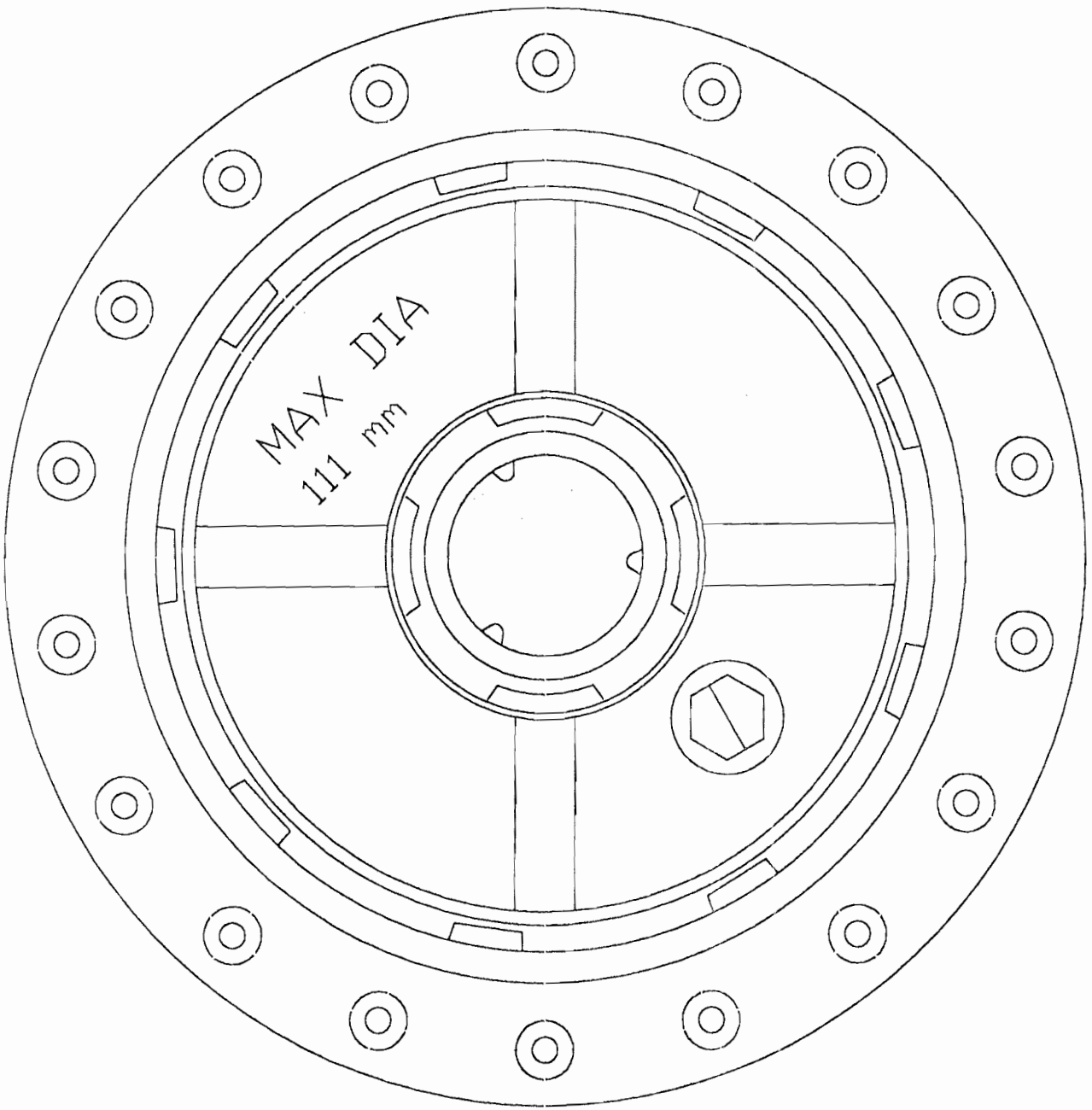
Diagonal (μm)	Vickers Hardness Number									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
80	290	289	288	288	287	286	285	285	284	283
81	283	282	281	280	280	279	278	278	277	276
82	276	275	274	274	273	272	272	271	270	270
83	269	268	268	267	267	266	265	265	264	263
84	263	262	262	261	260	260	259	258	258	257
85	257	256	255	255	254	254	253	252	252	251
86	251	250	250	249	248	248	247	247	246	246
87	245	244	244	243	243	242	242	241	241	240
88	239	239	238	238	237	237	236	236	235	235
89	234	234	233	232	232	231	231	230	230	229
90	229	228	228	227	227	226	226	225	225	224
91	224	223	223	222	222	221	221	220	220	220
92	219	219	218	218	217	217	216	216	215	215
93	214	214	213	213	213	212	212	211	211	210
94	210	209	209	208	208	208	207	207	206	206
95	205	205	205	204	204	203	203	202	202	202
96	201	201	200	200	200	199	199	198	198	197
97	197	197	196	196	195	195	195	194	194	193
98	193	193	192	192	191	191	191	190	190	190
99	189	189	188	188	188	187	187	187	186	186
100	185	185	185	184	184	184	183	183	182	182
101	182	181	181	181	180	180	180	179	179	179
102	178	178	178	177	177	176	176	176	175	175
103	175	174	174	174	173	173	173	172	172	172
104	171	171	171	170	170	170	169	169	169	168
105	168	168	168	167	167	167	166	166	166	165
106	165	165	164	164	164	163	163	163	163	162
107	162	162	161	161	161	160	160	160	160	159
108	159	159	158	158	158	157	157	157	157	156
109	156	156	155	155	155	155	154	154	154	154
110	153	153	153	152	152	152	152	151	151	151
111	150	150	150	150	149	149	149	149	148	148
112	148	148	147	147	147	146	146	146	146	145
113	145	145	145	144	144	144	144	143	143	143
114	143	142	142	142	142	141	141	141	141	140
115	140	140	140	139	139	139	139	138	138	138
116	138	138	137	137	137	137	136	136	136	136
117	135	135	135	135	135	134	134	134	134	133
118	133	133	133	132	132	132	132	132	131	131
119	131	131	130	130	130	130	130	129	129	129
120	129	129	128	128	128	128	127	127	127	127
121	127	126	126	126	126	126	125	125	125	125
122	125	124	124	124	124	124	123	123	123	123
123	123	122	122	122	122	122	121	121	121	121
124	121	120	120	120	120	120	119	119	119	119

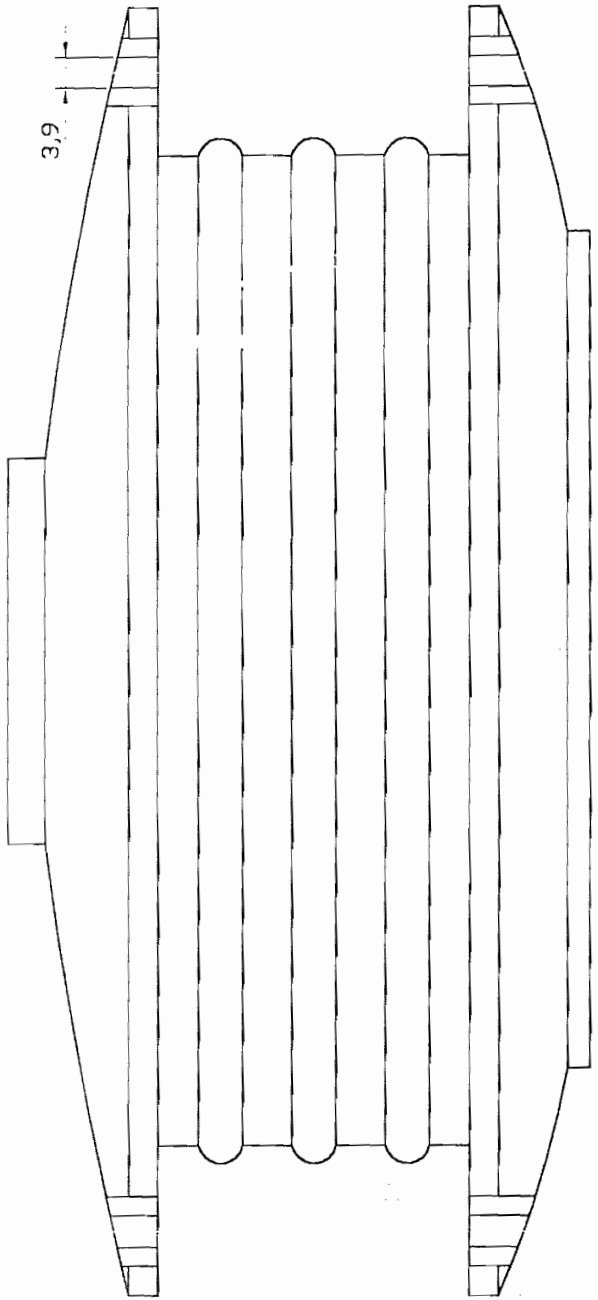
Load 1000gf (1kgf)

Diagonal (μm)	Vickers Hardness Number									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
125	119	118	118	118	118	118	118	117	117	117
126	117	117	116	116	116	116	116	115	115	115
127	115	115	115	114	114	114	114	114	114	113
128	113	113	113	113	112	112	112	112	112	112
129	111	111	111	111	111	111	110	110	110	110
130	110	110	109	109	109	109	109	109	108	108
131	108	108	108	108	107	107	107	107	107	107
132	106	106	106	106	106	106	105	105	105	105
133	105	105	104	104	104	104	104	104	104	103
134	103	103	103	103	103	102	102	102	102	102
135	102	102	101	101	101	101	101	101	101	100
136	100	100	99.9	99.8	99.7	99.5	99.4	99.2	99.1	98.9
137	99	98.6	98.5	98.3	98.2	98.1	97.9	97.8	97.6	97.5
138	97.4	97.2	97.1	96.9	96.8	96.7	96.5	96.4	96.2	96.1
139	96.0	95.8	95.7	95.5	95.4	95.3	95.1	95.0	94.9	94.7
140	94.6	94.5	94.3	94.2	94.1	93.9	93.8	93.7	93.5	93.4
141	93.3	93.1	93.0	92.9	92.7	92.6	92.5	92.3	92.2	92.1
142	91.9	91.8	91.7	91.6	91.4	91.3	91.2	91.0	90.9	90.8
143	90.7	90.5	90.4	90.3	90.2	90.0	89.9	89.8	89.7	89.5
144	89.4	89.3	89.2	89.0	88.9	88.8	88.7	88.5	88.4	88.3
145	88.2	88.1	87.9	87.8	87.7	87.6	87.5	87.3	87.2	87.1
146	87.0	86.9	86.7	86.6	86.5	86.4	86.3	86.1	86.0	85.9
147	85.8	85.7	85.6	85.4	85.3	85.2	85.1	85.0	84.9	84.8
148	84.6	84.5	84.4	84.3	84.2	84.1	84.0	83.8	83.7	83.6
149	83.5	83.4	83.3	83.2	83.1	83.0	82.8	82.7	82.6	82.5
150	82.4	82.3	82.2	82.1	82.0	81.9	81.7	81.6	81.5	81.4
151	81.3	81.2	81.1	81.0	80.9	80.8	80.7	80.6	80.5	80.4
152	80.2	80.1	80.0	79.9	79.8	79.7	79.6	79.5	79.4	79.3
153	79.2	79.1	79.0	78.9	78.8	78.7	78.6	78.5	78.4	78.3
154	78.2	78.1	78.0	77.9	77.8	77.7	77.6	77.5	77.4	77.3
155	77.2	77.1	77.0	76.9	76.8	76.7	76.6	76.5	76.4	76.3
156	76.2	76.1	76.0	75.9	75.8	75.7	75.6	75.5	75.4	75.3
157	75.2	75.1	75.0	74.9	74.8	74.7	74.6	74.5	74.5	74.4
158	74.3	74.2	74.1	74.0	73.9	73.8	73.7	73.6	73.5	73.4
159	73.3	73.2	73.2	73.1	73.0	72.9	72.8	72.7	72.6	72.5
160	72.4	72.3	72.2	72.2	72.1	72.0	71.9	71.8	71.7	71.6
161	71.5	71.4	71.3	71.3	71.2	71.1	71.0	70.9	70.8	70.7
162	70.6	70.6	70.5	70.4	70.3	70.2	70.1	70.0	70.0	69.9
163	69.8	69.7	69.6	69.5	69.4	69.4	69.3	69.2	69.1	69.0
164	68.9	68.8	68.8	68.7	68.6	68.5	68.4	68.3	68.3	68.2
165	68.1	68.0	67.9	67.9	67.8	67.7	67.6	67.5	67.4	67.4
166	67.3	67.2	67.1	67.0	67.0	66.9	66.8	66.7	66.6	66.6
167	66.5	66.4	66.3	66.2	66.2	66.1	66.0	65.9	65.8	65.8
168	65.7	65.6	65.5	65.5	65.4	65.3	65.2	65.1	65.1	65.0
169	64.9	64.8	64.8	64.7	64.6	64.5	64.5	64.4	64.3	64.2

Load 1000gf (1kgf)

Diagonal (μm)	Vickers Hardness Number									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
170	64.2	64.1	64.0	63.9	63.9	63.8	63.7	63.6	63.6	63.5
171	63.4	63.3	63.3	63.2	63.1	63.0	63.0	62.9	62.8	62.7
172	62.7	62.6	62.5	62.5	62.4	62.3	62.2	62.2	62.1	62.0
173	61.9	61.9	61.8	61.7	61.7	61.6	61.5	61.4	61.4	61.3
174	61.2	61.2	61.1	61.0	61.0	60.9	60.8	60.7	60.7	60.6
175	60.5	60.5	60.4	60.3	60.3	60.2	60.1	60.1	60.0	59.9
176	59.9	59.8	59.7	59.6	59.6	59.5	59.4	59.4	59.3	59.2
177	59.2	59.1	59.0	59.0	58.9	58.8	58.8	58.7	58.6	58.6
178	58.5	58.4	58.4	58.3	58.3	58.2	58.1	58.1	58.0	57.9
179	57.9	57.8	57.7	57.7	57.6	57.5	57.5	57.4	57.3	57.
180	57.2	57.2	57.1	57.0	57.0	56.9	56.8	56.8	56.7	56.
181	56.6	56.5	56.5	56.4	56.3	56.3	56.2	56.2	56.1	56
182	56.0	55.9	55.8	55.8	55.7	55.7	55.6	55.5	55.5	55.
183	55.4	55.3	55.2	55.2	55.1	55.1	55.0	54.9	54.9	54.
184	54.8	54.7	54.6	54.6	54.5	54.5	54.4	54.3	54.3	54.
185	54.2	54.1	54.1	54.0	53.9	53.9	53.8	53.8	53.7	53.
186	53.6	53.5	53.5	53.4	53.4	53.3	53.2	53.2	53.1	53.
187	53.0	53.0	52.9	52.8	52.8	52.7	52.7	52.6	52.6	52.
188	52.5	52.4	52.3	52.3	52.2	52.2	52.1	52.1	52.0	52
189	51.9	51.8	51.8	51.7	51.7	51.6	51.6	51.5	51.5	51
190	51.4	51.3	51.2	51.2	51.1	51.1	51.0	51.0	50.9	50.
191	50.8	50.8	50.7	50.7	50.6	50.6	50.5	50.5	50.4	50
192	50.3	50.2	50.2	50.1	50.1	50.0	50.0	49.9	49.9	49.
193	49.8	49.7	49.7	49.6	49.6	49.5	49.5	49.4	49.4	49.
194	49.3	49.2	49.2	49.1	49.1	49.0	49.0	48.9	48.9	48.8
195	48.8	48.7	48.7	48.6	48.6	48.5	48.5	48.4	48.4	48.3
196	48.3	48.2	48.2	48.1	48.1	48.0	48.0	47.9	47.9	47
197	47.8	47.7	47.7	47.6	47.6	47.5	47.5	47.4	47.4	47
198	47.3	47.2	47.2	47.1	47.1	47.1	47.0	47.0	46.9	46
199	46.8	46.8	46.7	46.7	46.6	46.6	46.5	46.5	46.4	46.
200	46.4	46.3	46.3	46.2	46.2	46.1	46.1	46.0	46.0	45
201	45.9	45.8	45.8	45.8	45.7	45.7	45.6	45.6	45.5	45.
202	45.4	45.4	45.3	45.3	45.3	45.2	45.2	45.1	45.1	45.
203	45.0	44.9	44.9	44.9	44.8	44.8	44.7	44.7	44.6	44.
204	44.6	44.5	44.5	44.4	44.4	44.3	44.3	44.2	44.2	44
205	44.1	44.1	44.0	44.0	43.9	43.9	43.9	43.8	43.8	43.
206	43.7	43.6	43.6	43.6	43.5	43.5	43.4	43.4	43.4	43
207	43.3	43.2	43.2	43.1	43.1	43.1	43.0	43.0	42.9	42
208	42.9	42.8	42.8	42.7	42.7	42.6	42.6	42.6	42.5	42
209	42.4	42.4	42.4	42.3	42.3	42.2	42.2	42.2	42.1	42
210	42.0	42.0	42.0	41.9	41.9	41.8	41.8	41.8	41.7	41
211	41.6	41.6	41.6	41.5	41.5	41.4	41.4	41.4	41.3	41
212	41.3	41.2	41.2	41.1	41.1	41.1	41.0	41.0	40.9	40
213	40.9	40.8	40.8	40.8	40.7	40.7	40.6	40.6	40.6	40
214	40.5	40.4	40.4	40.4	40.3	40.3	40.3	40.2	40.2	40

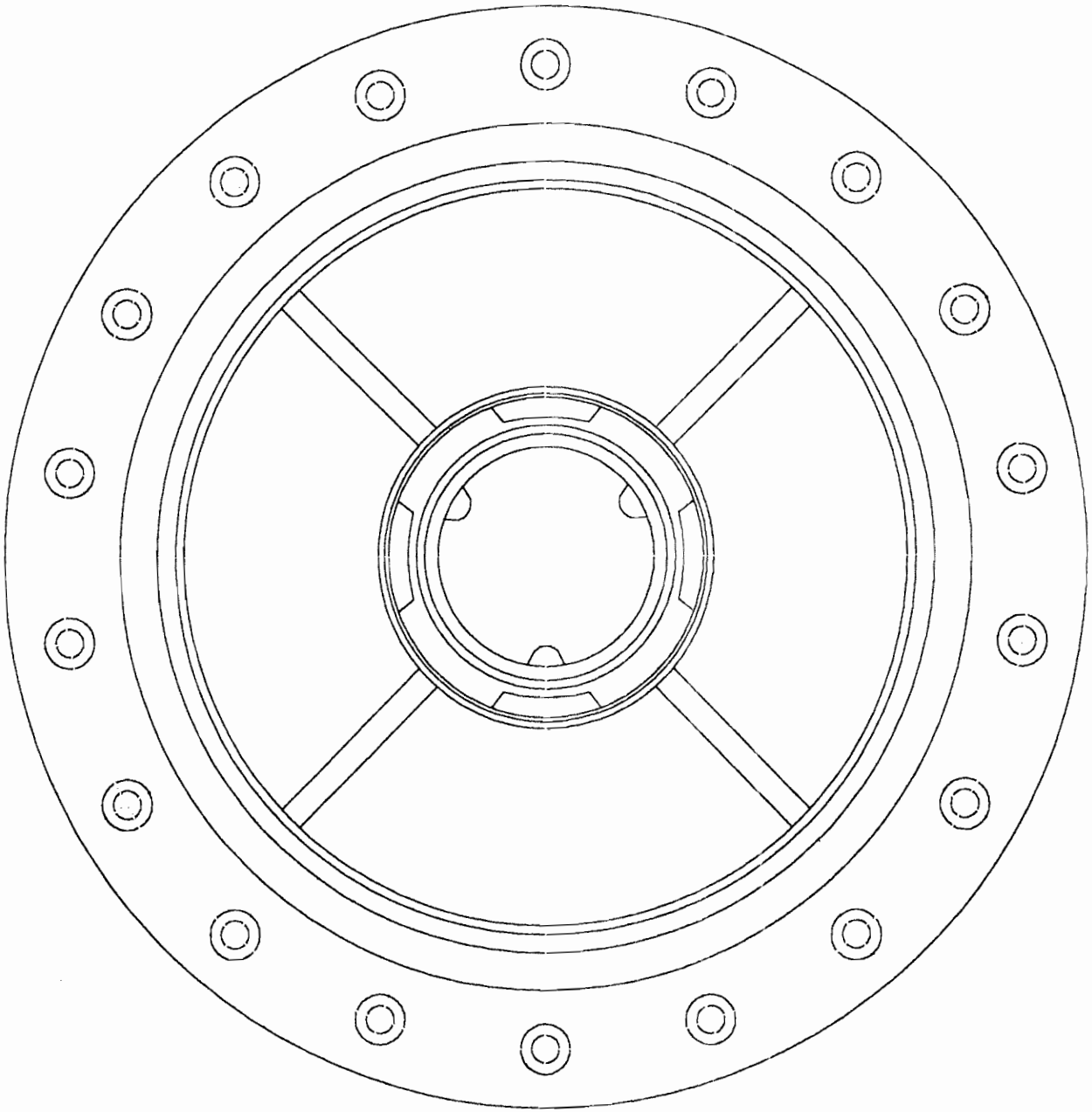


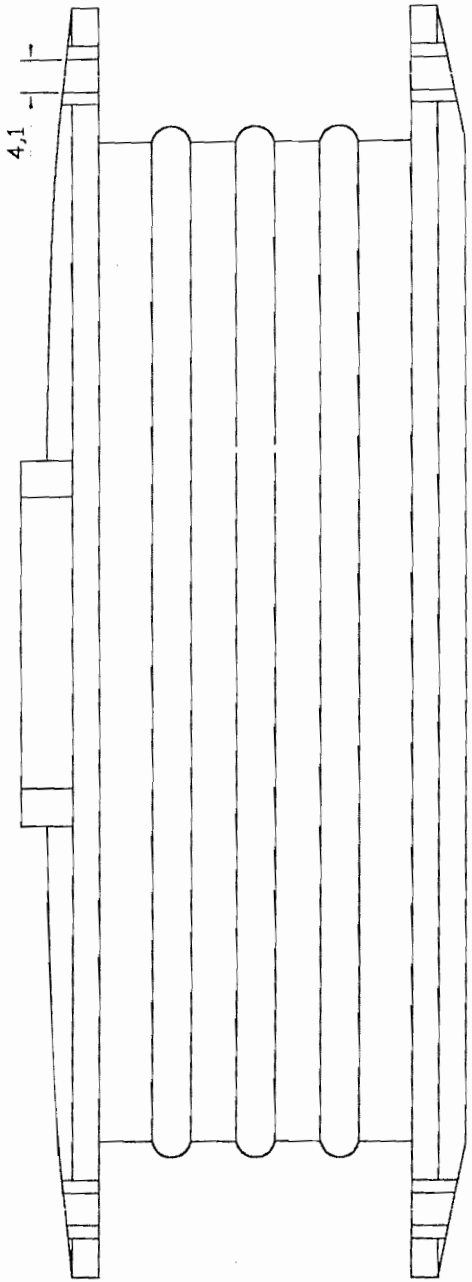


No	JML	NAMA	BAHAN	NORM	KETERANGAN
1	1	HUB	CAST IRON		

SKALA 1:1	DIGAMBAR	P. KHISBANU	KETERANGAN
SATUAN mm	No Mhs	93521404	
TGL MARET 2001	DIPERIKSA	IR. SAMSUDIN	

TM/FT USD	HONDA HUB FRONT WHEEL	A4





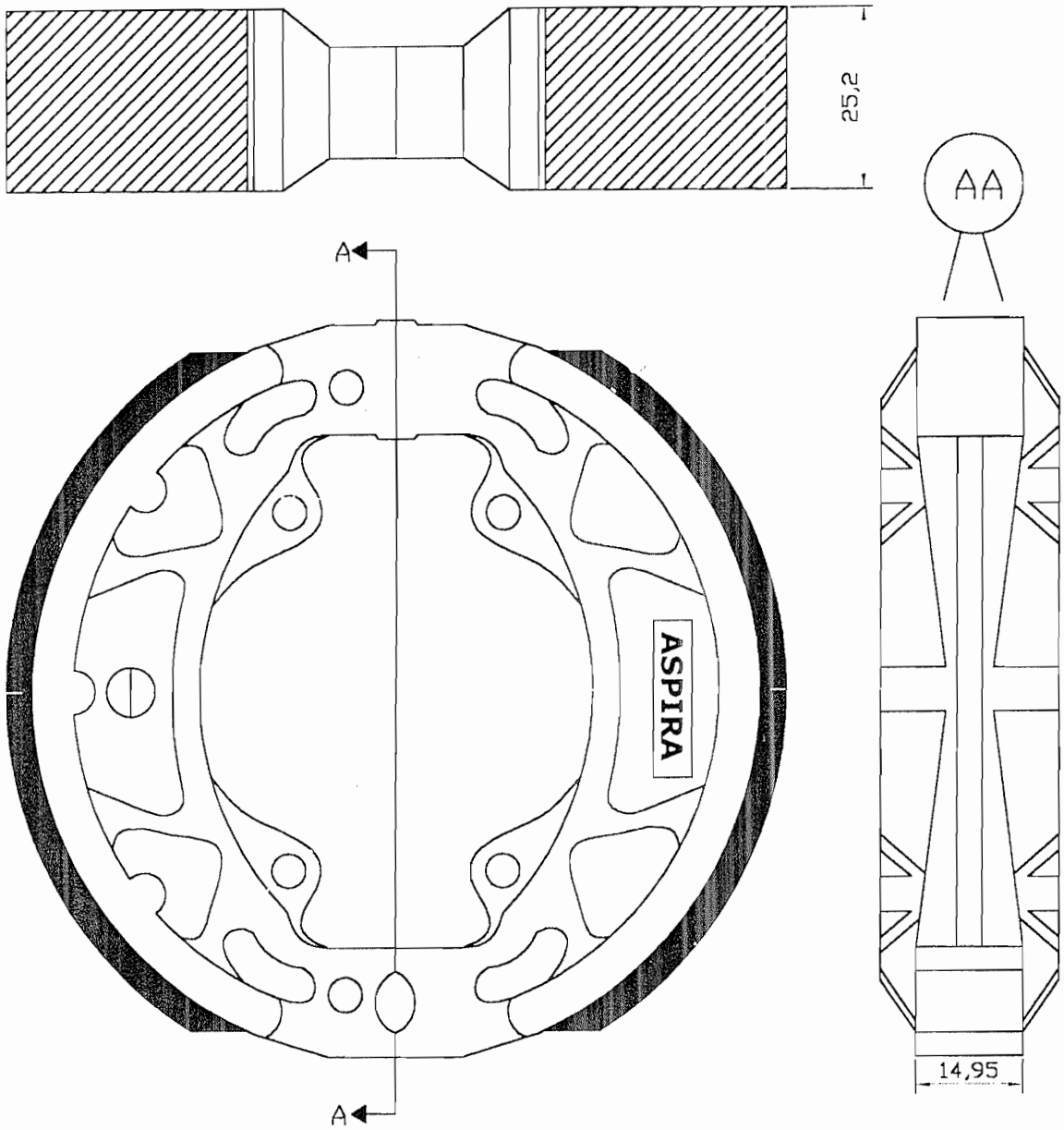
No	JML	NAMA	BAHAN	NORM	KETERANGAN
1	1	HUB	CAST IRON		

SKALA 1 : 1
SATUAN mm
T.G.L. MARET 2001
DIGAMBAR P. YEFISHANI
No Mhs 9927164
DIPERIKSA IR. SUSUTOS

KETERANGAN

TM / FT USD

SANEX HUB FRONT WHEEL

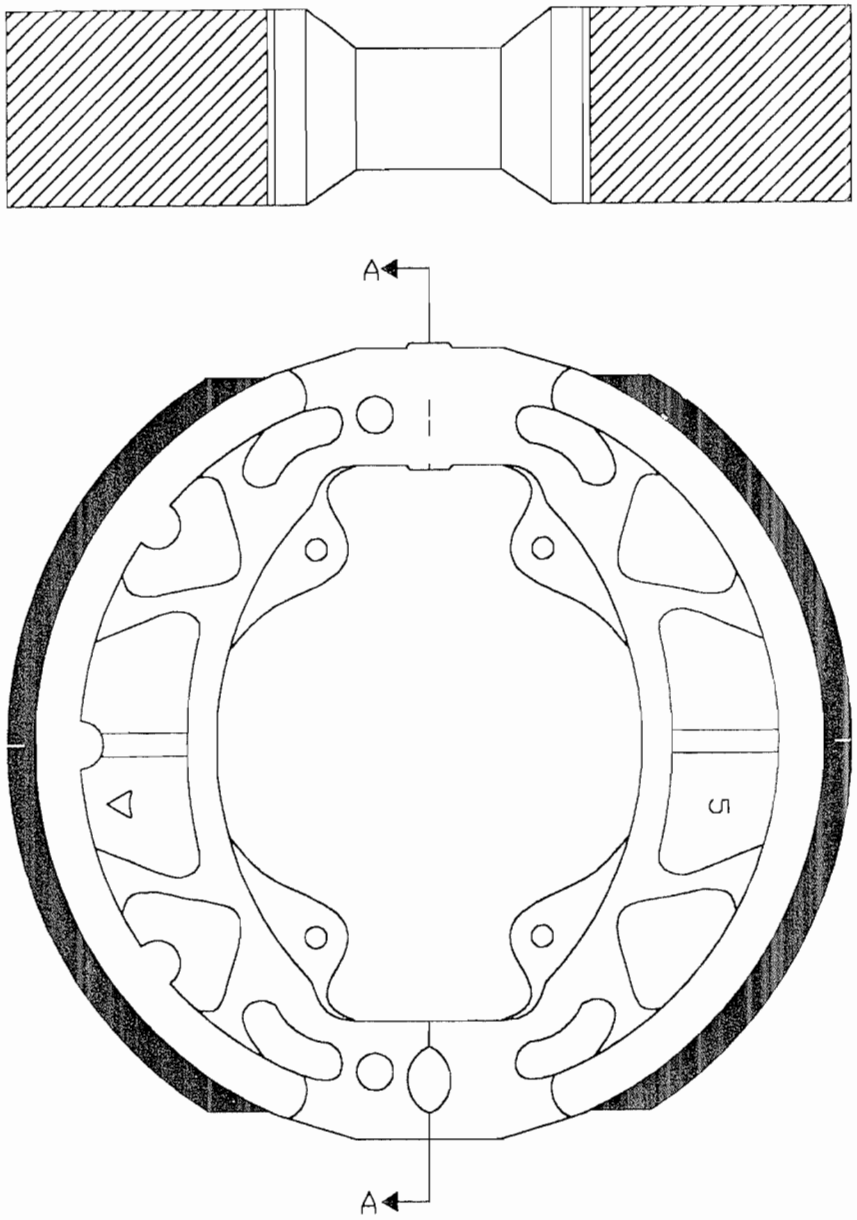


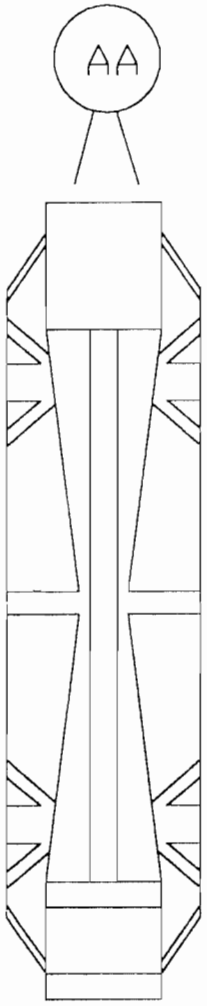
No	JML	NAMA	BAHAN	NORM	KETERANGAN
2	2	KANVAS			
1	2	SHOE	CAST IRON		

SKALA : 1 : 1 | DIGAMBAR : P. KRISUBANU
SATUAN : mm | No. Mhs : 935214047
T G L : MARET 2001 | DIPERIKSA IR. SAMSUDIN

KETERANGAN

TM / FT USD | HONDA SHOE SET BRAKE | A4





No	JML	NAMA	BAHAN	NORM	KETERANGAN
2	2	KANVAS			
1	2	SHOE	CAST IRON		

SKALA : 1 : 1 | DIGAMBAR : P. KRISUBANU
SATUAN : mm | No. Mhs : 935214047
T G L : MARET 2001 | DIPERIKSA : IR. SAMSUDIN

KETERANGAN

TM / FT USD | SANEX SHOE SET BRAKE | A4