

**INVESTIGASI KEKERASAN, STRUKTUR MIKRO, DAN KOMPOSISI
PADA PRODUK CAMSHAFT
(Study kasus pada motor bakar 6 tak)**

**SKRIPSI
TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
menempuh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**WISNU SETYO NUGROHO
NIM. 135060209111001**

**KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN MESIN
MALANG
2016**

**INVESTIGASI KEKERASAN, STRUKTUR MIKRO, DAN KOMPOSISI PADA
PRODUK CHAMSHAFT**

(Study kasus pada motor bakar 6 tak)

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



WISNU SETYO NUGROHO

NIM. 135060209111001

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 25 Oktober 2016

Dosen Pembimbing I

Dr. Eng. Eko Siswanto, ST., MT.

NIP. 19701017 199802 1 001

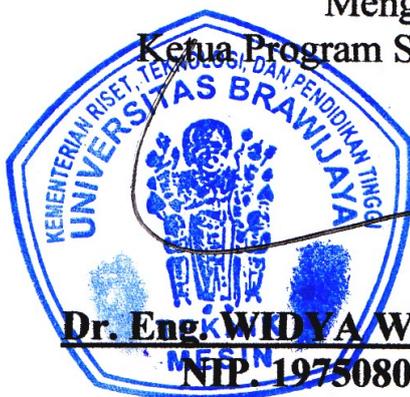
Dosen Pembimbing II

Ir. ENDI SUTIKNO, MT.

NIP. 19590411 198710 1 001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Mesin



Dr. Eng. WIDYA WIJAYANTI, ST., MT.

NIP. 19750802 199903 2 002

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarka hasil penelusuran berbagaikarya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata didalam Naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 18 Juli 2016

Mahasiswa,



WISNU SETYO NUGROHO
NIM. 135060209111001

JUDUL SKRIPSI:

**INVESTIGASI KEKERASAN, STRUKTUR MIKRO, DAN KOMPOSISI PADA
PRODUK CHAMSHAFT (Study kasus pada motor bakar 6 tak)**

Nama Mahasiswa : WISNU SETYO NUGROHO

NIM : 135060209111001

Program Studi : TEKNIK MESIN

Konsentrasi : TEKNIK PRODUKSI

KOMISI PEMBIMBING:

Pembimbing 1 : Dr. Eng. EKO SISWANTO, ST., MT.

Pembimbing 2 : Ir., ENDI SUTIKNO, M.T.

TIM DOSEN PENGUJI :

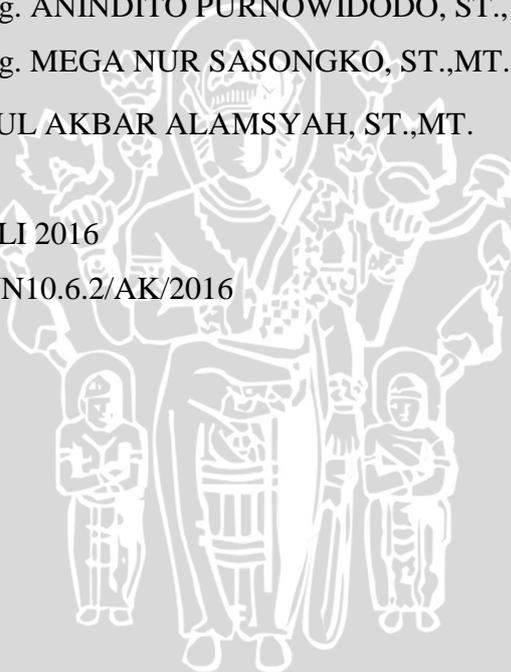
Dosen Penguji 1 : Dr.Eng. ANINDITO PURNOWIDODO, ST., M.Eng.

Dosen Penguji 2 : Dr.Eng. MEGA NUR SASONGKO, ST.,MT.

Dosen Penguji 3 : FIKRUL AKBAR ALAMSYAH, ST.,MT.

Tanggal Ujian : 25 JULI 2016

SK Penguji : 553/UN10.6.2/AK/2016



KATA PENGANTAR

“Alhamdulillah Rabbil Alamin” rasa syukur dipanjatkan kehadirat Allah Yang Maha Esa, karena atas ridho serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“INVESTIGASI KEKERASAN, STRUKTUR MIKRO, DAN KOMPOSISI PADA PRODUK CAMSHAFT (Study kasus pada motor bakar 6 tak)”**.

Penulis merasa bahwa dalam menyusun laporan ini masih menemui beberapa kesulitan dan hambatan, disamping itu juga menyadari bahwa penulisan laporan ini masih jauh dari sempurna dan masih banyak kekurangan-kekurangan lainnya, maka dari itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak.

Dalam menyelesaikan skripsi ini, banyak hambatan dan rintangan yang penulis alami namun berkat bantuan dari semua pihak skripsi ini dapat terselesaikan, oleh karena itu pada kesempatan ini diperkenankan penulis untuk mengutarakan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr.Eng., Nurkholis H., ST, M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
2. Purnami, ST., MT. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Ir., Tjuk Oerbandono, MSc., Cse. Selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Produksi.
4. Dr.Eng Eko Siswanto, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan segala bimbingan, pengarahan, motivasi, dan masukan .
5. Ir., Endi Sutikno, MT. selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan segala bimbingan dan arahan.
6. Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang yang bersedia berbagi ilmu dan pengalamannya.
7. Ayahanda, ibunda, adik, serta keluarga yang selalu memberi dukungan dan doa sehingga diberikan kelancaran dalam mengerjakan tulisan ini.
8. Yessi Renda, S.E yang selalu memberi dukungan dan doa sehingga tulisan ini dapat selesai dengan tepat waktu.
9. Rekan-rekan tim “motor bakar 6 langkah” beserta jajarannya yang telah memberi semangat dan ilmunya yang bermanfaat.
10. Teman-teman spesial SAP 2012 dan SAP 2013 Silpi ‘Silpong’, Ibnu ‘Babe Ndut’, Bintang ‘Soepir Bis’, Faisal “masjom”, Samblo Dio, Cak Ali, Sam Vidi, Sam Sul,

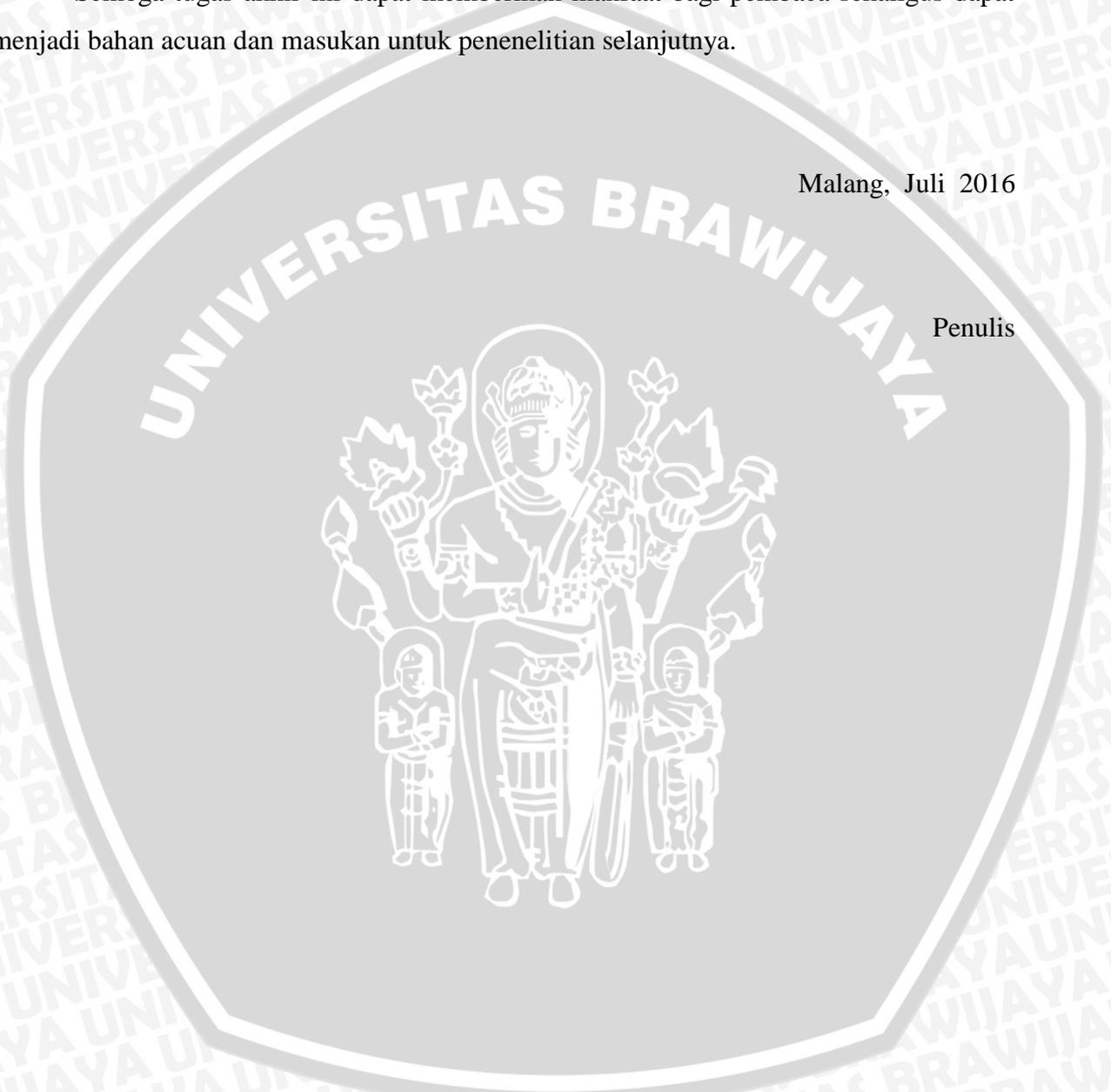
Mbah Huda, dan teman-teman yang lain yang selalu memberikan dukungan serta motivasi.

11. Teman-Teman KI 27 Wisnu ‘Mamat’, Wandu ‘Mandor’, Bagus ‘Cupu’, dll yang tak henti-hentinya “mengganggu” penulisan laporan dan PES 2016 serta CoDnya.

Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca sekaligus dapat menjadi bahan acuan dan masukan untuk penelitian selanjutnya.

Malang, Juli 2016

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
RINGKASAN	ix
BAB I	
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Rumusan Masalah	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Tujuan Penelitian	2
1.6 Manfaat Penelitian	2
BAB II	
TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	4
2.2 Motor Bakar	4
2.3 Camshaft (Poros Bubungan)	5
2.3.1 Mekanisme Cam (nok).....	8
2.3.2 Diagram Perpindahan Gerak	9
2.3.3 Perbedaan Diagram Perpindahan Nok Motor Bakar 4 Langkah Dan 6 Langkah.....	10
2.4 Gerinda.....	16
2.4.1 Pengertian Gerinda.....	16
2.4.2 Jenis-Jenis Mesin Gerinda	18
2.5 Batu Gerinda (Grinding Wheel).....	23
2.5.1 Pengertian Batu Gerinda	23
2.5.2 Macam-macam Batu Gerinda	24
2.6 Besi Cor.....	27
2.7 Struktur Mikro Besi dan Baja	28
2.8 Case Hardening	32
2.9 Pengujian Logam	34
2.10 Kekerasan (Hardness Test)	35



2.7.1	Metode Pengujian Brinell	36
2.7.2	Metode pengujian Rockwell	37
2.7.3	Metode Pengujian Vickers	38
2.11	Uji Metalografi.....	40
2.12	SEM-EDX.....	40
2.13	Hipotesa	42

BAB III

METODE PENELITIAN..... 43

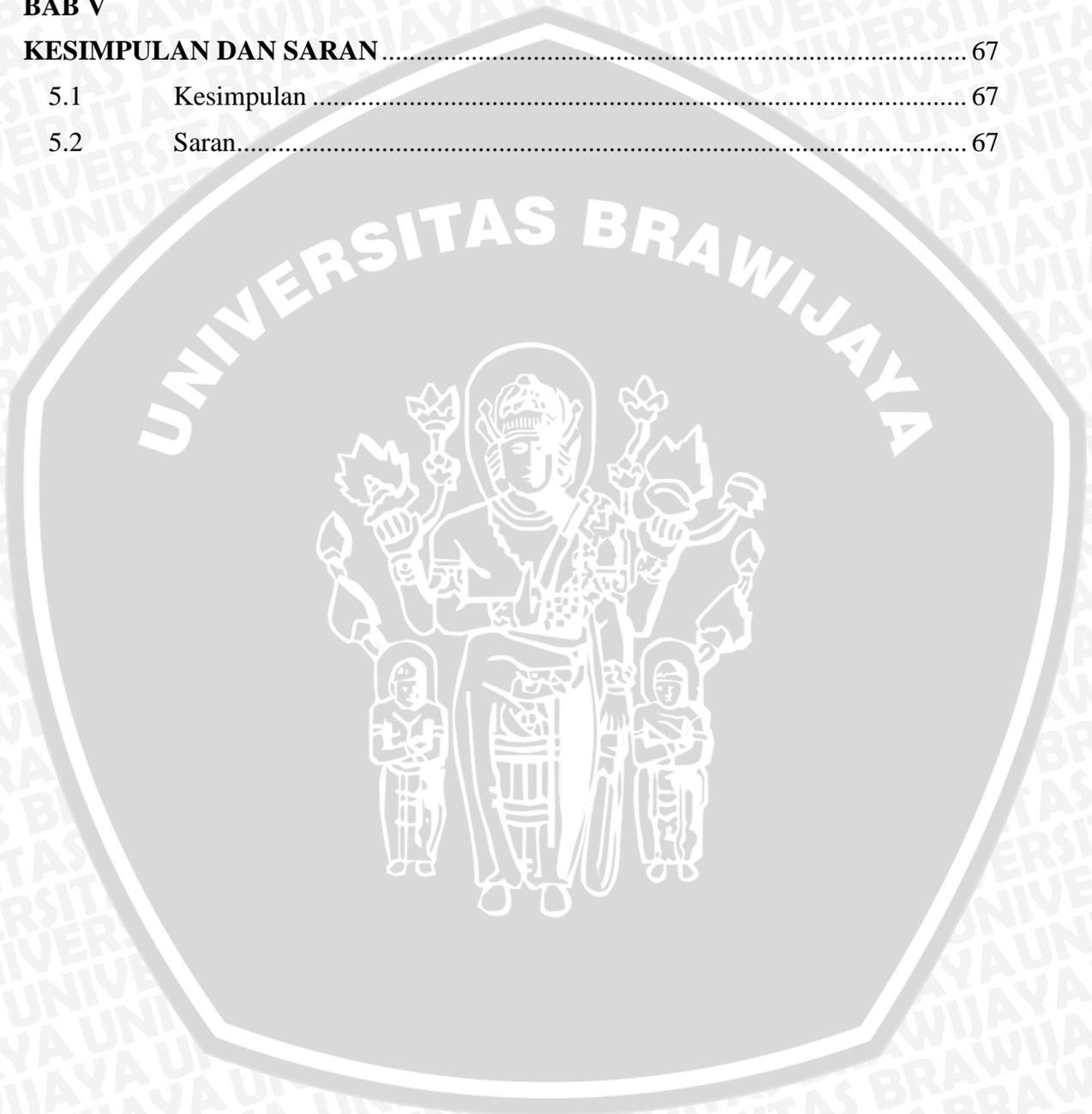
3.1	Metode Penelitian	43
3.2	Variabel Penelitian.....	43
3.2.1	Variabel Bebas	43
3.2.2	Variabel Terikat	43
3.2.3	Variabel Terkontrol.....	43
3.3	Spesifikasi Alat dan Bahan Penelitian	43
3.3.1	Peralatan Penelitian.....	44
3.3.2	Bahan Penelitian	46
3.4	Tempat Penelitian dan Waktu Penelitian.....	47
3.5	Instalasi Penelitian	47
3.6	Langkah-Langkah Penelitian	48
3.7	Proses Pengujian Kekerasan	48
3.8	Proses Pengujian Komposisi.....	49
3.9	Rancangan Penelitian.....	50
3.10	Metode Pengambilan Data.....	50
3.9.1	Analisa Data.....	50
3.9.2	Analisa Grafik.....	51
3.11	Diagram Alir Penelitian	52

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN..... 53

4.1	Data Hasil Penelitian.....	53
4.1.1	Data Kekerasan Chamshaft.....	53
4.1.2	Data Hasil Pengujian Foto Mikrostruktur	55
4.1.3	Data Hasil Pengujian Komposisi	56
4.2	Pengolahan Data	57
4.2.1	Contoh Perhitungan Kekerasan Mikrovikers dan Konversi Satuan Vikers kedalam Satuan Rockwell.....	57

4.2.2	Contoh Perhitungan Presentase Hitam pada Hasil Foto Mikro	58
4.3	Pembahasan.....	60
4.3.1	Tingkat Kekerasan Pada Camshaft	60
4.3.2	Keadaan struktur mikro pada Camshaft.....	62
4.3.3	Komposisi Material yang digunakan pada camshaft	66
BAB V		
KESIMPULAN DAN SARAN		67
5.1	Kesimpulan	67
5.2	Saran.....	67



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Camshaft</i>	6
Gambar 2.2 Bagian <i>Camshaft</i>	7
Gambar 2.3 Nok translasi	8
Gambar 2.4 Nok silindris	9
Gambar 2.5 Diagram Perpindahan	9
Gambar 2.6 Motor bakar 4 langkah	11
Gambar 2.7 Gambar diagram perpindahan nok motor bakar 4 langkah	12
Gambar 2.8 Profil nok motor bakar 4 langkah	13
Gambar 2.9 Motor bakar 6 langkah	13
Gambar 2.10 Gambar diagram perpindahan nok motor bakar 4 langkah	15
Gambar 2.11 Profil nok motor bakar 6 langkah	16
Gambar 2.12 Proses Gerinda	17
Gambar 2.13 Mesin Gerinda Datar Dengan Meja Bolak Balik	18
Gambar 2.14 Mesin Gerinda Datar Horizontal Dengan Gerak Meja Berputar	18
Gambar 2.15 Mesin Gerinda Datar Vertikal Dengan Gerak Meja Bolak-Balik	19
Gambar 2.16 Mesin Gerinda Datar Vertikal Dengan Gerak Meja Berputar	19
Gambar 2.17 Mesin Gerinda Silindris Luar	20
Gambar 2.18 Mesin Gerinda Silindris Dalam	21
Gambar 2.19 Mesin Gerinda Tangan	21
Gambar 2.20 Mesin Gerinda Silindris Universal	21
Gambar 2.21 Gerinda Duduk	22
Gambar 2.22 Mesin Gerinda Potong (<i>drop saw</i>)	23
Gambar 2.23 <i>Flat Wheels</i>	25
Gambar 2.24 <i>Cup Wheels</i>	25
Gambar 2.25 <i>Disk Grinding Wheels</i>	25
Gambar 2.26 <i>Shaped Grinding Wheels</i>	26
Gambar 2.27 <i>Cylindrical Grinding Wheels</i>	26
Gambar 2.28 <i>Saucer Grinding Wheels</i>	26
Gambar 2.29 <i>Diamond Grinding Wheels</i>	27
Gambar 2.30 Diagram Fasa Keseimbangan Karbon	30
Gambar 2.31 <i>Brinell Hardness Tester</i>	36

Gambar 2.32 <i>Rockwell Hardness Tester</i>	38
Gambar 2.33 <i>Vickers Hardness Tester</i>	39
Gambar 3.1 <i>Dial gauge</i>	44
Gambar 3.2 Batu Gerinda.....	44
Gambar 3.3 Motor listrik.....	45
Gambar 3.3 <i>Digital Micro Vickers Hardness Tester</i>	46
Gambar 3.4 Benda Kerja.....	47
Gambar 3.5 Instalasi Penelitian.....	47
Gambar 3.6 Titik Pengujian Kekerasan.....	47
Gambar 3.7 Spesimen SEM-EDX.....	49
Gambar 3.8 Rancangan Grafik Hubungan Antara Kekerasan rata-rata dan kedalaman proses pemakanan.....	50
Gambar 3.10 Diagram Alir Penelitian.....	51
Gambar 4.1 Titik pengambilan nilai kekerasan.....	53
Gambar 4.2 Foto Uji Mikro layer sebelum; (a) Cam Out; (b) Cam In.....	55
Gambar 4.3 Foto Uji Mikro layer 1mm; (a) Cam Out; (b) Cam In.....	55
Gambar 4.4 Foto Uji Mikro layer 2mm; (a) Cam Out; (b) Cam In.....	55
Gambar 4.5 Grafik Pengujian Komposisi.....	56
Gambar 4.6 perhitungan persentase hitam dan putih.....	58
Gambar 4.7 Grafik Kekerasan Rata-Rata Berdasarkan Layer Pemotongan.....	60
Gambar 4.8 Grafik Kekerasan Rata-Rata Berdasarkan Layer Pemotongan dan posisi pengujian kekerasan.....	61
Gambar 4.9 Grafik persentase hitam pada <i>camshaft</i> berdasarkan layer pemotongan	62
Gambar 4.10 Foto Uji Mikro layer sebelum Cam Out.....	63
Gambar 4.11 Foto Uji Mikro layer sebelum Cam In.....	63
Gambar 4.12 Foto Uji Mikro layer 1mm Cam Out.....	64
Gambar 4.13 Foto Uji Mikro layer 1mm Cam In.....	64
Gambar 4.14 Foto Uji Mikro layer 2mm Cam Out.....	65
Gambar 4.15 Foto Uji Mikro layer 2mm Cam In.....	65



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik berbagai pengujian kekerasan 28

Tabel 2.2 Perbedaan dari beberapa metode kekerasan 30

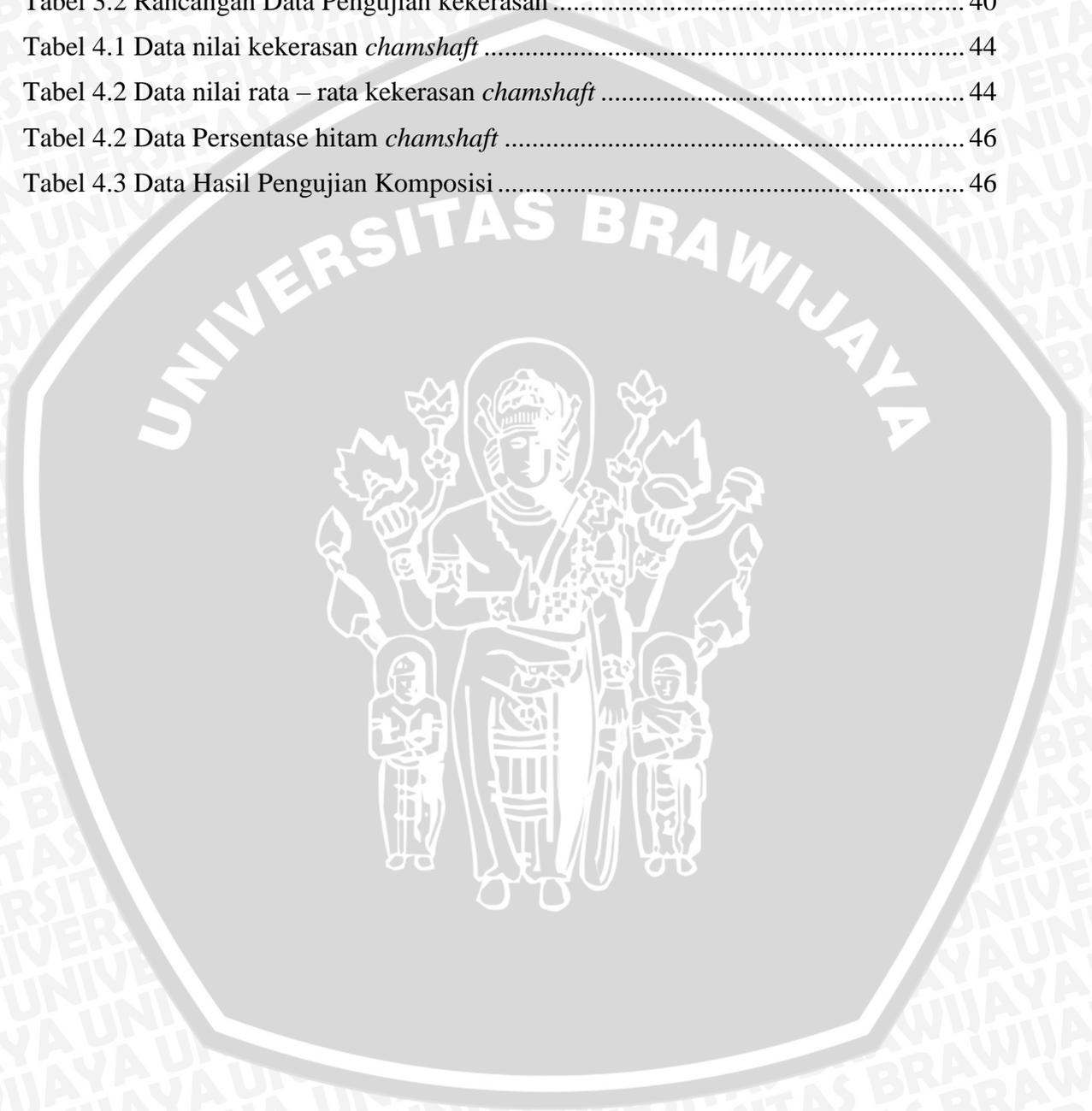
Tabel 3.2 Rancangan Data Pengujian kekerasan 40

Tabel 4.1 Data nilai kekerasan *chamshaft* 44

Tabel 4.2 Data nilai rata – rata kekerasan *chamshaft* 44

Tabel 4.2 Data Persentase hitam *chamshaft* 46

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Komposisi 46



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini alat transportasi menjadi kebutuhan pokok yang akan menunjang segala aspek lainnya. Jarak menjadi halangan dalam melancarkan segala urusan. Salah satu produk alat transportasi yang paling sering digunakan adalah sepeda motor.

Menurut data dari AISI (Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia) pada tahun 2012 produksi sepeda motor di Indonesia mencapai angka 7.079.721 unit, pada 2013 mencapai 7.736.295 unit, dan pada 2014 mencapai 7.926.104 unit. Hal ini membuktikan bahwa tiap tahun di Indonesia kebutuhan alat transportasi khususnya sepeda motor mengalami kenaikan.

Dengan permintaan sepeda motor yang meningkat dari tiap tahunnya maka akan diikuti dengan kenaikan permintaan pada spere part sepeda motor tersebut. Hal ini merupakan peluang usaha yang menguntungkan bagi produsen spare part.

Eko Siswanto, et al (2014) mengembangkan teknologi motor bakar baru yakni motor bakar 6 langkah dengan basis penambahan durasi difusi massa campuran udara – bahan bakar dan durasi difusi termal dari dinding silinder ke campuran udara-bahan bakar. Pada umumnya yang banyak dipakai yaitu motor bakar 4 langkah, penambahan 2 langkah pada motor bakar 6 langkah ini maka akan terjadi banyak perubahan pada komponen part penyusun motor tersebut. Suplai bahan bakar motor bakar diatur oleh katup, sehingga tepat waktu pada saat dibutuhkan. Katup masuk ini diatur oleh *camshaft* sedemikian hingga dapat membuka maupun menutup sesuai dengan putaran *crankshaft*.

Camshaft merupakan part dari motor bakar yang berfungsi sebagai penggerak katup in dan katup out yang mengatur masuknya bahan bakar dan keluarnya gas sisa pembakaran. *Camshaft* ini mempunyai desain yang mempunyai presisi tinggi agar dapat bekerja sebagaimana tugasnya bekerja.

Motor bakar 6 langkah yang ada sekarang merupakan hasil dari modifikasi motor bakar 4 langkah. Perubahan pada waktu buka tutup katup, dan penyalan *ignition* menyebabkan perubahan geometri pada *camshaft* motor bakar 6 tak. Namun *camshaft* yang telah dipakai sekarang tidak mempunyai spesifikasi dan *material properties* yang lengkap. Sehingga akan menyulitkan pada proses produksi *camshaft* selanjutnya.

1.2 Identifikasi Masalah

Dari berbagai aspek yang telah dirangkum tersebut, diperoleh beberapa masalah. Terutama *material properties*, beberapa hal diantaranya yaitu belum adanya nilai kekerasan yang dipakai pada *camshaft* tersebut, belum adanya jenis material yang digunakan, dan struktur mikro dari *camshaft* pada motor bakar 6 langkah.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat dirumuskan sebuah permasalahan yaitu bagaimanakah kondisi kekerasan, mikro struktur, dan jenis material yang terdapat pada produk *camshaft* pada motor bakar 6 langkah?

1.4 Batasan Masalah

Agar pembahasan pada penulisan laporan ini tidak terlalu meluas maka materi yang dibatasi yaitu sebagai berikut :

- 1) Tidak membahas mengenai perpindahan panas proses permesinan.
- 2) Tidak membahas pengaruh bentuk *camshaft* terhadap kinerja motor bakar 6 tak.
- 3) Tidak membahas kinematika dari *camshaft*

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilaksanakannya penelitian tentang *camshaft* ini yaitu :

- 1) Untuk mengetahui komposisi material yang di gunakan dalam pembuatan *camshaft*.
- 2) Untuk mengetahui tingkat kekerasan material setelah dilakukan modifikasi sudut *camshaft*.
- 3) Untuk mengetahui jenis struktur mikro setelah dilakukan modifikasi sudut *camshaft*.

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini mempunyai manfaat bagi mahasiswa, maupun bagi sektor industri.

Manfaat dari penelitian ini yaitu :

1. Bagi peneliti, mengetahui pengaruh dari kedalaman layer pemakanan terhadap nilai kekerasan dan kondisi struktur mikro dari *camshaft* pada motor bakar 6 langkah.

2. Bagi umum, sebagai referensi tambahan khususnya mahasiswa teknik mesin dalam penelitian-penelitian yang berhubungan dengan *camshaft*.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Mochammad Alan Robbina (Robbina, 2012) meneliti tentang perbandingan nilai kekerasan dan struktur mikro akibat variasi katalis pada proses carburizing baja S45C. Dari penelitian ini didapatkan bahwa penggunaan katalis barium karbonat memberikan peningkatan nilai kekerasan paling tinggi dibandingkan dengan penggunaan katalis kalium karbonat dan natrium karbonat. Untuk pengaruh variasi katalis terhadap struktur mikro yang terbentuk yaitu terjadi pertumbuhan kristal yang kasar menjadi halus pada setiap proses carburizing. Disamping itu pada kelompok carburizing penggunaan katalis barium karbonat dan natrium karbonat mengalami peningkatan struktur martensit yang merata pada lapisan baja dibandingkan dengan kelompok carburizing yang menggunakan katalis kalium karbonat.

I Gosa Bagus Yuniarta (Yuniarta, 2012) meneliti tentang pengaruh perubahan durasi dan LSA pada *camshaft* motor Jupiter Z 110cc. Dalam penelitian ini *camshaft* pada motor Jupiter Z 110cc dimodifikasi dengan beberapa variasi durasi dan LSA. Hasil yang didapatkan dari pengujian ini yaitu terjadi peningkatan torsi dan daya pada *camshaft* dengan perubahan durasi 233° dan LSA 107° hal ini disebabkan karena campuran bahan bakar dengan udara yang masuk dalam silinder terbakar sempurna dan pada saat langkah buang gas hasil pembakaran yang terdapat pada ruang bakar dapat dikeluarkan dengan sempurna sehingga ruang bakar dalam keadaan yang bersih dan siap untuk melakukan langkah selanjutnya.

Supriyanto, et al (2011) meneliti tentang tinjauan ketahanan aus hasil modifikasi noken as pada motor balap. Dalam penelitian ini didapatkan hasil bahwa kekerasan noken as standar mempunyai nilai 30% lebih tinggi dibandingkan dengan noken as modifikasi hal ini disebabkan oleh struktur mikro dari noken as standar lebih rapat daripada noken as modifikasi. Range kekerasan yang dibutuhkan untuk noken as berkisar antara $60 \text{ HR}_A - 75,5 \text{ HR}_A$.

2.2 Motor Bakar

Motor bakar (combustion engine) adalah salah satu jenis mesin konversi energi yang paling sering digunakan, baik di sektor rumah tangga maupun pada sektor industri. Contohnya sepeda motor, mobil, traktor, PLTU, dan lainnya.

Pada dasarnya motor bakar adalah mesin konversi energi yang mengubah energi kimia menjadi energi mekanik. Motor bakar dibagi menjadi dua berdasarkan jenis penyalannya yaitu motor bensin (otto) dan motor diesel.

Pada motor otto atau lebih dikenal dengan motor bensin dilengkapi dengan busi dan karburator. Busi digunakan sebagai pemantik, sehingga campuran bahan bakar dan udara pada ruang bakar dapat terbakar dan menghasilkan energi untuk menggerakkan torak.

Pada motor diesel, terbakarnya campuran bahan bakar dan udara terbakar dikarenakan kompresi yang tinggi sehingga suhu ikut naik. Dan pada saat suhu mencapai titik tertentu akan membuat campuran bahan bakar dan udara tersebut akhirnya terbakar dan menggerakkan piston.

Pada umumnya sepeda motor menggunakan prinsip kerja dari motor otto atau motor bensin. Hal ini dikarenakan konstruksinya yang lebih ringan daripada motor diesel, sedangkan sepeda motor mempunyai ruang yang kecil.

Komponen utama pada sepeda motor yaitu kepala silinder, blok silinder mesin, dan bak engkol mesin. Pada kepala silinder terdapat komponen utama yaitu camshaft, valve, dan rocker arm.

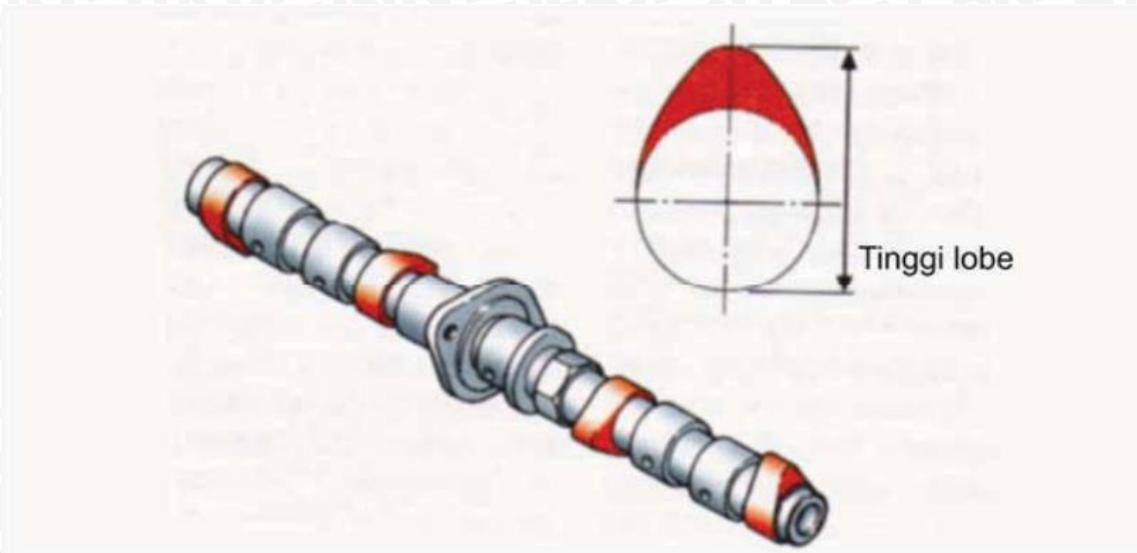
Valve atau katup berfungsi sebagai pintu untuk membuka dan menutup saluran masuk dan saluran keluar yang digerakkan oleh putaran camshaft. Terdapat 2 valve atau katup yang terdapat pada sepeda motor, yaitu katup intake dan katup exhaust. Katup intake sebagai jalur masuk dari campuran udara dan bahan bakar, sedangkan katup exhaust sebagai jalur keluar dari hasil sisa gas pembakaran ke muffler atau knalpot.

Sedangkan rocker arm atau disebut juga pelatuk klep berfungsi sebagai pengubah gerak rotasi dari camshaft menjadi gerak translasi. Sehingga valve atau katup dapat bergerak membuka dan menutup sesuai dengan putaran camshaft.

2.3 Camshaft (Poros Bubungan)

Camshaft adalah sebuah alat yang digunakan dalam mesin untuk menjalankan katup *intake* dan katup *exhaust*. Poros ini terdiri dari batangan silinder. Cam membuka katup dengan menekannya, atau dengan mekanisme bantuan lainnya, ketika mereka berputar. Hubungan antara perputaran camshaft dengan perputaran poros engkol sangat penting. Karena katup mengontrol aliran masukan bahan bakar dan pengeluarannya, mereka harus dibuka dan ditutup pada saat yang tepat selama langkah piston. Untuk alasan ini, camshaft dihubungkan dengan crankshaft secara langsung (melalui

mekanisme *gear*) atau secara tidak langsung melalui rantai yang disebut "rantai waktu". (Jama, 2008:55)



Gambar 2.1 Camshaft

Sumber : Jama, 2008:55

Dalam motor bakar 4 langkah SOHC (*single overhead camshaft*) terdapat dua katup yang digerakkan oleh camshaft. Dua katup tersebut merupakan katup intake dan katup exhaust. *Camshaft*nya menekan *lifter* setelah digerakkan *rocker arm* sampai katup bergerak buka tutup berulang. Buka tutup katup sesuai gerakan *crankshaft* yang memerintah piston. Katup intake sebagai jalan masuknya bahan bakar dari venturi. Dan katup exhaust adalah jalan keluarnya gas sisa pembakaran dari *chamber* (ruang bakar) ke saluran pembuangan. Tinggi lobe dari camshaft mempengaruhi seberapa besar dan seberapa lama kedua katup intake dan exhaust untuk terbuka.

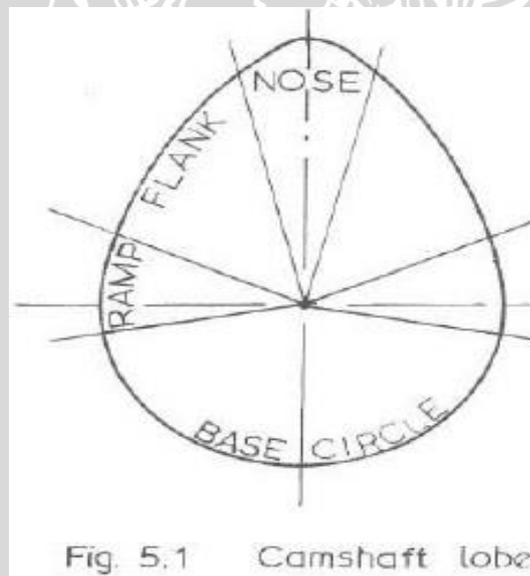
Durasi dari terbukanya katup akan mempengaruhi *efficiency volumetric* dari sebuah motor bakar. Semakin besar *efficiency volumetric* akan mempengaruhi juga pada kinerja motor bakar.

Hitungan debit aliran udara diasumsikan dengan kondisi katup hisap dan buang selalu dalam keadaan terbuka. Namun pada kondisi sesungguhnya, kapasitas debit udara yang dimiliki kepala silinder hanya didapat dari pengontrol katupnya. Katup hisap dan buang dapat dibuka dan ditutup oleh cam. Untuk memudahkan penjabarannya, kita asumsikan bahwa cam memiliki lama buka 360° untuk katup hisap dan buang. Kondisinya sangat ideal, katup hisap dan buang langsung terbuka penuh, tanpa adanya

overlapping. Realitinya, desain cam seperti ini tidak mungkin ada dan hanya memudahkan penjelasannya.

Cam 360° bermakna, katup hisap dan buang membuka dalam tenggang waktu setengahnya (Satu putaran penuh crankshaft). Dengan cam model begini, kondisi ideal debit udara bisa tercapai. Artinya, sekeliling cam akan langsung membuka maksimum pada awal langkah hisap. Maka mesin pasti mencapai efisiensi volumetric 100° . Sayangnya cam tidak bisa diproduksi tanpa adanya bukaan landai bertahap. Kedua katup membuka dan menutup secara perlahan-lahan. Hal itu menyebabkan debit aliran potensial udara pada awal membukanya katup hisap adalah nol. Kemudian secara bertahap, aliran udara ke dalam ruang bakar makin besar selaras dengan makin tingginya bukaan katup hisap. Untungnya, bukaan katup secara bertahap ini dibantu oleh kecepatan gerak piston. Katup hisap mulai membuka beberapa derajat sebelum titik mati atas.

Bentuk sederhana dari cam seperti gambar 2.2, terdapat beberapa istilah untuk menunjukkan bagian – bagian cam.



Gambar 2.2 : Bagian *Camshaft*

Sumber : A. Graham Bell, 1981:117

Desain lobe : setiap bubungan sebuah cam ,untuk tiap katup memiliki banyak variable, came lobe bukan hanya mengatur lift dan kapan membuka dan menutup.

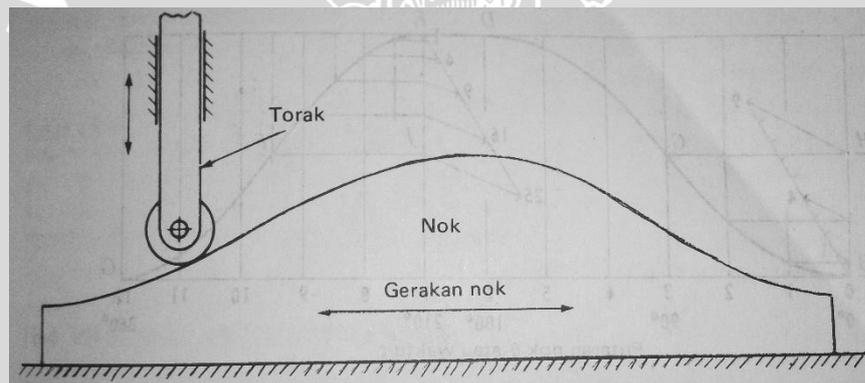
Base circle (lingkaran dasar) : posisi ini katup menutup, ukuran base circle mempengaruhi lift camshaft semakin kecil base circle memungkinkan lift semakin tinggi.

Ramps : bagian lobe dimana lifter bergerak naik dan berakhir menutup... Bertujuan untuk mamaksimalkan kecepatan katup dan control.

Flank : bagian lobe dimana pergerakan lifter akan menuju puncak lobe.

2.3.1 Mekanisme Cam (nok)

Seperti telah dijelaskan diatas bahwa cam mempunyai fungsi khusus untuk membuka katup intake dan exhaust pada komponen motor bakar. Namun pada dasarnya cam adalah bagian mesin yang bentuknya tidak umum, yang bekerja sebagai penggerak yang menggerakkan sebuah benda yang disebut torak (dalam motor *bakar rocker arm*), yang dapat mengelinding atau meluncur diatasnya. (Martin, 1994 :196)

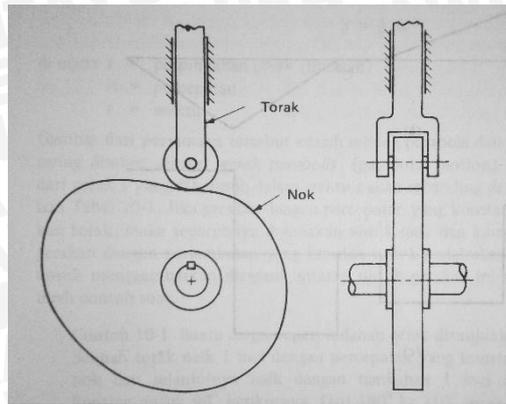


Gambar 2.3 Nok translasi

Sumber : Martin, 1994 :197

Nok merubah gerak rotasi dari poros menjadi gerak translasi pada torak, nok ini mempunyai bentuk yang sederhana namun dapat meneruskan hamper seluruh gerakan poros kepada gerakan torak.

Beberapa jenis nok yang umum yaitu nok piring, nok traslasi, dan nok silindris. Dari ketiga macam tersebut yang membedakannya dari bentuk poros yang menggerakkan noknya.

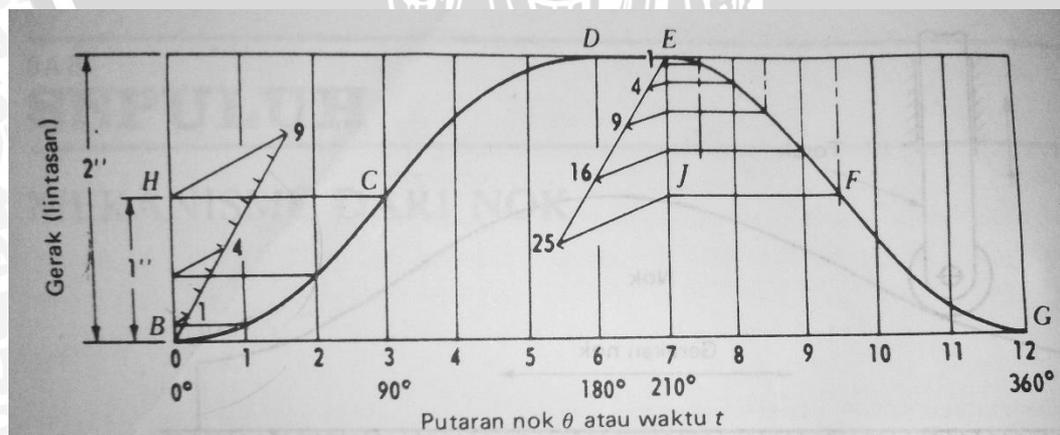


Gambar 2.4 Nok silindris

Sumber : Martin,1994 :197

2.3.2 Diagram Perpindahan Gerak

Diagram perpindahan gerak adalah grafik yang menunjukkan perpindahan gerak dari torak yang digambarkan sebagai fungsi waktu. Diagram perpindahan gerak ditunjukkan di dalam gambar 2.4. Sudut – sudut putaran nok digambarkan sepanjang garis sumbu mendatar dan panjang diagram menyatakan satu putaran nok. Karena kecepatan nok (dalam pu/men) adalah konstan, pembagian sudut yang sama juga menyatakan pembagian waktu yang sama. Perpindahan gerak dari torak digambarkan sepanjang sumbu tegak lurus. Diagram perpindahan gerak menentukan bentuk dari nok. Dalam analisa tentang nok – nok yang ada atau dalam perencanaan dari nok yang baru, diagram perpindahan gerak merupakan hal yang sangat penting. Karena diagram ini kenyataannya merupakan sebuah grafik dari perpindahan gerak terhadap waktu.



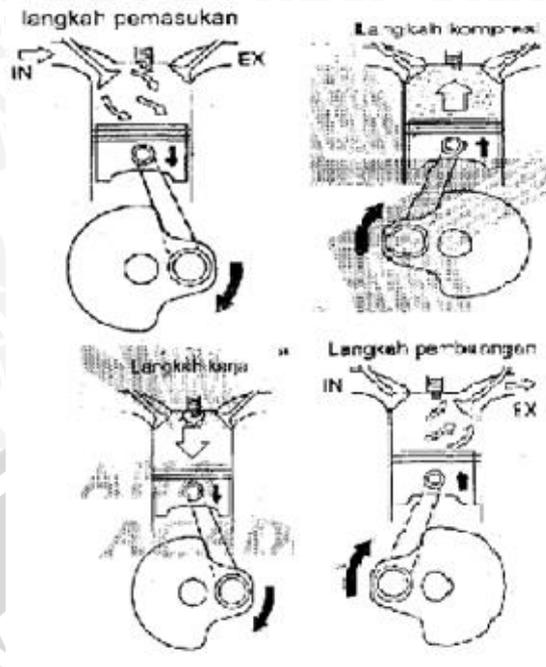
Gambar 2.5 Diagram Perpindahan

Sumber : Martin,1994 :198

Dalam nok berkecepatan tinggi percepatan dari torak adalah penting karena mempengaruhi gaya kelembaman yang menyebabkan getaran suara, tegangan yang tinggi dan kerusakan. Sentakan (jerk) adalah suatu ukuran dan waktu rata – rata yang diperlukan untuk perubahan dari gaya kelembaman oleh karena itu ia adalah suatu indikasi adanya sifat menyodok. Sentakan yang tidak tentu ini akan menyebabkan getaran dalam system torak dan dapat mempengaruhi daya tahan dari nok.

2.3.3 Perbedaan Diagram Perpindahan Nok Motor Bakar 4 Langkah Dan 6 Langkah

Pada motor bakar 4 langkah, 1 kali putaran *camshaft* adalah 2 kali putaran dari *crankshaft*. sehingga pada diagram perpindahan nok terdapat 720° dibanding dengan 360° . 4 langkah tersebut yaitu langkah hisap, langkah kompresi/usaha, langkah usaha, dan langkah pembuangan. Langkah hisap, katup intake terbuka dan piston bergerak dari TMA (titik mati atas) ke TMB (titik mati bawah) untuk memasukkan campuran bahan bakar dan udara. Langkah kompresi katup intake dan exhaust tertutup dan piston bergerak dari TMB ke TMA untuk menaikkan tekanan dan menaikkan suhu agar campuran bahan bakar dan udara mudah terbakar. Langkah usaha, sebelum piston sampai di posisi TMA pemantik (busi) telah di nyalakan sehingga campuran bahan bakar dan udara dalam ruang bakar menimbulkan ledakan/ terbakar sehingga piston yang berada pada TMA akan terdorong ke posisi TMB melalui energi pembakaran yang dihasilkan. Pada langkah ini katup intake dan exhaust juga tertutup. Langkah pembuangan, katup exhaust terbuka dan piston bergerak dari TMB ke TMA untuk membuang sisa hasil bahan bakar ke saluran pembuangan.

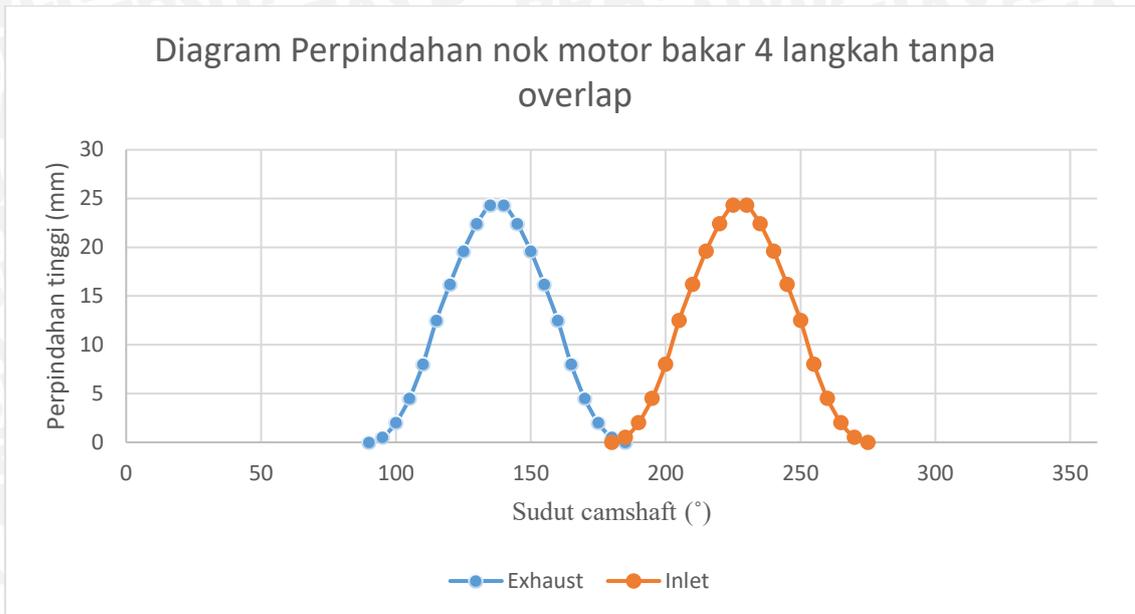


Gambar 2.6 Motor bakar 4 langkah

Sumber : Yamaha Technical Academy, 2004: 38

Camshaft hanya menggerakkan katup intake dan katup exhaust pada saat langkah hisap dan pembuangan. Hal ini dapat digambarkan pada diagram perpindahan nok. Jika pada camshaft motor bakar 4 langkah tidak diberi overlap pada timing pembukaan katup inlet dan exhaust, maka didapatkan bahwa setiap 90° putaran camshaft merupakan 1 gerakan langkah dari motor bakar tersebut. Contohnya jika 0° camshaft diartikan sebagai posisi piston berada di TMA (titik mati atas) pada akhir langkah kompresi, maka katup exhaust akan membuka pada sudut 90° putaran camshaft. Dan katup inlet akan terbuka pada sudut 180° .

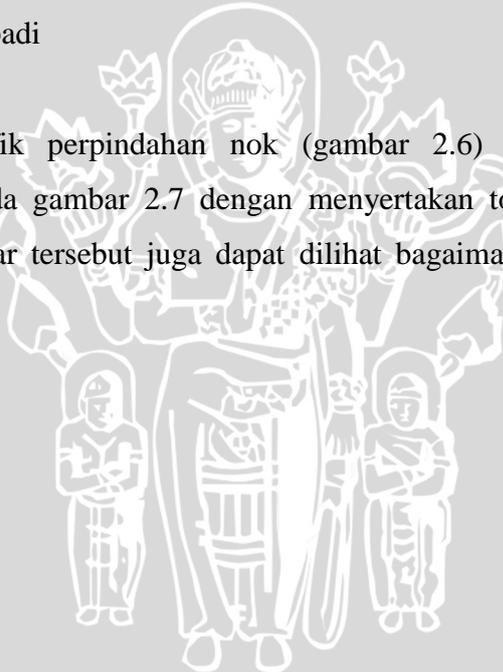
Sehingga contoh gambar diagram perpindahan nok dapat ditunjukkan pada gambar 2.6 dengan diasumsikan kenaikan katup dengan percepatan konstan.

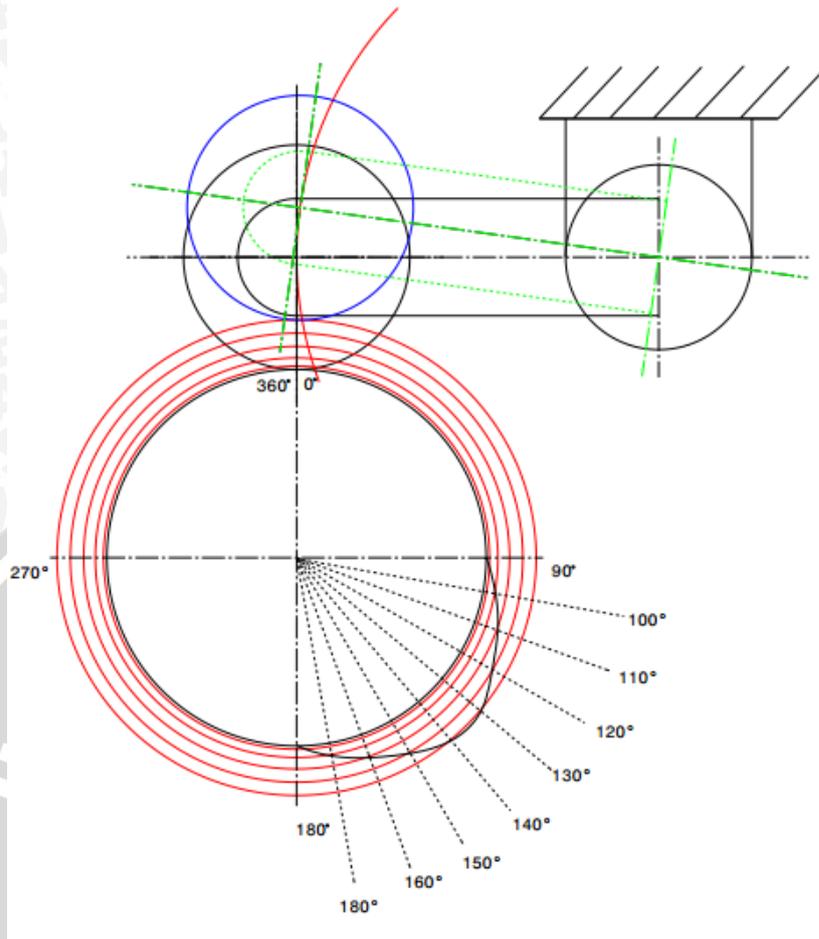


Gambar 2.7 Gambar diagram perpindahan nok motor bakar 4 langkah

Sumber : dokumentasi pribadi

Dari gambar grafik perpindahan nok (gambar 2.6) dapat di gambarkan bagaimana profil nok pada gambar 2.7 dengan menyertakan torak penggerak katup (*rocker arm*). Pada gambar tersebut juga dapat dilihat bagaimana nok bekerja untuk menggerakkan torak.

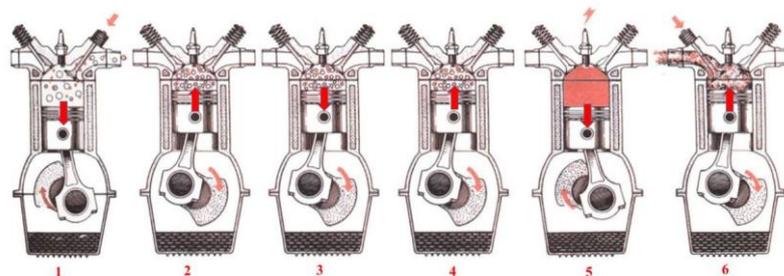




Gambar 2.8 Profil nok motor bakar 4 langkah

Sumber : dokumentasi pribadi

Pada motor bakar 6 tak berbasis difusi yang dikembangkan oleh Eko Siswanto, et al (2014), 1 putaran *camshaft* sama dengan 3 kali putaran *crankshaft* sehingga pada diagram perpindahan nok terdapat 1080° dibanding dengan 360° . Keenam langkah tersebut dijelaskan pada gambar 2.4, langkah tersebut yaitu hisap, kompresi difusi, ekspansi difusi, kompresi, usaha, dan buang.



Gambar 2.9 Motor bakar 6 langkah

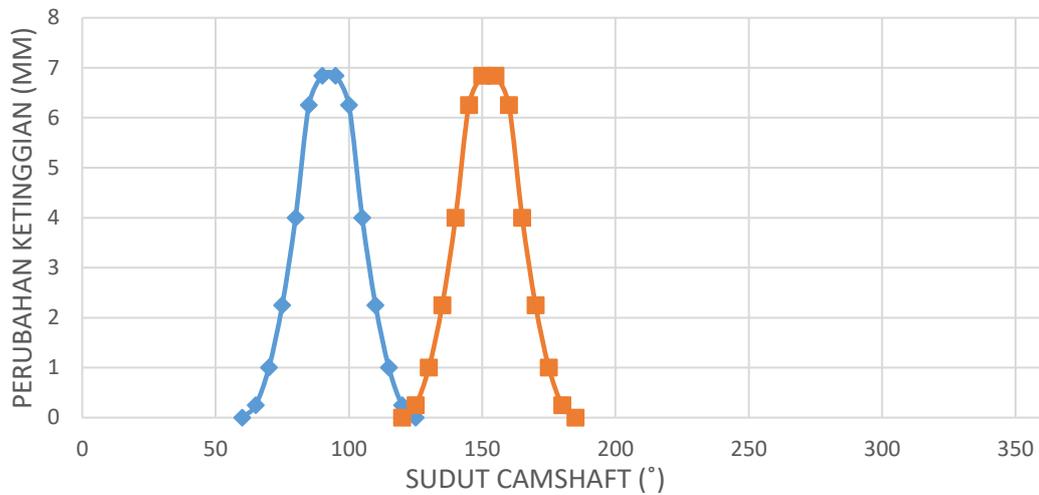
Sumber : Noor, 2015

langkah pertama yaitu langkah hisap, pada langkah hisap ini sama dengan langkah hisap yang terdapat pada motor bakar 4 langkah, campuran bahan bakar dan udara masuk kedalam ruang bakar melalui katup inlet yang terbuka dengan gerakan piston dari TMA menuju ke TMB. Langkah kedua yaitu kompresi difusi, pada langkah kompresi difusi ini katup inlet dan exhaust sama – sama tertutup dengan gerakan piston dari TMB ke TMA. Langkah ketiga yaitu ekspansi difusi, pada langkah ini katup inlet dan katup exhaust masih tertutup dengan gerakan piston dari TMB ke TMA. Kedua langkah difusi ini bertujuan untuk menambah durasi difusi bahan bakar dengan udara yang masuk kedalam ruang bakar. Selain itu juga bertujuan untuk menambah durasi difusi panas dari dinding ruang bakar dengan campuran bahan bakar dan udara dalam ruang bakar sehingga diharapkan terjadi peningkatan homogenitas dan temperatur dari campuran udara – bahan bakar sebelum terbakar untuk mendapatkan daya ekspansi yang lebih baik. Langkah ketiga yaitu langkah kompresi langkah ini sama dengan langkah kompresi pada motor bakar 4 langkah, dengan menutupnya katup inlet, exhaust dan pergerakan torak dari TMB ke TMA maka akan menaikkan tekanan dan temperatur dari campuran bahan bakar dan udara sehingga siap untuk dilakukannya pembakaran pada langkah usaha. Langkah selanjutnya yaitu langkah usaha pada langkah ini campuran udara dan bahan bakar akan di picu oleh percikan api dari busi sehingga terjadi pembakaran yang akan mendorong torak bergerak dari TMA menuju TMB. Langkah terakhir yaitu langkah buang, pada langkah ini katup exhaust akan terbuka dengan torak bergerak dari TMB menuju TMA, sehingga akan membuang sisa hasil pembakaran menuju saluran buang.

Sama halnya dengan motor bakar 4 langkah *camshaft* hanya menggerakkan katup intake dan katup exhaust pada saat langkah hisap dan pembuangan. Hal ini dapat digambarkan pada diagram perpindahan nok. Jika pada *camshaft* tidak diberi overlap pada timing pembukaan katup inlet dan exhaust, maka didapatkan bahwa setiap 60° putaran *camshaft* merupakan 1 gerakan langkah dari motor bakar tersebut atau 180° dari putaran *crankshaft*. Contohnya jika 0° *camshaft* diartikan sebagai posisi piston berada di TMA (titik mati atas) pada akhir langkah kompresi, maka katup exhaust akan membuka pada sudut 60° putaran *camshaft*. Dan katup inlet akan terbuka pada sudut 180° .

Sehingga contoh gambar diagram perpindahan nok dapat ditunjukkan pada gambar 2.6 dengan diasumsikan kenaikan katup dengan percepatan konstan.

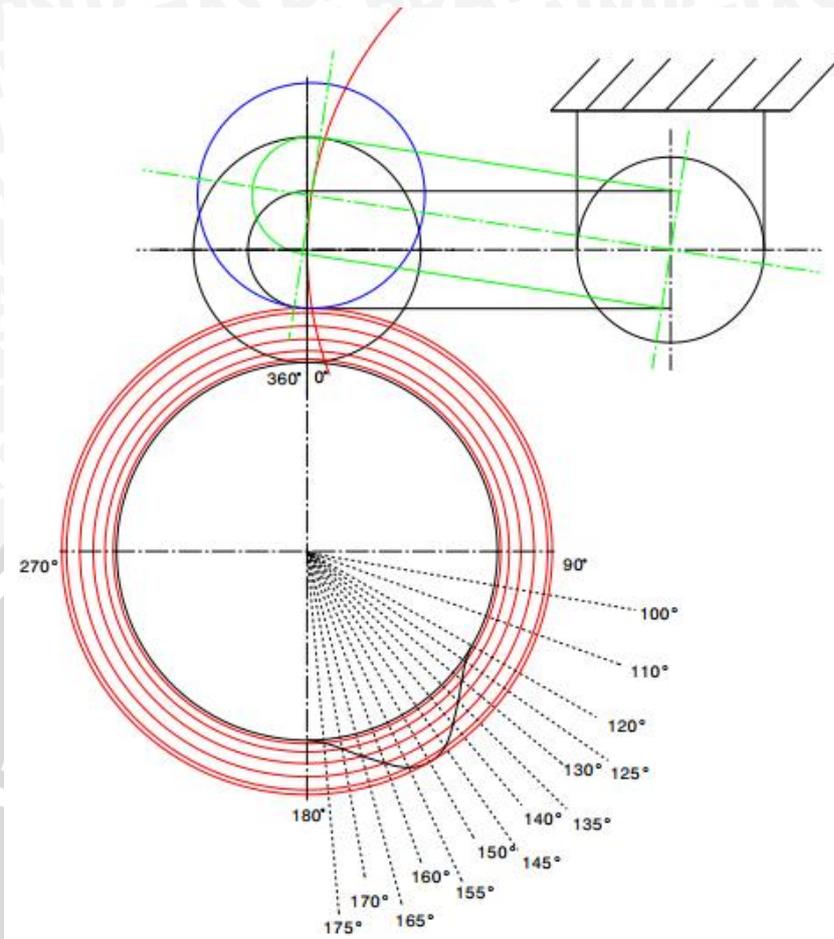
DIAGRAM PERPINDAHAN NOK MOTOR BAKAR 6 LANGKAH



Gambar 2.10 Gambar diagram perpindahan nok motor bakar 4 langkah

Sumber : dokumentasi pribadi

Dari gambar grafik perpindahan nok (gambar 2.6) dapat di gambarkan bagaimana profil nok pada gambar 2.9 dengan menyertakan torak penggerak katup (*rocker arm*). Pada gambar tersebut juga dapat dilihat bagaimana nok bekerja untuk menggerakkan torak.



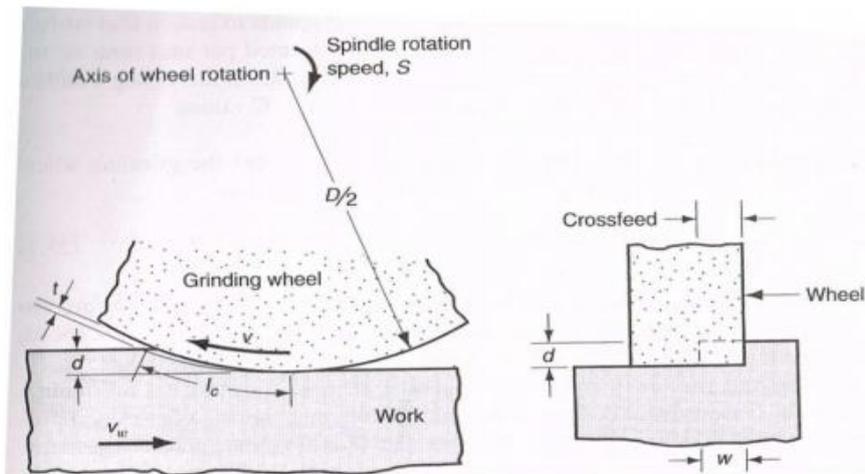
Gambar 2.11 Profil nok motor bakar 6 langkah

Sumber : dokumentasi pribadi

2.4 Gerinda

2.4.1 Pengertian Gerinda

Mesin gerinda adalah salah satu mesin perkakas yang digunakan untuk memotong/ mengasah benda kerja dengan tujuan tertentu. Prinsip kerja mesin gerinda adalah roda gerinda berputar bersentuhan dengan benda kerja dan terjadi pemotongan/ pengasahan.



Gambar 2.12 Proses Gerinda

Sumber: Groover Mikell.P, 1996 : 610

Menurut Agus (2010), proses gerinda dilaksanakan dengan mesin gerinda menggunakan pahat berupa batu gerinda berbentuk piringan (*grinding wheel/disk*) yang dibuat dari campuran serbuk abrasif dan bahan pengikat dengan komposisi dan struktur tertentu. Batu gerinda yang dipasang pada spindel/poros utama tersebut berputar dengan kecepatan tertentu tergantung pada diameter dan putarannya, maka kecepatan *peripheral* pada tepi batu gerinda dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$V_s = \frac{\pi \cdot d_s \cdot n_s}{60.000} \cdot \frac{m}{s}$$

dimana :

v_s = kecepatan periferal batu gerinda, biasanya berharga sekitar 20 s.d 60 m/s

d_s = diameter batu gerinda ; [mm]

n_s = putaran batu gerinda; [r/min]

Tergantung pada bentuk permukaan yang dihasilkan, pada garis besarnya proses gerinda digolongkan menjadi 2 jenis, yaitu :

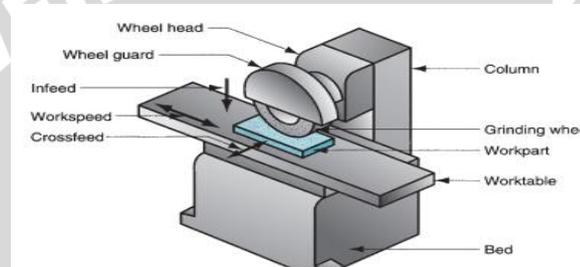
1. Gerinda silindris (*cylindrical grinding*) untuk menghasilkan permukaan silindrik
2. Gerinda rata (*surface grinding*) untuk menghasilkan permukaan rata / datar.

2.4.2 Jenis-Jenis Mesin Gerinda

A. Mesin Gerinda Datar

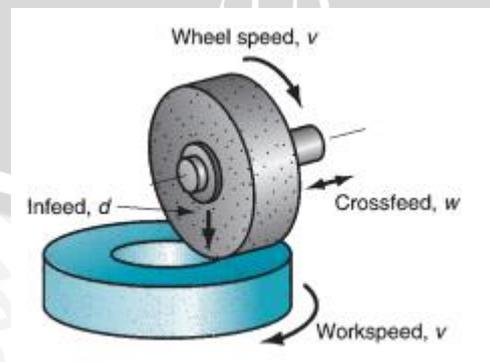
Penggerindaan datar adalah suatu teknik penggerindaan yang mengacu pada pembuatan bentuk datar, bentuk, dan permukaan yang tidak rata pada sebuah benda kerja yang berada dibawah batu gerinda yang berputar. Spindle speed berperan sebagai kecepatan primer dan gerak meja bolak balik (work speed) adalah kecepatan sekunder, Berdasarkan sumbu utamanya, mesin gerinda datar dibagi menjadi 4 macam:

1. Mesin gerinda datar horisontal dengan gerak meja bolak-balik, mesin gerinda ini digunakan untuk menggerinda benda-benda dengan permukaan rata dan menyudut.



Gambar 2.13 Mesin Gerinda Datar Dengan Meja Bolak Balik
Sumber : Groover Mikell P, 1996 : 617)

2. Mesin gerinda datar horisontal dengan gerak meja berputar, Mesin gerinda ini digunakan untuk menggerinda benda-benda dengan permukaan rata dan menyudut. Mesin gerinda datar horizontal dengan gerak meja berputar, mesin ini digunakan untuk menggerinda permukaan rata poros.

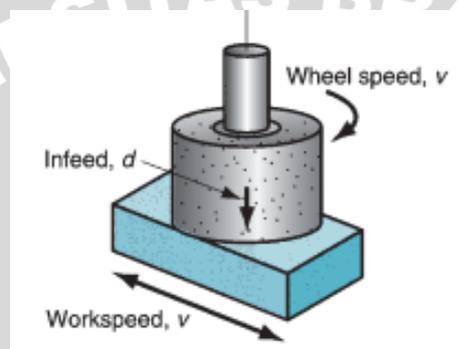


Gambar 2.14 Mesin Gerinda Datar Horisontal Dengan Gerak Meja Berputar
Sumber : Groover Mikell P, 1996 : 616

3. Mesin gerinda datar vertikal dengan gerak meja bolak-balik, mesin jenis ini digunakan untuk menggerinda benda-benda berpermukaan rata, lebar dan menyudut.

Berdasarkan prinsip kerjanya mesin gerinda datar dibagi menjadi dua macam:

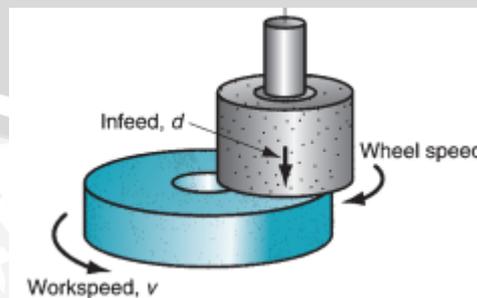
- 1) Mesin gerinda datar semi otomatis, artinya proses pemotongan dapat dilakukan manual maupun otomatis.
- 2) Adapun mesin gerinda datar yang dapat dijalankan menggunakan program (NC) Numerical Control dan CNC/Computer Numerically Control



Gambar 2.15 Mesin Gerinda Datar Vertikal Dengan Gerak Meja Bolak-Balik

Sumber : Groover Mikell P, 1996 : 616

4. Mesin gerinda datar vertikal dengan gerak meja berputar, mesin jenis ini dipergunakan untuk menggerinda permukaan rata poros. Prinsip kerja mesin gerinda datar vertical gerak meja berputar sama dengan mesin gerinda datar vertikal dengan gerak meja bolak balik. Mesin gerinda ini dipergunakan untuk menggerinda permukaan rata poros



Gambar 2.16 Mesin Gerinda Datar Vertikal Dengan Gerak Meja Berputar

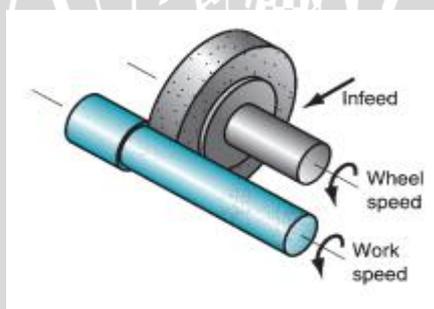
Sumber : Groover Mikell P, 1996 : 616

B. Mesin Gerinda Silindris

Mesin gerinda silindris adalah alat pemesinan yang berfungsi untuk membuat bentuk-bentuk silindris, silindris bertingkat, dan sebagainya. *Spindle speed* berperan sebagai kecepatan primer dan gerak perputaran dari benda kerja (*work speed*) adalah kecepatan sekunder. Berdasarkan konstruksi mesinnya, mesin gerinda silindris dibedakan mejadi menjadi empat macam, yaitu:

1. Mesin Gerinda Silindris Luar

Dengan gerakan penggerindaan memanjang (*longitudinal*) dan melintang (*plunge*) mesin gerinda ini cocok untuk pengerjaan poros (*shaft*). Gerakan meja diatur oleh hidrolik, yang panjang pendek langkahnya dapat diatur sesuai dengan panjang benda kerja. Untuk benda kerja yang konus, meja mesin diputar sebesar setengah sudut konus. Kepala spindle (*spindle head*) dengan motor penggerak dan penyangga (*tailstock*) jaraknya dapat diatur menyesuaikan dengan panjang pendek benda kerja yang akan digerinda. Untuk *Depth of cut* dapat dilakukan dengan mengatur maju mundurnya roda gerinda (*grinding wheel*)

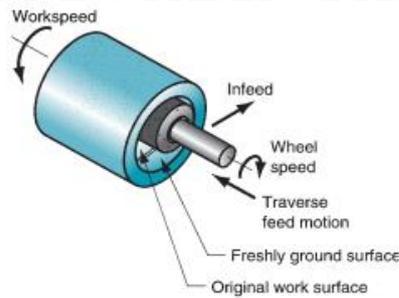


Gambar 2.17 Mesin Gerinda Silindris Luar

Sumber : Groover Mikell P 1996 : 617

2. Mesin Gerinda Silindris Dalam

Mesin gerinda ini berfungsi untuk pengerjaan lubang-lubang yang berbentuk silindris dan tirus. Pada dasarnya gerakan pada mesin gerinda silindris dalam sama dengan mesin gerinda silindris luar, namun putaran roda gerinda lebih cepat karena diameter roda gerinda yang digunakan kecil.



Gambar 2.18 Mesin Gerinda Silindris Luar

Sumber : Groover, Mikell P 1996 : 617

3. Mesin Gerinda Tangan

Mesin gerinda tangan cocok digunakan untuk pengerjaan *non-finnshing* atau pekerjaan-pekerjaan *bench work*. Namun mesin gerinda tangan dapat mengerjakan benda kerja yang variatif.

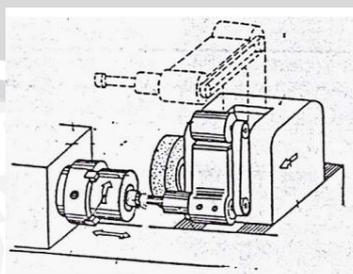


Gambar 2.19 Mesin Gerinda Tangan

Sumber : Gunadi 2008 : 329

4. Mesin Gerinda Silindris Universal

Sesuai dengan namanya, mesin ini juga mampu mengerjakan benda kerja dengan diameter luar dan dalam baik bentuk silindris.



Gambar 2.20 Mesin Gerinda Silindris Universal

Sumber : Paryanto 2015 : 45

5. Mesin Gerinda Duduk

Mesin gerinda duduk fungsi utama gerinda duduk adalah untuk mengasah mata bor, tetapi dapat juga digunakan untuk mengasah pisau lainnya, seperti mengasah pisau dapur, golok, kampak, arit, mata bajak, dan perkakas pisau lainnya. Selain untuk mengasah, gerinda duduk dapat juga untuk membentuk atau membuat perkakas baru, seperti membuat pisau khusus untuk meraut bambu, membuat sukucadang mesin jahit, membuat obeng, atau alat bantu lainnya untuk reparasi turbin dan mesin lainnya.



Gambar 2.21 Gerinda Duduk

Sumber : Gunadi 2008 : 329

Komponen utama pada mesin gerinda duduk sebagai berikut:

a) Badan Mesin

Bagian badan mesin yang biasanya terbuat dari besi tuang yang memiliki sifat sebagai peredam getaran yang baik. fungsinya adalah untuk menopang meja kerja dan menopang kepala rumah spindel.

b) Poros Spindel

Bagian poros spindel merupakan bagian yang kritis karena harus berputar dengan kecepatan tinggi juga dibebani gaya pemotongan pada batu gerindanya dalam berbagai arah.

c) Meja Benda

Bagian meja juga merupakan bagian yang dapat mempengaruhi hasil kerja proses gerinda karena diatas meja inilah Benda kerja diletakkan melalui suatu ragam ataupun magnetic chuck yang dikencanakan pada meja ini.

d) *Power Transmission*

Power Transmission grinda dilindungi oleh pelindung tetap sebagai peredam getaran. *Power Transmission* gerinda berupa spindle.

e) *Point Of Operation*

Point Of Operation grinda ini merupakan bagian mesin yang dirancang untuk mengasah atau rnengikis benda kerja.

f) Safety Glass

Pelindung ini adalah safety glass, di mana dirancang untuk melindungi bagian atas badan pekerja seperti bagian wajah dari percikan api.

g) Heavy Wheel Guard

Heavy wheel guard bertujuan untuk melindungi gerinda pada saat berputar dan merupakan pelindung tetap.

6. Mesin Gerinda Potong

Mesin gerinda potong (*drop saw*) merupakan mesin gerinda yang digunakan untuk memotong benda kerja dari bahan pelat ataupun pipa. Roda gerinda yang digunakan adalah piringan gerinda tipis yang diputar dengan kecepatan tinggi. Mesin gerinda potong dapat memotong benda kerja pelat ataupun pipa dari bahan baja dengan cepat.



Gambar 2.22 Mesin Gerinda Potong (*drop saw*)

Sumber : Gunadi 2008 : 330

2.5 Batu Gerinda (Grinding Wheel)

2.5.1 Pengertian Batu Gerinda

Menurut Agus Susanto (2010), batu gerinda dibuat dari campuran serbuk abrasif dengan bahan pengikat. Varian yang bisa diturunkan dari kombinasi dua elemen ini amat banyak, karena jenis dan ukuran serbuk abrasif, jenis bahan pengikat, persentase serta kepadatan (*compactness*) atau porositas (*porosity*) dapat diatur sesuai dengan keinginan pada waktu batu gerinda ini dibuat. Dalam pengujian ini digunakan dua jenis batu gerinda yang berbeda, perbedaan dari batu gerinda tersebut terletak pada ukuran

butir (*grain size*). Kodifikasi dua buah batu gerinda yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis batu gerinda dengan merek Norton :

1. A 46 Q V }
8" x 3/4" x 1- 1/4"
2. A 80 P V

Arti dari kode tersebut adalah :

A	Bahan Al ₂ O ₃ (<i>Aluminium oxides</i>)
46,80	Merupakan ukuran serbuk abrasif 46 (medium) dan 80 (kasar)
Q,P	Merupakan kekerasan atau kekuatan ikatan batu gerinda, kode Q dan P merupakan <i>grade</i> yang keras.
V	Merupakan jenis bahan pengikat <i>vitriified</i>
8"	Diameter gerinda (8 inchi)
3/4"	Lebar batu gerinda (3/4 inchi)
1- 1/4"	Diameter lubang <i>bushing</i> batu gerinda

2.5.2 Macam-macam Batu Gerinda

Batu gerinda banyak digunakan di bengkel-bengkel pengerjaan logam. Batu gerinda penyayatannya sangat halus, dan gramnya tidak terlihat seperti milling. Gram hasil penggerindaan ini sangat kecil seperti debu. Dari berbagai bentuk batu gerinda sebenarnya bahan utamanya hanya terdiri dari dua jenis pokok, yaitu butiran bahan asah/pemotong (abrasive) dan perekat (bond).

Fungsi batu gerinda sebagai berikut.

1. Untuk penggerindaan silindris, datar dan profil.
2. Menghilangkan permukaan yang tidak rata.
3. Untuk pekerjaan finishing permukaan.
4. Untuk pemotongan.
5. Penajaman alat-alat potong.

Fungsi dari batu gerinda berbeda-beda dalam pemakaiannya, berikut fungsi dari beberapa jenis batu gerinda :

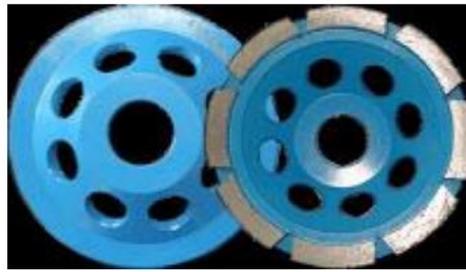
1. **Flat wheels**, untuk melakukan penggerindaan alat-alat potong seperti *handtap*, *countersink*, mata bor, dan sebagainya.



Gambar 2.22 *Flat Wheels*

Sumber : Gunadi 2008 : 322

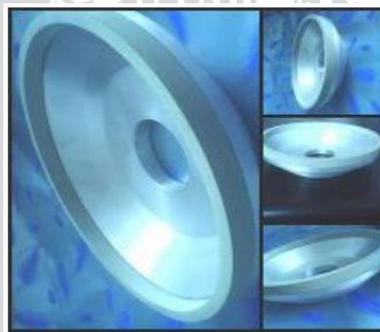
2. ***Cup wheels***, untuk melakukan penggerindaan alat-alat potong seperti cutter, pahat bubut, dan sebagainya.



Gambar 2.23 *Cup Wheels*

Sumber : Gunadi 2008 : 329

3. ***Disk grinding wheels***, untuk melakukan penggerindaan profil pada *cutter*



Gambar 2.24 *Disk Grinding Wheels*

Sumber : Norton 2011 : 11

4. ***Shaped grinding wheels***, untuk memotong alat potong ataupun material yang sangat keras, seperti HSS, material yang sudah mengalami proses *heat treatment*.



Gambar 2.25 *Shaped Grinding Wheels*

Sumber : Norton 2011 : 11

5. **Cylindrical grinding wheels**, untuk melakukan penggerindaan diameter dalam suatu jenis produk.



Gambar 2.26 *Cylindrical Grinding Wheels*

Sumber : Gunadi 2008 : 322

6. **Saucer Grinding Wheels**, Gerinda ini biasa digunakan untuk mengerinda bergelombang dan gerinda pemotong. Ini menemukan penggunaan yang luas di non-mesin daerah, karena hal ini filers bertemu digunakan oleh roda piring untuk menjaga bilah gergaji.



Gambar 2.27 *Saucer Grinding Wheels*

Sumber : Gunadi 2008 : 324

7. **Diamond grinding wheels**, Dalam roda berlian berlian industri tetap terikat ke tepi. Digunakan untuk mengerinda bahan-bahan keras seperti beton, batu permata dll. Sebuah melihat menggorok dirancang untuk mengiris batu permata seperti bahan keras.



Gambar 2.28 *Diamond Grinding Wheels*

Sumber : United Abrasive Inc. 2015:60

2.6 Besi 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 cor kelabu paduan, besi cor bergrafit bulat, besi cor mampu tempa, dan besi cor cil. (Surdia dan Chijiwa, 1991:4)

Struktur mikro dari besi cor terdiri dari ferit atau perlit dan serpih karbon bebas. Karbon dan silisium ternyata mempengaruhi struktur mikro, ukuran serta bentuk dari karbon bebas dan keadaan struktur dasar berubah sesuai dengan mutu dan kuantitasnya. Disamping itu, ketebalan dan laju pendinginan mempengaruhi struktur mikro. Walaupun kekuatan tarik dari besi cor kelabu kira-kira 10-30 kgf/mm², namun besi cor ini agak getas, titik cairnya kira-kira 1.200°C dan mempunyai mampu cor sangat baik serta murah, sehingga besi cor kelabu ini dipergunakan paling banyak untuk benda-benda coran.

Besi cor kelas tinggi mengandung lebih sedikit karbon dan silikon, lagi pula ukuran grafit bebasnya agak kecil, dibandingkan dengan besi cor kelabu, sehingga kekeuatan tariknya lebih tinggi yaitu kira-kira 30-50 kgf/mm². Membuat besi cor kelas tinggi agak susah dibandingkan 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 pertama hanya beberapa persen saja dan yang kedua lebih banyak. Unsur-unsur yang ditambahkan adalah krom, Nikel, molibden, vanadium, titan, dan sebagainya, sehingga ketahanan panas, ketahanan aus, ketahanan korosi, dan mampu mesin dari besi cor macam ini baik sekali berkat adanya unsur-unsur tersebut.

Besi cor mampu tempa dibuat dari besi cor putih, yang dilunakkan di dalam sebuah Tanu dalam waktu yang lama. Struktur sementit dari besi cor putih berubah menjadi ferlit atau pelit 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 pelit. Besi cor macam ini sangat baik keuletannya dan perpanjangannya dibandingkan 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 kurang.

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 ketahanan panas yang baik sekali dibandingkan dengan besi cor kelabu.

Besi cor cuil adalah 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. Bagian dalamnya mempunyai keuletan yang baik pula. Besi cor demikian dipergunakan sebagai bahan tahan aus.

2.7 Struktur Mikro Besi dan Baja

Besi dan baja paling banyak dipakai sebagai bahan industri yang merupakan sumber sangat besar, dimana sebagian ditentukan nilai ekonominya, tetapi yang paling penting karena sifat-sifatnya yang bervariasi. Yaitu bahwa bahan tersebut mempunyai berbagai sifat dari yang paling lunak dan mudah dibuat sampai yang paling keras dan tajam untuk pisau pemotong dapat dibuat, atau apa saja dengan bentuk apapun dapat dibuat dengan pengecoran. Dari unsur besi berbagai bentuk struktur logam dapat dibuat, itulah sebabnya mengapa besi dan baja disebut bahan yang kaya dengan sifat-sifat.

Diagram fasa karbon menunjukkan diagram keseimbangan besi-karbon sebagai dasar dari bahan yang berupa besi baja. Selain karbon pada besi dan baja terkandung

kira-kira 0,25% Si, 0,3-1,5% Mn dan unsur pengotor lain seperti P, S, dsb. Pada paduan besi karbon terdapat fasa karbida yang disebut sementit dan juga grafit, grafit lebih stabil daripada sementit. Titik titik penting pada diagram fasa ini adalah :

A: Titik cair besi

B: Titik pada cairan yang ada hubungannya dengan reaksi peritektik

H: larutan padat δ yang ada hubungan dengan reaksi peritektik. Kelarutan karbon maksimum adalah 0,10%

J: Titik Peritektik. Selama pendinginan austenit pada komposisi J, fasa γ terbentuk dari larutan padat δ pada komposisi H dan cairan pada komposisi B.

N: Titik transformasi besi $\delta \leftrightarrow$ besi γ , titik transformasi A_4 dari besi murni.

C: Titik Eutektik. Selama pendinginan fasa γ , ada hubungan dengan reaksi eutektik. Kelarutan maksimum dari karbon 2,14%. Oaduan besi karbon sampai pada komposisi ini disebut baja.

G: Titik transformasi besi $\gamma \leftrightarrow$ besi α . Titik transformasi A_3 untuk besi.

P: Titik yang menyatakan ferit, fasa α , ada hubungan dengan reaksi eutektoid. Kelarutan maksimum dari karbon kira-kira 0,02%

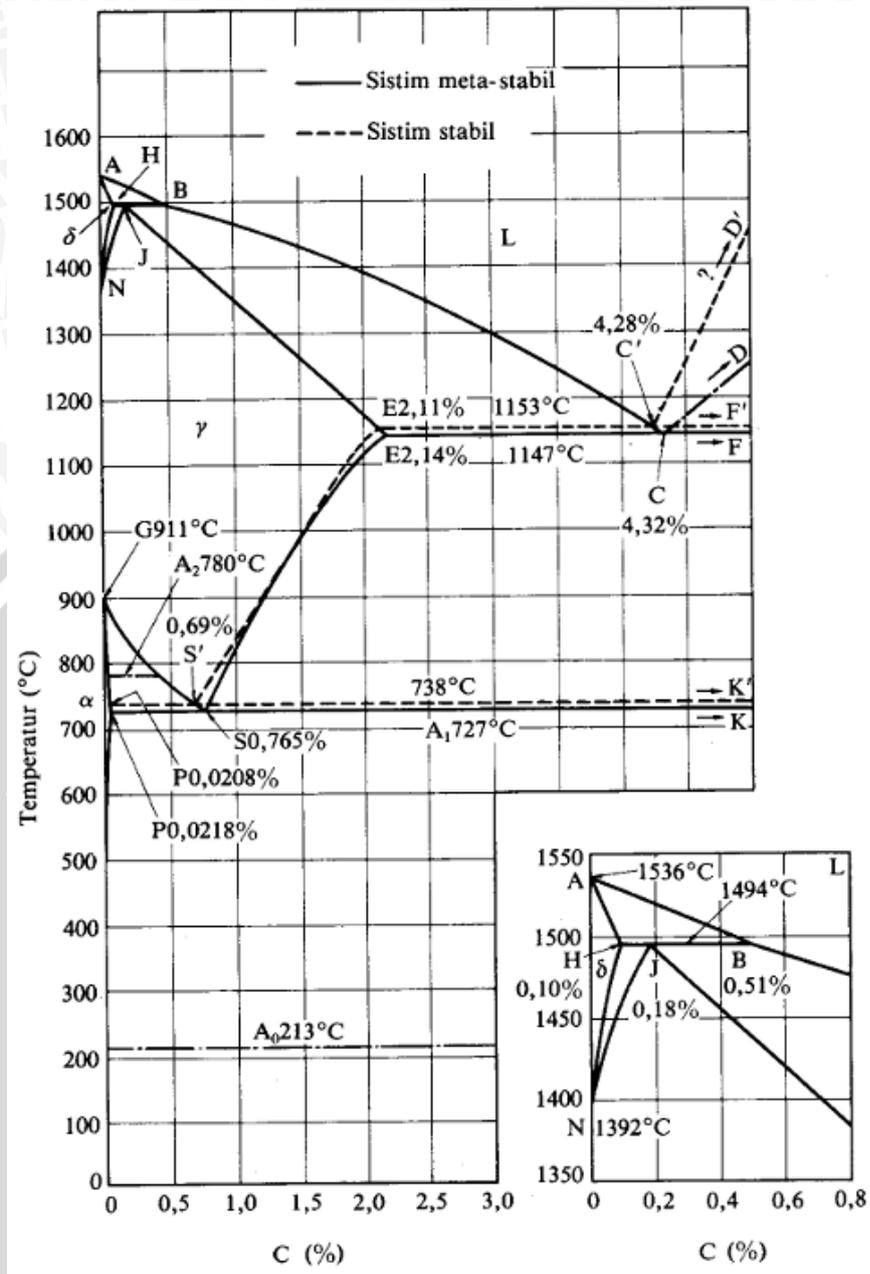
S: Titik eutektoid. Selama pendinginan, ferit pada komposisi P dan sementit pada komposisi K (sama dengan F) terbentuk simultan dari austenit pada komposisi S. Reaksi eutektoid ini dinamakan transformasi A_1 , dan fasa eutektoid ini dinamakan perlit.

GS: Garis yang menyatakan hubungan antara temperatur dan komposisi, di mana mulai terbentuk ferit dari austenit. Garis ini disebut garis A_3 .

ES: Garis yang menyatakan hubungan antara temperatur dan komposisi; di mana mulai terbentuk sementit dari austenit, dinamakan gari A_{cm} .

A_2 : Titik transformasi magnetik untuk besi atau ferit.

A_0 : Titik transformasi magnetik untuk sementit.



Gambar 2.29 Diagram Fasa Keseimbangan Besi Karbon

Sumber : Surdia Saito (1992:70)

Baja yang terkadar karbon sama dengan komposisi eutektoid dinamakan baja eutektoid, yang berkadar karbon kurang dari komposisi eutektoid disebut baja hipoeutektoid, dan yang berkadar lebih dari komposisi eutektoid disebut baja hipereutektoid.

Besi dan baja diharapkan mempunyai kekuatan statik dan dinamik, ulet, mudah diolah, tahan korosi dan mempunyai sifat elektromagnet agar dapat dipakai sebagai

bahan untuk konstruksi dan mesin-mesin. Dilihat dari transformasi ada tiga macam baja yaitu:

- 1) Baja dengan titik transformasi A_1 , berupa ferit dibawah A_1 , dan austenit pada A_3 atau diatas A_1 .
- 2) Baja dengan titik transformasi A_1 , di bawah temperatur kamar, berupa austenit pada temperatur kamar.
- 3) Baja dengan daerah austenit yang kecil, berupa ferit sampai temperatur tinggi pada daerah komposisi tertentu.

Baja yang tergolong macam 1) berupa ferit pada temperatur kamar (dalam keseimbangan), dapat diproses kembali menjadi berbagai struktur dengan jalan perlakuan panas. Fasa-fasa tersebut memiliki sifat-sifat khas. Ferit mempunyai sel satuan kubus pusat badan atau body centered cubic (bcc), menunjukkan titik mulur yang jelas dan menjadi getas pada temperatur rendah. Austenit mempunyai sel satuan kubus pusat muka atau face centered cubic (fcc) menunjukkan titik mulur yang jelas tanpa kegetasan pada keadaan dingin. Akan tetapi kalau berupa fasa metastabil bisa berubah menjadi α' pada temperatur rendah dengan pengerjaan. Martensit adalah fasa larutan padat lewat jenuh dari karbon dalam sel satuan tetragonal pusat badan atau body centered tetragonal (bct). Makin tinggi derajat kelewat jenuhan karbon, makin besar perbandingan satuan sumbu sel satuannya dan semakin keras serta makin getas martensit tersebut. Bainit mempunyai sifat-sifat antara martensit dan ferit.

Tabel 2.1 Karakteristik berbagai pengujian kekerasan

	Fasa dan simbol	Struktur	Pengelasan
Menurut kristal	Austenit (γ)	<i>fcc</i>	Paramagnetik dan stabil pada temperatur tinggi.
	Ferit (α)	<i>bcc</i>	Stabil pada temperatur rendah, kelarutan padat terbatas, dapat berada bersama Fe_3C (<i>sementit</i>) atau lainnya.
	Bainit (α')	<i>bcc</i>	Austenit metastabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat tertentu. Terjadi hanya presipitasi Fe_3C , unsur paduan lainnya tetap larut.
	Martensit (α')	<i>bct</i>	Fasa metastabil terbentuk dengan laju pendinginan cepat, semua unsur paduan masih larut dalam keadaan padat.
Menurut keadaan	Perlit		Lapisan ferit dan Fe_3C .
	Widmanstaetten		γ dan α dalam orientasi pada persipitasi ferit.
	Dendrit		Berbentuk cabang-cabang seperti pohon, struktur ini terbentuk karena segregasi karbon pada pembekuan.
	Sorbit Trostit		Sorbit adalah perlit halus dan trostit adalah bainit. Nama ini tidak banyak dipakai.

Sumber : Surdia dan Saito, 1992:72

Sesuai dengan keaneka ragaman strukturnya, maka dapat diperoleh berbagai sifat baja termasuk kekuatan dan keuletasan. Faktor-faktor yang menentukan sifat-sifat mekanik adalah macam fasa, kadar unsur paduan dalam fasa, banyak fasa, ukuran dan bentuk senyawa. Untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik yang diinginkan perlu mendapat struktur yang cocok dengan komposisi kimia dan perlakuan panas yang tepat.

2.8 Case Hardening

Proses pengerasan permukaan (surface hardening) adalah suatu perlakuan (treatment) yang diterapkan pada suatu logam agar diperoleh sifat-sifat tertentu. Dan agar dicapai hasil yang memadai, maka pelaksanaan dari suatu perlakuan harus memperhitungkan aspek metalurgi dan peralatan yang tersedia, supaya dapat dipilih proses-proses perlakuan yang sesuai pada suatu logam untuk maksud tertentu dengan ekonomis, juga agar dapat ditentukan tingkat kualitas yang akan dihasilkan.

Bahwa proses pengerasan permukaan ini terbagi dua (2) macam; proses pengerasan permukaan dengan cara merubah struktur mikro tanpa merubah komposisi kimia bahan, seperti flame hardening. Kedua; proses pengerasan permukaan dengan merubah struktur mikro dan komposisi kimia bahan, seperti karburasi, nitridasi dan nitrokarburasi.

Pengerasan permukaan (Case hardening) merupakan proses pengerasan permukaan baja dan besi cor dengan cara memasukkan unsur-unsur karbon atau nitrogen atau karbon dan nitrogen ke permukaan baja dan besi cor tersebut dalam bentuk larutan padat fasa austenit, sehingga komposisi austenit dipermukaan baja dan besi cor berubah dan dengan melalui proses hardening dan quenching diperoleh sifat dan kualitas yang baik, antara lain:

- Kekerasan yang tinggi
- Ketahanan terhadap pemakaian
- Ketahanan terhadap kelelahan dan lain-lain.

Proses case hardening terdiri dari:

- Carborizing
- Carbonitriding
- Nitriding

Pada proses carborizing dan carbonitriding masuknya unsur karbon atau karbon dan nitrogen dilakukan pada temperatur austenisasi sedangkan proses nitriding masuknya unsur nitrogen berlangsung pada temperatur transformasi bawah.

Setelah proses carborizing atau carbonitriding, inti masih tetap mempunyai kandungan karbon rendah (0,1 – 0,3%C) dan kulitnya mempunyai kandungan karbon maksimum 0,83%C (komposisi eutectoid). Karena pemanasan yang cukup lama pada struktur austenit menyebabkan terbentuknya butiran kasar, sehingga untuk mendapatkan sifat mekanik yang terbaik dilakukan proses hardening. Karena ada perbedaan kandungan karbon pada inti dan kulit, sehingga mempunyai suhu kritis atas yang berbeda, maka proses hardening yang terbaik dilakukan adalah:

- 1) Memperhalus inti, komponen dipanaskan hingga sedikit di atas suhu kritis dari intinya kemudian didinginkan dalam air, sehingga didapatkan campuran butiran halus ferit dan sedikit martensit. Karena suhu ini sangat di atas suhu kritis atas dari kulit, sehingga didapatkan butiran kasar martensit pada kulit. Oleh karena itu masih diperlukan proses perlakuan panas untuk memperhalus butiran kulit.
- 2) Memperhalus kulit, komponen dipanaskan hingga di atas suhu kritis atas, kemudian dilakukan quenching dan didapatkan kulit keras dari butiran halus martensit.
- 3) Pada saat yang sama sejumlah martensit rapuh yang terdapat pada inti hasil dari proses quenching, akan tertemper dalam proses pemanasan kedua. Akhirnya komponen tertemper pada temperatur tertentu untuk menghilangkan tegangan yang terdapat pada kulit.

Proses ini adalah merupakan anjuran untuk kesempurnaan tapi dipandang dari segi industri, dimana nilai ekonomis merupakan faktor yang harus dipertimbangkan maka sering kali pemanasan dilakukan satu kali saja. Selain itu, setelah proses carborizing atau carbonitriding benda kerja didinginkan perlahan-lahan untuk mendapatkan keuletan yang tinggi dari inti, kemudian dipanaskan lagi pada suhu austenisasi dari kulit lalu quenching, sehingga diperoleh hasil yang keras pada kulit dan ulet pada inti. Akan tetapi di industri biasanya dilakukan setelah carborizing atau carbonitriding temperatur diturunkan sampai temperatur hardening, ditahan selama periode waktu tertentu lalu quenching.

Nitriding adalah proses pengerasan permukaan dengan jalan mendifusikan unsur nitrogen ke permukaan larutan pada logam/baja dan besi cor feritik, yaitu dengan cara memanaskan dan menahan logam/baja dan besi cor tersebut pada temperatur dibawah

temperatur kritis bawah (antara 500-590oC) selama periode waktu tertentu dalam kontak dengan gas atau cairan yang mengandung unsur nitrogen.

Seluruh baja dan besi cor yang dapat dikeras haruslah dikeraskan dan di"temper" dahulu sebelum dilakukan proses nitriding, dimana temperatur tempering harus cukup tinggi untuk menjaga kestabilan struktur pada proses nitriding (minimal 10oC diatas temperatur nitriding).

Proses nitriding dilakukan dengan tujuan:

- mendapatkan kekerasan permukaan yang tinggi
- meningkatkan ketahanan pakai dan sifat "antigalling"
- meningkatkan ketahanan terhadap umur kelelahan
- meningkatkan ketahanan terhadap korosi
- meningkatkan ketahanan kekerasan permukaan terhadap kenaikan temperatur sampai temperatur nitriding.

Keuntungan lain yang diperoleh dengan proses nitriding ialah: distorsi dan deformasi minimum, karena temperatur pemanasan rendah. Di industri dikenal dua jenis proses nitriding, yaitu: liquid nitriding dan gas nitriding. Pada umumnya kedua jenis proses ini adalah sama dan lama proses dibutuhkan juga sama, tetapi proses gas nitriding biasanya lebih disukai bila diinginkan kedalaman penetrasi nitrogen yang lebih besar.

Pada proses liquid nitriding media yang digunakan adalah campuran garam-garam, yaitu: NaCN, Na₂CO₃, KCl dan beberapa bahan pengaktif lainnya. Pada proses nitriding media yang digunakan adalah: gas amonia.

Berdasarkan diagram fasa biner Fe-N dapat diperkirakan bahwa beberapa lapisan dapat terbentuk pada temperatur 500-6000C, yaitu berturut-turut pada bagian dalam (dekat substrat) kebagian terluar.

2.9 Pengujian Logam

Proses pengujian logam adalah proses pemeriksaan bahan-bahan untuk diketahui sifat dan karakteristiknya yang meliputi sifat mekanik, sifat fisik, bentuk struktur, dan komposisi unsur-unsur yang terdapat didalamnya. Metode pengujian dikelompokkan ke dalam tiga kelompok menurut proses pengujiannya, yaitu:

1. Destructive Test (DT), yaitu proses pengujian logam yang dapat menimbulkan kerusakan logam yang diuji.
2. Non Destructive Test (NDT), yaitu proses pengujian logam yang tidak dapat menimbulkan kerusakan logam atau benda yang diuji.
3. Metallography, yaitu proses pemeriksaan logam tentang komposisi kimianya, unsur-unsur yang terdapat didalamnya, dan bentuk strukturnya.

2.10 Kekerasan (Hardness Test)

Kekerasan adalah kemampuan material logam dalam menerima gaya berupa penetrasi, pengikisan, penggoresan, dan indentasi, sifat kekerasan mempunyai korelasi dengan sifat tahan aus. Nilai kekerasan sebuah raw material sangat penting untuk diketahui. Nilai tersebut digunakan untuk mengetahui proses yang akan dilakukan kepada raw material tersebut untuk kepentingan produksi.

Terdapat beberapa macam pengujian kekerasan, seperti yang disebutkan dalam tabel 2.1. berbagai macam pengujian kekerasan tersebut diperuntukkan kepada karakteristik benda uji yang berbeda-beda.

Tabel 2.2 Karakteristik berbagai pengujian kekerasan

Cara pengujian	Briell (H_R)	Rockwell (H_{RA} , H_{RC} etc.)	Rockwell superficial (H_{R30T} , H_{R30N} dst)	Vickers (H_V)	Kekerasan mikro (H_K)	Shore (H_S)
Penekan	Bola baja 10 mm ϕ 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	$\frac{\text{Beban}}{\text{Luas penekanan}}$	Dalamnya penekanan	Dalamnya penekanan	$\frac{\text{Beban}}{\text{Luas penekanan}}$	$\frac{\text{Beban}}{\text{Luas penekanan}}$	Tinggi pantulan 6,5" dari 10" tinggi pantulan asal adalah 100

Sumber : Surdia dan Saito, 1992:32

Pengujian yang paling banyak dipakai ialah indentasi atau penekanan. sebuah bola baja ataupun benda lainnya yang mempunyai kekerasan tinggi ditekan kepada sebuah benda uji, hasil dari penekanan tersebut di ukur dan dihitung untuk menghasilkan nilai kekerasan.

Metode pengujian kekerasan telah disepakati melalui tiga metode pengujian kekerasan dengan satuan yang baku, yaitu penekanan, goresan, dan dinamik. Pengujian kekerasan dengan cara penekanan banyak digunakan oleh industri permesinan, dikarenakan prosesnya sangat mudah dan cepat dalam memperoleh angka kekerasan logam tersebut apabila dibandingkan dengan metode pengujian lainnya. Pengujian

kekerasan dengan cara penekanan terdiri dari tiga jenis, yaitu pengujian kekrasan dengan metode Rockwell, Brinell, dan Vickers. Ketiga metode tersebut memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing, serta perbedaan dalam menentukan angka kekerasannya. Metode Brinell dan Vickers memiliki prinsip dasar yang sama dalam menentukan angka kekerasannya, yaitu menitikberatkan pada perhitungan kekuatan bahan terhadap setiap daya luas penampang bidang yang menerima pembebanan tersebut. Sedangkan metode Rockwell menitikberatkan pada pengukuran kedalaman hasil penekanan atau penekan (indenter) yang membentuk bekasnya (indentasi) pada benda uji.

2.7.1 Metode Pengujian Brinell

Cara pengujian Brinell dilakukan dengan penekanan sebuah bola baja yang terbuat dari baja krom yang telah dikeraskan dengan diameter tertentu oleh suatu gaya tekan secara statis kedalam permukaan logam yang diuji tanpa sentakan. Permukaan logam yang diuji harus rata dan bersih. Diameter paling atas dari lekukan tersebut diukur secara teliti. Pengujian brinell ini tidak diperuntukkan untuk benda uji yang sangat keras, namun selama benda uji tersebut tdk menyebabkan deformasi pada bola penekanan. pengjian metode ini dignuakan untuk benda uji yang tipis kurang dari $\frac{1}{4}$ in.



Gambar 2.30 *Brinell Hardness Tester*

Sumber : Palton, 1974:112

2.7.2 Metode pengujian Rockwell

Metode Rockwell sama halnya seperti metode brinell, pengujian melalui indentasi. Namun metode Rockwell dapat digunakan kepada benda yang tipis maupun benda yang keras. Indentor dari metode Rockwell ini yaitu kerucut intan dengan besar sudut 120° dan disebut sebagai *rockwell cone* dan bola baja dengan berbagai ukuran dan disebut sebagai *rockwell ball*.

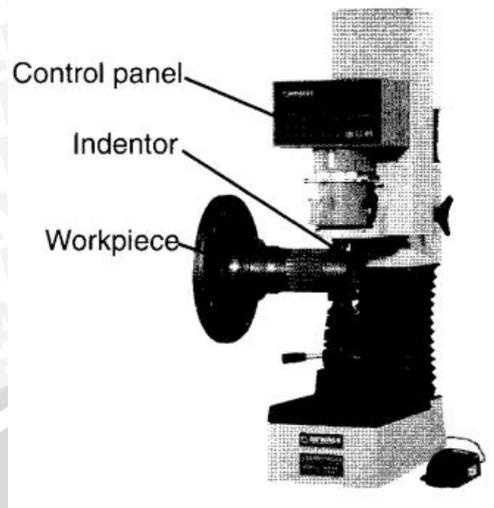
Terdapat beberapa macam pengujian metode Rockwell, diantaranya yaitu metode Rockwell A – E, yang membedakannya yaitu indentor, pembebanan, dan nilai kekerasannya. tabel 2.2 dibawah menunjukkan perbedaan antara berbagai metode pengujian kekerasan yang ada.

Tabel 2.2 Perbedaan dari beberapa metode kekerasan

Test	Indenter	Shape of indentation		Load, P	Hardness number
		Side view	Top view		
Brinell	10-mm steel or tungsten-carbide ball			500 kg 1500 kg 3000 kg	$HB = \frac{2P}{(\pi D)(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers	Diamond pyramid			1–120 kg	$HV = \frac{1.854P}{L^2}$
Knoop	Diamond pyramid			25 g–5 kg	$HK = \frac{14.2P}{L^2}$
Rockwell					
A } C } D }	Diamond cone			60 kg	HRA } HRC } HRD } = 100 – 500t
				150 kg	
				100 kg	
B } F } G }	1.6-mm diameter steel ball			100 kg	HRB } HRF } HRG } = 130 – 500t
				60 kg	
				150 kg	
E	3.2-mm diameter steel ball			100 kg	HRE }

Sumber : Kalpakjian, 2009:70

Pada pengujian kekerasan metode Rockwell ini benda uji harus datar dan bagian bawah material harus bersih dari kotoran, dan tidak berlubang. Ketebalan benda uji dari metode Rockwell ini dapat dilihat pada table minimum ketebalan untuk penggunaan indentor pada ASTM E 18.

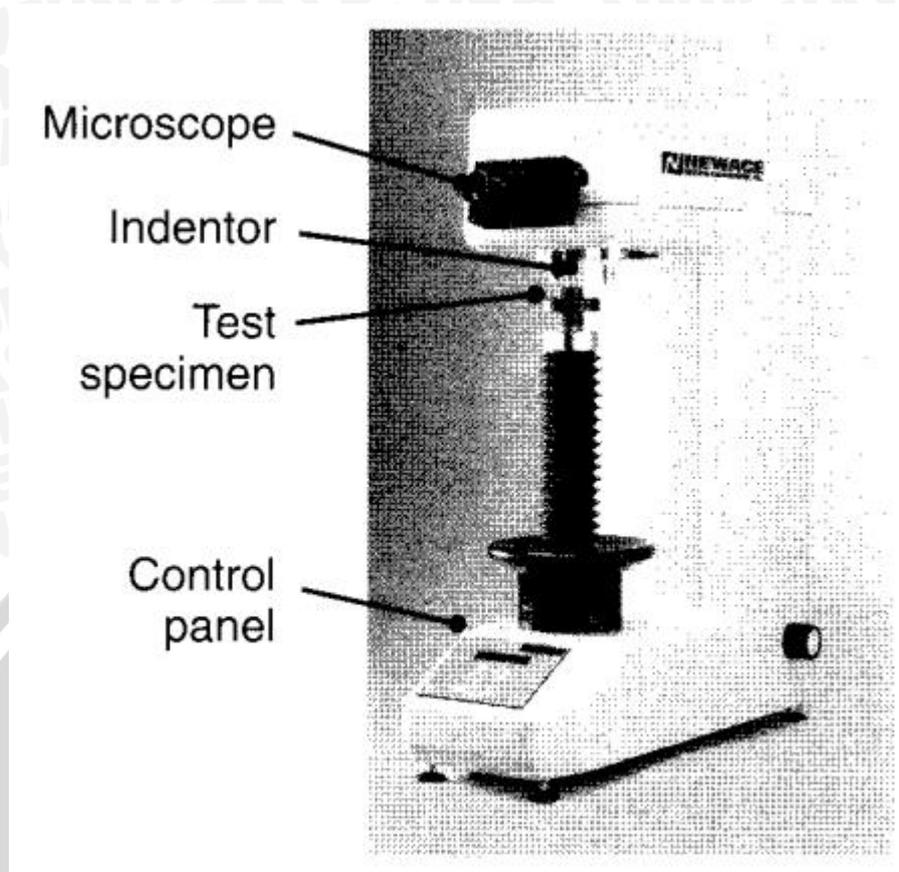


Gambar 2.31 *Rockwell Hardness Tester*

Sumber :Kalpakjian, 2009:69

2.7.3 Metode Pengujian Vickers

Metode Vickers ini berdasarkan pada penekanan oleh suatu gaya tekan tertentu oleh sebuah indentor berupa pyramid diamond terbalik dengan sudut puncak 136° ke permukaan logam yang akan diuji kekerasannya, dimana permukaan logam yang diuji ini harus rata dan bersih. Angka kekerasan Vickers (VHN) didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pengujian Vickers dapat dilakukan tidak hanya pada benda yang lunak akan tetapi juga dapat dilakukan pada bahan yang keras. Bekas penekanan yang kecil pada pengujian Vickers mengakibatkan kerusakan bahan percobaan relatif sedikit. Pada benda kerja yang tipis atau lapisan permukaan yang tipis dapat diukur dengangaya yang relatif kecil.



Gambar 2.32 *Vickers Hardness Tester*

Sumber :Kalpakjian, 2009:69

Uji kekerasan Vickers menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136° . Sudut ini dipilih karena nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan brinell. Angka kekerasan piramida intan (DPH), atau angka kekerasan Vickers (VHN atau VPH), didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan.

Hal-hal yang menghalangi keuntungan pemakaian metode Vickers adalah uji kekerasan Vickers tidak dapat digunakan untuk pengujian rutin karena pengujian tersebut lamban, memerlukan persiapan permukaan benda uji yang hati-hati, dan terdapat pengaruh kesalahan manusia yang besar pada penentuan panjang diagonal. Lekukan yang benar terbuat dari penumbuk piramida intan harus berbentuk bujur sangkar.

2.11 Uji Metalografi

Uji metalografi merupakan suatu teknik atau suatu metode yang digunakan untuk mengamati struktur mikro yang ada pada logam dengan menggunakan mikroskop optis dan mikroskop elektron. Selain itu, metalografi juga dapat digunakan sebagai suatu metode persiapan pada material untuk mengukur, baik secara kuantitatif maupun kualitatif dari informasi-informasi yang dapat diamati dari material. Contohnya seperti fasa, butir, komposisi kimia material, orientasi butir, jarak atom, dislokasi, topografi dan sebagainya. Pengamatan tersebut dilakukan terhadap specimen yang telah diproses sebelumnya sehingga bisa diamati sampai pembesaran tertentu.

Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan pada proses uji metalografi adalah sebagai berikut :

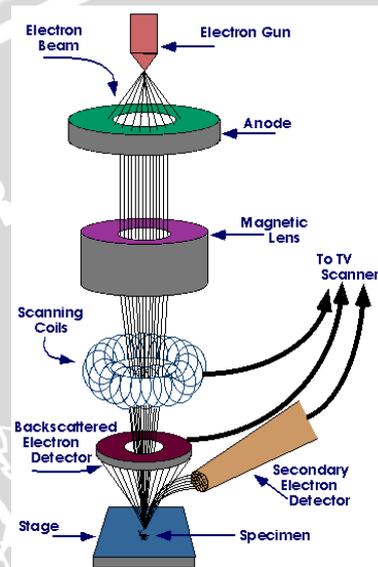
1. Pematangan (*Sectioning*)
2. *Mounting*
3. *Grinding*
4. *Polishing*
5. *Etching*

Setelah lima langkah diatas sudah dilakukan, specimen dapat langsung diamati melalui mikroskop dan diambil gambarnya melalui foto metalografi dengan pembesaran tertentu. Pada dasarnya, uji metalografi adalah melihat perbedaan antara intensitas sinar pantul pada permukaan logam yang masuk kedalam mikroskop, sehingga terjadi perbedaan pada gambar (gelap, agak terang dan terang). Sehingga jika permukaan pada logam semakin tidak rata, maka akan semakin sedikit intensitas sinar yang masuk ke dalam mikroskop. Hal ini akan menyebabkan warna yang tampak pada mikroskop adalah warna gelap. Tetapi, jika permukaan pada logam semakin rata, maka akan semakin banyak intensitas sinar yang masuk ke dalam mikroskop, sehingga menimbulkan warna yang terang. Hal-hal tersebut sangat dipengaruhi oleh orientasi sudut permukaan bidang yang terkena sinar.

2.12 SEM-EDX

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan mikroskop electron yang banyak digunakan dalam ilmu pengetahuan material. SEM banyak digunakan kerana memiliki kombinasi yang unik, mulai dari persiapan spesimen yang simple dan mudah, kapabilitas tampilan yang bagus serta fleksibel. Sem digunakan pada sampel yang

tebal dan memungkinkan untuk analisis permukaan. Pancaran berkas yang jatuh pada sampel akan dipantulkan dan didifraksikan. Adanya elektron yang terdifraksi dapat diamati dalam bentuk pola – pola difraksi. Pola – pola difraksi yang tampak sangat bergantung pada bentuk dan ukuran sel satuan dari sampel. Sem juga dapat digunakan untuk menyimpulkan data – data kristalografi, sehingga hal ini dapat dikembangkan untuk menentukan elemen atau senyawa.



Gambar 2.32 *Vickers Hardness Tester*

Sumber : repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/34572/3/Chapter%20II.pdf

Prinsip kerja SEM dapat dilihat pada Gambar 2.32 Dua sinar electron digunakan secara simultan. Satu strike specimen digunakan untuk menguji dan strike yang lain adalah CRT (Cathode Ray Tube) member tampilan yang dapat dilihat oleh operator. Akibat tumbukan pada specimen dapat dihasilkan satu jenis elektron dan emisi foton. Sinyal yang terpilih dikoleksi, dideteksi dan dikuatkan untuk memodulasi tingkat keterangan dari sinar electron yang kedua, maka sejumlah besar sinar akan menghasilkan bintang gelap. SEM menggunakan prinsip scanning, maksudnya berkas electron diarahkan dari titik ke titik pada objek. Gerakan berkas electron dari satu titik ke titik yang lain pada suatu daerah objek menyerupai gerakan membaca. Gerakan membaca ini disebut dengan scanning.

Energi-dispersif spektroskopi sinar-X (EDS atau EDX) adalah sebuah teknik analisis yang digunakan untuk elemen analisis atau karakterisasi kimia sampel. Ini adalah salah satu varian dari fluoresensi sinar-X spektroskopi yang bergantung

padapenyelidikan sampel melalui interaksi antara radiasi elektromagnetik dan materi, menganalisis sinar-X yang dipancarkan oleh materi dalam menanggapi pukulan dengan partikel bermuatan. Kemampuan karakterisasi karena sebagian besar prinsip dasar bahwa setiap elemen memiliki unit struktur atom yang memungkinkan sinar-X yang merupakan ciri khas dari struktur atom suatu unsure untuk didefinisikan secara unik dari satu sama lain. Untuk merangsang emisi sinar-X karakterisasi dari spesimen, sinar energi tinggi partikel bermuatan seperti elektron atau proton, atau sinar α , difokuskan ke dalam sampel yang sedang dipelajari. Pada saat istirahat, atom dalam sampel mengandung keadaan dasar (atau tereksitasi) elektron ditingkat energi diskrit atau kulit elektron terikat inti. Balok insiden dapat meningkatkan sebuah elektron dalam shell batin, mengeluarkannya dari shell sementara menciptakan lubang elektron dimana elektron itu. Elektron dari luar, energi yang lebih tinggi shell kemudian mengisi lubang, dan perbedaan energi antara energi yang lebih tinggi shell dan shell energi yang lebih rendah mungkin akan dirilis dalam bentuk sinar α . Jumlah dan energi dari sinar α dipancarkan dari spesimen dapat diukur oleh spektrometer energi disperse. Sebagai energi dari sinar α karakteristik dari perbedaan energi antara dua cangkang, dan struktur atom unsure dari mana mereka dipancarkan, ini memungkinkan komposisi unsur dari spesimen yang akan diukur.

2.13 Hipotesa

Camshaft adalah komponen yang harus mampu bekerja pada temperature dan gesekan yang tinggi, sehingga material yang dipakai diduga material yang tahan terhadap gesekan dan temperature tinggi.

Dikarenakan harus tahan gesekan maka kekerasan material *camshaft* diduga berkisar antara 60 HR_A s/d $75,5 \text{ HR}_A$

Dengan tingkat kekerasan dalam range itu, maka mikro struktur pada produk *camshaft* motor bakar 6 tak ini diduga mempunyai mikro struktur martensit.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode (*true experimental research*) experimental nyata dan secara langsung pada objek yang dituju bertujuan untuk mengetahui kondisi kekerasan, mikro struktur, dan jenis material yang terdapat pada produk *camshaft* pada motor bakar 6 langkah. Disamping itu juga dilakukan pengkajian terhadap dasar teori yang ada dari sumber literatur buku dan jurnal.

3.2 Variabel Penelitian

Terdapat tiga variabel dalam penelitian ini, yaitu variable bebas, variable terikat, dan variable terkontrol.

3.2.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi terjadinya sesuatu atau variabel penyebab. Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu :

- Layer kedalaman potong : 0 mm, 1 mm, dan 2 mm
- Titik Pengujian kekerasan : Ramp Awal Pembukaan, Puncak Lobe, Ramp akhir menutupnya katup, base circle

3.2.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas, adapun variabel terikat dalam penelitian ini yaitu tingkat kekerasan, dan jenis struktur mikro dan komposisi material dari *camshaft*.

3.2.3 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dijaga konstan selama penelitian. Variabel yang dijaga konstan selama penelitian ini adalah putaran batu gerinda 1400 rpm. Selain itu juga tingkat kekerasan dari batu gerinda dijaga agar konstan.

3.3 Spesifikasi Alat dan Bahan Penelitian

Secara garis besar peralatan penelitian yang harus dipersiapkan adalah, mesin gerinda, beserta perlengkapannya atau aksesorisnya (jig and fixture)

3.3.1 Peralatan Penelitian

a. Peralatan Pengukuran

Dial gauge 2109S-10 Indicator with magnetic stand mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

- Range : 50
- Range per rev. : 1 mm
- Measuring force : 0,4 – 3 N
- Graduation : 0,01 mm
- Scale : 0-100 (100-0)
- Inch – Metric : Metric



Gambar 3.1 *Dial gauge*

Sumber : [http://mitutoyo.incony.de/web/mitutoyo/en_GB/mitutoyo/1300892940906/3058S-19/\\$catalogue/mitutoyo Data/PR/ 3058S-19/index.xhtml](http://mitutoyo.incony.de/web/mitutoyo/en_GB/mitutoyo/1300892940906/3058S-19/$catalogue/mitutoyo%20Data/PR/3058S-19/index.xhtml)

b. Peralatan Penelitian

1) Batu Gerinda



Gambar 3.2 Batu Gerinda

Spesifikasinya sebagai berikut :

- Merk : Kinik
- Tipe : A46P-P7V6N
- Bahan : Al₂O₃ (Aluminium Oxide)
- Ukuran Serbuk Abrasif : 46 (medium)
- Kekerasan Batu Gerinda : K (Soft)
- Rasio Abrasive Batu Gerinda : 48%
- Bahan Pengikat : Vitrified
- Diameter Batu Gerinda : 125 mm
- Lebar Batu Gerinda : 13 mm
- Diameter Lubang Bushing Batu Gerinda : 12,7 mm

2) Motor

Motor ini digunakan untuk menggerakkan batu gerinda.



Gambar 3.3 Motor listrik

Spesifikasinya sebagai berikut :

- Daya : ¼ HP
- Daya Listrik : 190 Watt
- Voltase : 220 V AC
- Phase : 1
- Pole : 4
- Kecepatan : 1400 rpm

3) *Digital Micro Vickers Hardness Tester*

Spesifikasi alat :

- Merk : TH712
- D. indentor : 4,8 mm
- Berat beban : 0,098N, 0,245N, 0,48N, 0,78N, 1,96N, 2,94N, 4.503N
- Perbesaran : 100 kali, 400kali, 450kali
- *Power Supply* : 110V/220V, 60/50Hz



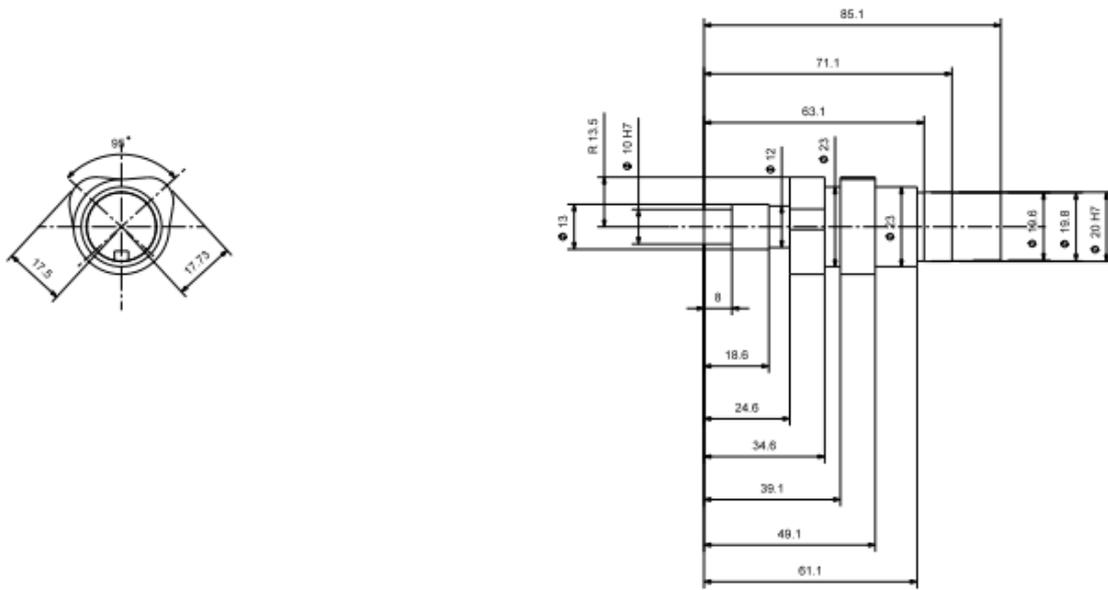
Gambar 3.3 *Digital Micro Vickers Hardness Tester*

Sumber: Laboratorium Pengujian Bahan Universitas Brawijaya (2016)

3.3.2 **Bahan Penelitian**

a. Benda kerja

Benda kerja yang digunakan adalah *Camshaft Honda New Blade 125 Fi* dengan spesifikasi sebagai berikut :



Gambar 3.4 Benda Kerja

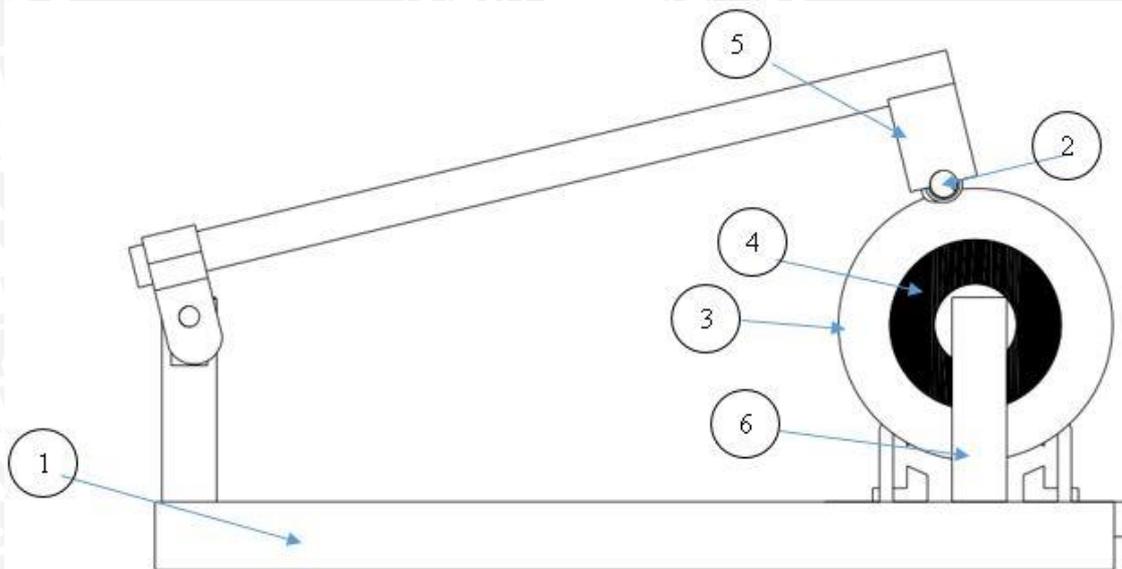
3.4 Tempat Penelitian dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan 1 November 2015 – 30 November 2015.

Tempat yang digunakan untuk penelitian yaitu:

- Laboratorium Proses Produksi, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang.
- Laboratorium Metalurgi Fisik Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.

3.5 Instalasi Penelitian



Gambar 3.5 Instalasi Penelitian

Keterangan :

- | | |
|-----------------|-----------------------|
| 1. Meja Gerinda | 4. Batu Gerinda |
| 2. Benda Kerja | 5. Pencekam cam |
| 3. Motor | 6. Pengatur pemakanan |

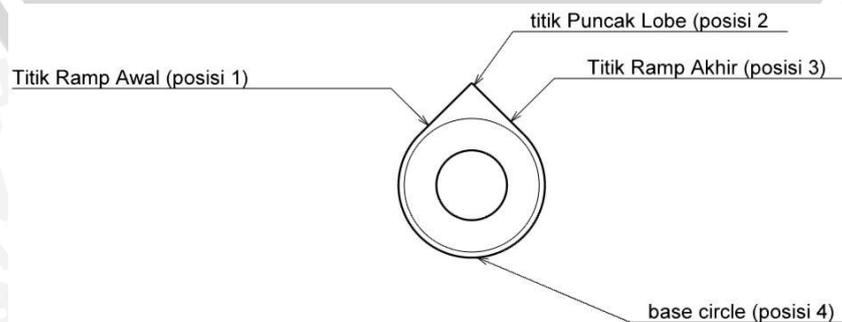
3.6 Langkah-Langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian adalah sebagai berikut:

- a. Siapkan peralatan pengukuran.
- b. Lakukan pengukuran *camshaft*
- c. Catat setiap informasi pengukuran yang diperlukan
- d. Siapkan alat gerinda
- e. Siapkan benda kerja yang telah diukur
- f. Pasang benda kerja pada pencekam yang tersedia pada gerinda
- g. Menyalakan motor gerinda
- h. Lakukan pemakanan sesuai dengan yang telah ditentukan
- i. Matikan motor
- j. Lakukan pengukuran
- k. Lakukan pengujian kekerasan pada benda kerja
- l. Catat hasil pengujian kekerasan

3.7 Proses Pengujian Kekerasan

Pengujian kekasaran permukaan dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Universitas Brawijaya, menggunakan Digital Micro Vickers Hardness Tester. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan dari spesimen dalam penelitian ini. Hasil dari spesimen-spesimen tersebut dibandingkan, untuk selanjutnya dianalisis lebih lanjut pengaruhnya terhadap kekuatan dan mampu bentuk.



Gambar 3.6 Titik Pengujian Kekerasan

Adapun langkah – langkah dari pengujian kekerasan adalah sebagai berikut :

- a. Kalibrasi alat penguji kekerasan
- b. Siapkan benda kerja yang akan di uji kekerasannya
- c. Letakkan benda kerja dalam pencekam
- d. Sesuaikan letak benda kerja dengan titik yang diinginkan
- e. Ukur kerataan menggunakan waterpass
- f. Pastikan benda kerja kokoh
- g. Lakukan pembebanan
- h. Catat hasil pengujian nilai kekerasan
- i. Ulangi langkah tersebut samapai semua data tercatat

3.8 Proses Pengujian Komposisi

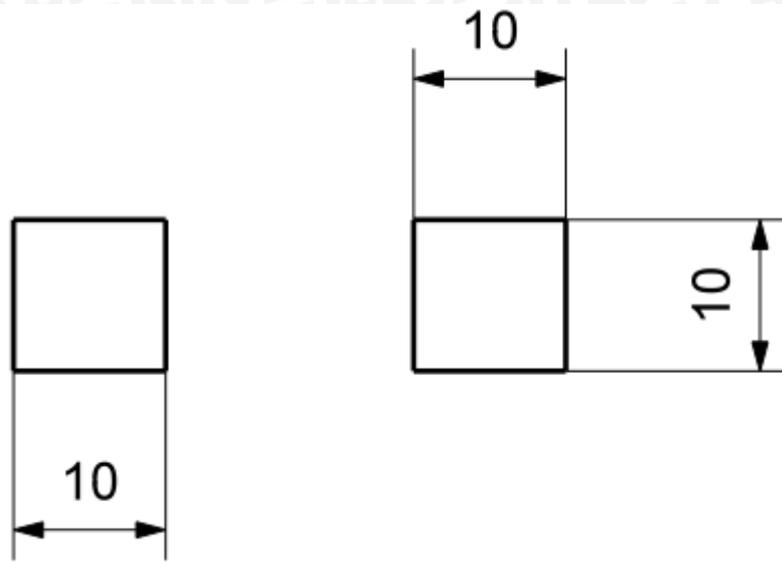
Pengujian komposisi dilakukan di Laboratorium Laboratorium Sentral Mineral & Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang, menggunakan SAM-EDX. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui komposisi pembentuk unsur dari spesimen dalam penelitian ini.

SEM (Scanning Electron Microscopy) adalah peralatan untuk menguji/melihat struktur permukaan sampel dengan perbesaran sampai dengan 1.000.000 x. Peralatan ini memiliki 2 modus operasional, Low Vacum (untuk sampel non-konduktif) dan High Vacum (untuk sampel konduktif). Alat ini dilengkapi EDAX yaitu alat yang dapat digunakan untuk menguji kandungan unsur pada bahan yang dilihat struktur permukaannya. Kandungan unsur yang dapat diuji mulai dari Berilium s/d Uranium. Sebaran unsur didalam bahan juga dapat dideteksi berupa Surface area, line dan mapping.

Adapun langkah – langkah dari pengujian kekerasan adalah sebagai berikut :

- a. Potong benda kerja sesuai dengan spesimen yang di kehendaki dalam mesin SAM-EDX
- b. Kalibrasi alat SEM-EDX
- c. Letakkan spesimen pada preparat pengujian
- d. Lakukan pengujian SEM dan EDX
- e. Simpan hasil pengujian

Bentuk spesimen dari SAM EDX seperti pada gambar 3.9. Spesimen diperoleh dengan memotong bagian dari *camshaft* sehingga terbentuk bagian seperti pada gambar 3.9.



Gambar 3.7 Spesimen SEM-EDX

3.9 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian digunakan untuk mencari karakteristik dari *camshaft* mengenai kekerasan, struktur mikro, dan komposisi kimia.

3.10 Metode Pengambilan Data

3.10.1 Analisa Data

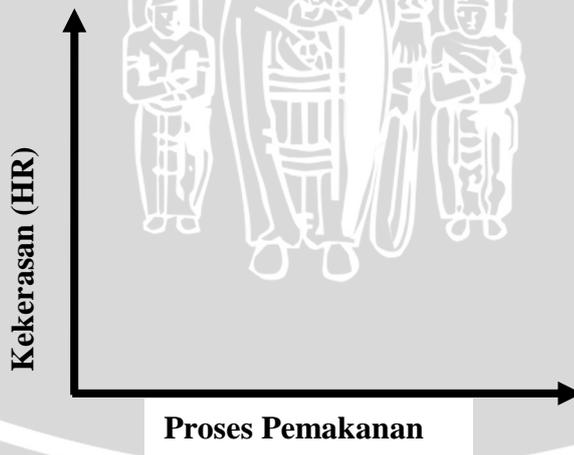
Pengujian ini meliputi uji kekerasan pada *camshaft* motor bakar 6 langkah. Data yang didapat akan dicatat dan diolah kemudian dimasukkan kedalam Tabel Data Hasil Kekerasan dibawah ini.

Tabel 3.2 Rancangan Data Pengujian kekerasan.

Titik Pengujian	Cam	Sebelum Proses Pemakann			Seteleah Proses Pemakanan					
		1	2							
Lobe tertnggi	In									
	Out									
Ramp awal	In									
	Out									
Ramp akhir	In									
	Out									

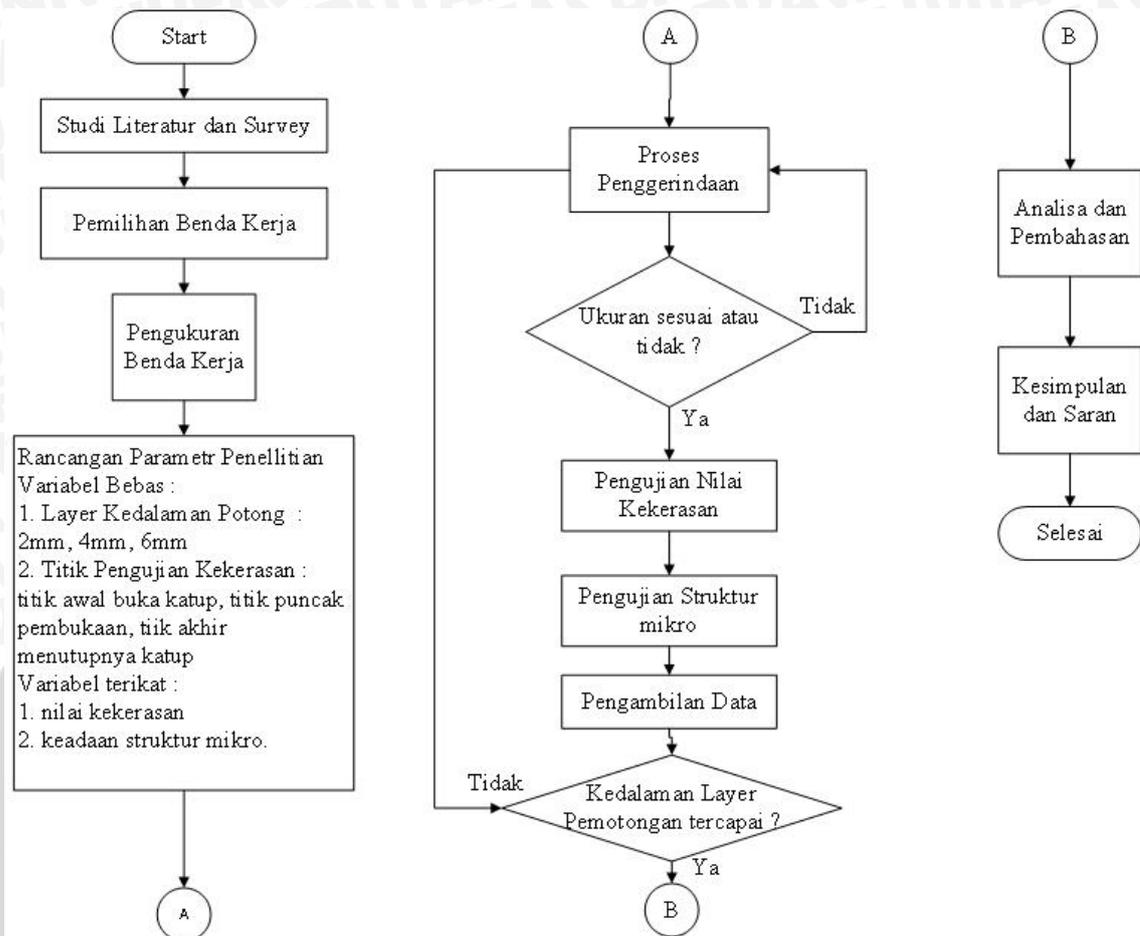
3.10.2 Analisa Grafik

Analisis grafik dilakukan dengan menggunakan bantuan software microsoft excel. Analisis grafik dilakukan dengan pengamatan perubahan *trend* data pada grafik yang diperoleh dari plotting data.



Gambar 3.8 Rancangan Grafik Hubungan Antara Kekerasan rata-rata dan kedalaman proses pemakanan.

3.11 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.9 Diagram Alir Penelitian



BAB IV

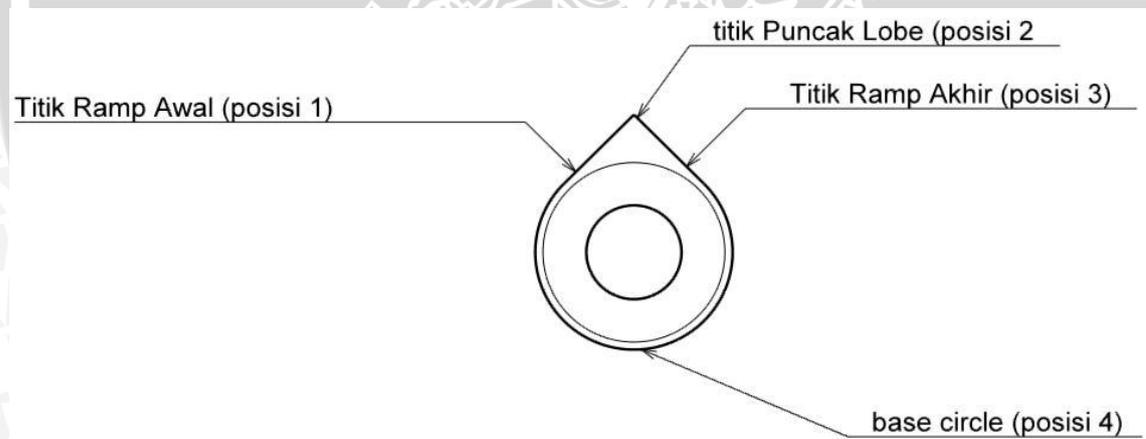
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Dalam Penelitian ini terdapat 3 macam data yang idambil, yaitu data kekerasan, data pengujian foto mikrostruktur, dan data pengujian komposisi. Berikut data yang telkah dihimpun.

4.1.1 Data Kekerasan Chamshaft

Dalam penelitian ini, dilakukan pengambilan data kekerasan dari *camshaft* layer sebelum dipotong (0 mm), layer 1 mm dan layer 2 mm. Layer yang dimaksud adalah *camshaft* dipotong dengan geometri sama dengan perbedaan ukuran penampang berkurang 1mm dan 2mm. Pengambilan data kekerasan ini menggunakan alat ukur *digital micro vickers hardness tester*. Pengambilan nilai kekerasan dilakukan pada 4 titik seperti gambar Nilai kekerasan permukaan yang didapat adalah kekerasan rata – rata.



Gambar 4.1 Titik pengambilan nilai kekerasan

Tabel 4.1 Data nilai kekerasan *chamshaft*

Layer	Katup	Nilai Kekerasan			
		Posisi			
		1	2	3	4
0 mm	in	681.2	497.2	513.7	487.7
		601.2	556.8	564.5	520.5
		572.4	490.9	553	510.3
	out	724.4	500.5	527.5	478.5
		691.6	457.9	510.3	430.7
		585.5	444	503.7	412.1
1 mm	in	376.3	279.7	360.4	332.5
		358.7	313.8	351	328.2
		349	335.8	343.1	321.9
	out	381.6	309	385.4	334
		394.3	301.2	343.1	322
		396.6	322	320.3	320.3
2 mm	in	310.2	229.3	318.7	244.9
		295.3	219.6	317	228.4
		285.4	229.1	269.7	241.9
	out	271.1	242.8	255.7	246.2
		266.7	220.2	258.2	285
		256.3	228.9	248.2	233.3

Tabel 4.2 Data nilai rata – rata kekerasan *chamshaft*

Layer	Katup	Nilai Kekerasan Rata - Rata				Nilai Kekerasan Rata - Rata (HVN)	Nilai Kekerasan Rata - Rata (HRA)
		Posisi					
		1	2	3	4		
0 mm	in	618.27	514.97	543.73	506.17	545.78	76.9
	out	667.17	467.47	513.83	440.43	522.23	76.2
1 mm	in	361.33	309.77	351.50	327.53	337.53	67.4
	out	390.83	310.73	349.60	325.43	344.15	67.8
2 mm	in	296.97	226.00	258.47	238.40	254.96	62
	out	254.70	230.63	290.70	254.83	251.05	61.7

4.1.2 Data Hasil Pengujian Foto Mikrostruktur

Data dari mikrostruktur ini diambil juga dengan memanfaatkan layer sama halnya pada pengujian kekerasan. Berikut data yang berhasil diambil dengan perbesaran 400x.



Gambar 4.1 Foto Uji Mikro layer sebelum; (a) Cam Out; (b) Cam In



Gambar 4.2 Foto Uji Mikro layer 1mm; (a) Cam Out; (b) Cam In



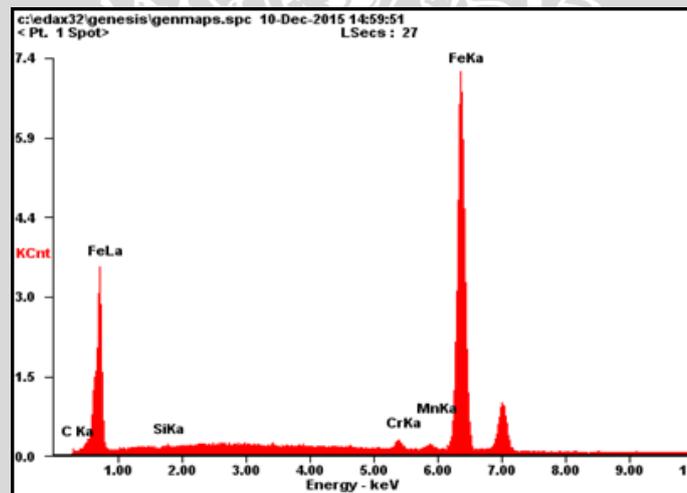
Gambar 4.3 Foto Uji Mikro layer 2mm; (a) Cam Out; (b) Cam In

Tabel 4.2 Data Persentase hitam *chamshaft*

Layer	Katup	PersentaseHitam
0 mm	in	53,67%
	out	51,3%
1 mm	in	50,4%
	out	50,2%
2 mm	in	45,7%
	out	46,4%

4.1.3 Data Hasil Pengujian Komposisi

Data hasil pengujian komposisi SAM-EDX diambil memanfaatkan alat yang berada di lab Fisika di Universitas Malang. Untuk hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut.



Gambar 4.4 Grafik Pengujian Komposisi

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Komposisi

Element	At%	Wt%
CK	02.92	03.39
SiK	01.89	02.14
CrK	01.22	01.25
MnK	01.04	01.01
FeK	92.93	92.21
Matrix	Correction	ZAF

4.2 Pengolahan Data

4.2.1 Contoh Perhitungan Kekerasan Mikrovikers dan Konversi Satuan *Vickers* kedalam Satuan *Rockwell*

Dari data tabel hasil pengujian di atas didapatkan perhitungan 4.1:

$$VHN = \frac{1,854.P}{D^2} \quad (4.1)$$

Keterangan :

VHN : Angka kekerasan Vickers (kg/mm²)

P : Beban yang diberikan (kg)

D : Diameter bekas indentasi (mm)

$$VHN = \frac{1,854.200}{1,104^2}$$

$$VHN = 257$$

Setelah menghitung dan mengetahui nilai kekerasan dari masing-masing indentasi pada material kemudian di hitung kembali dengan menggunakan rumus mencari rata-rata dan mendapatkan hasil nilai kekerasan rata-rata.

Setelah diketahui nilai kekerasan, perlu dilakukannya konversi kekerasan dari satuan vickers kedalam satuan Rockwell. Untuk mengkonversi, dilakukan dengan melihat tabel dan juga interpolasi. Contoh perhitungannya sebagai berikut.

$$\frac{x_1 - x_2}{y_1 - y_2} = \frac{x - x_2}{y - y_2} \quad (4.2)$$

Keterangan :

X₁ : Nilai di atas dari yang akan dicari pada tabel

Y₁ : hasil dari nilai atas yang dicari pada tabel

X₂ : Nilai di bawah dari yang akan dicari pada tabel

Y₂ : hasil dari nilai bawah yang dicari pada tabel

X : Nilai yang dicari interpolasi

Y : Nilai hasil interpolasi yang dicari

Dari rumus interpolasi diatas maka dapat dikonversikan nilai vikers kedalam satuan Rockwell A dengan melihat tabel konversi nilai kekerasan seperti contoh perhitungan :

$$\frac{x_1 - x_2}{y_1 - y_2} = \frac{x - x_2}{y - y_2}$$

$$\frac{260 - 255}{62,4 - 62} = \frac{257,72 - 255}{y - 62}$$

$$\frac{5}{0,4} = \frac{2,72}{x - 62}$$

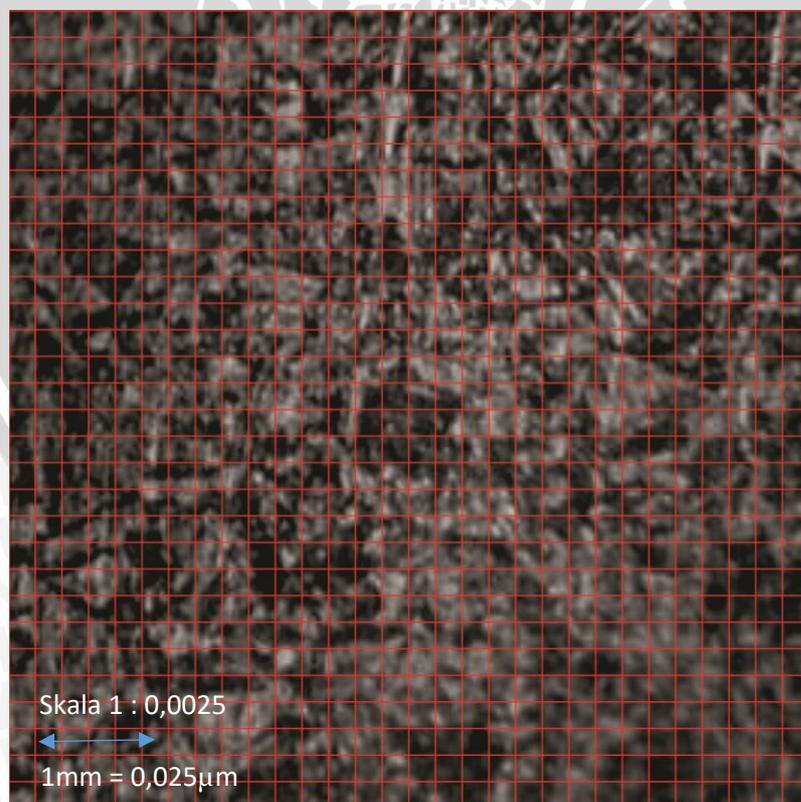
$$12,5x = \frac{777,72}{12,5}$$

$$x = 62,2176$$

Maka konversi kekerasan 257,72HVN kedalam Rockwell adalah 62,21HRA

4.2.2 Contoh Perhitungan Presentase Hitam pada Hasil Foto Mikro

Untuk menghitung presentase warna hitam pada hasil foto mikro digunakan tabel atau pembagian sehingga menjadi seperti contoh berikut :



Gambar 4.5 perhitungan persentase hitam dan putih

Setelah itu presentase dapat dihitung dengan menggunakan rumus 4.2.

$$\% \text{ hitam} = \frac{\text{Jumlah kotak hitam}}{\text{jumlah seluruh kotak}} \times 100\% \quad (4.3)$$

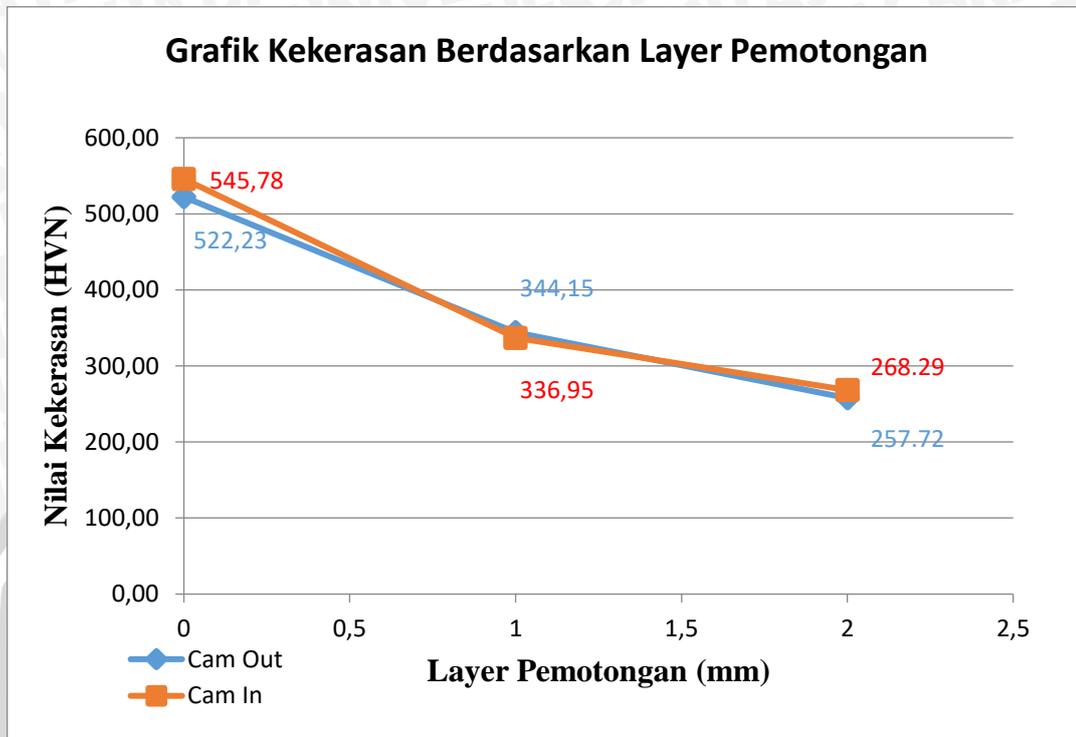
$$\% \text{ hitam} = \frac{483}{900} \times 100\%$$

$$\% \text{ hitam} = 53,67\%$$



4.3 Pembahasan

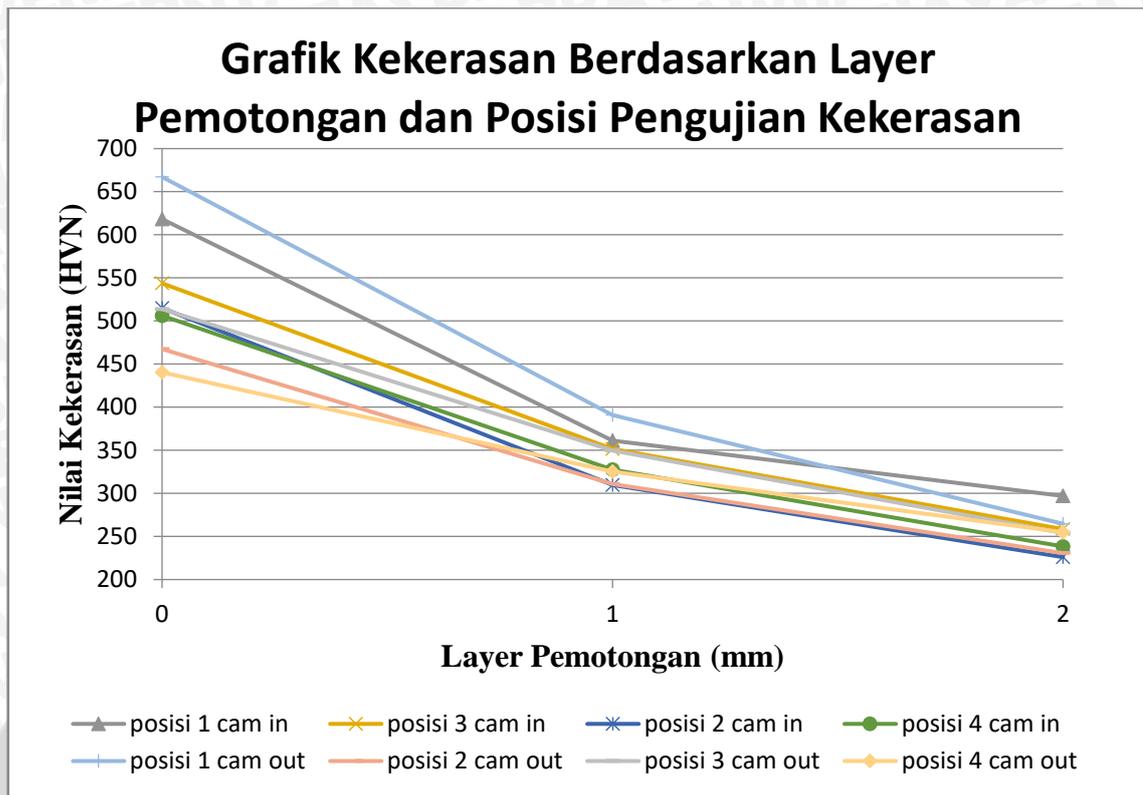
4.3.1 Tingkat Kekerasan Pada *Camshaft*



Gambar 4.6 Grafik Kekerasan Rata-Rata Berdasarkan Layer Pemotongan

Grafik diatas menunjukkan nilai kekerasan pada *camshaft* berdasarkan layer pemotongan. Dari grafik diatas memiliki kecenderungan menurun, nilai tertinggi yang dicapai terdapat pada layer 0 mm dengan nilai 545.78 HVN pada cam in dan 522,23 HVN out. Nilai terendah didapat pada layer 2 mm dengan nilai 268,29 HVN pada cam in dan 257,72 HVN pada cam out. Pada layer 0 mm mempunyai kekerasan yang paling tinggi dan menurun seiring bertambahnya layer setelahnya. Hal ini membuktikan bahwa *camshaft* tersebut dikenai perlakuan *surface hardening*, yang menyebabkan nilai kekerasannya akan tinggi pada permukaan *camshaft* saja.

Jadi dapat disimpulkan semakin banyaknya layer yang di tambahkan maka nilai kekerasannya akan semakin menurun. Namun lapisan *surface hardening* yang dikenakan pada *camshaft* tebalnya tidak lebih dari 1mm, hal ini dibuktikan dengan nilai yang menurun sangat jauh pda layer 0 mm dengan layer 1 mm. Menurut Supriyanto, et al (2011) kekerasan rata – rata yang dibutuhkan pada *camshaft* berkisar antara 60 HRA – 75,5 HRA. Dari pernyataan tersebut maka *camshaft* ini memenuhi standar untuk digunakan sebagai *camshaft*.

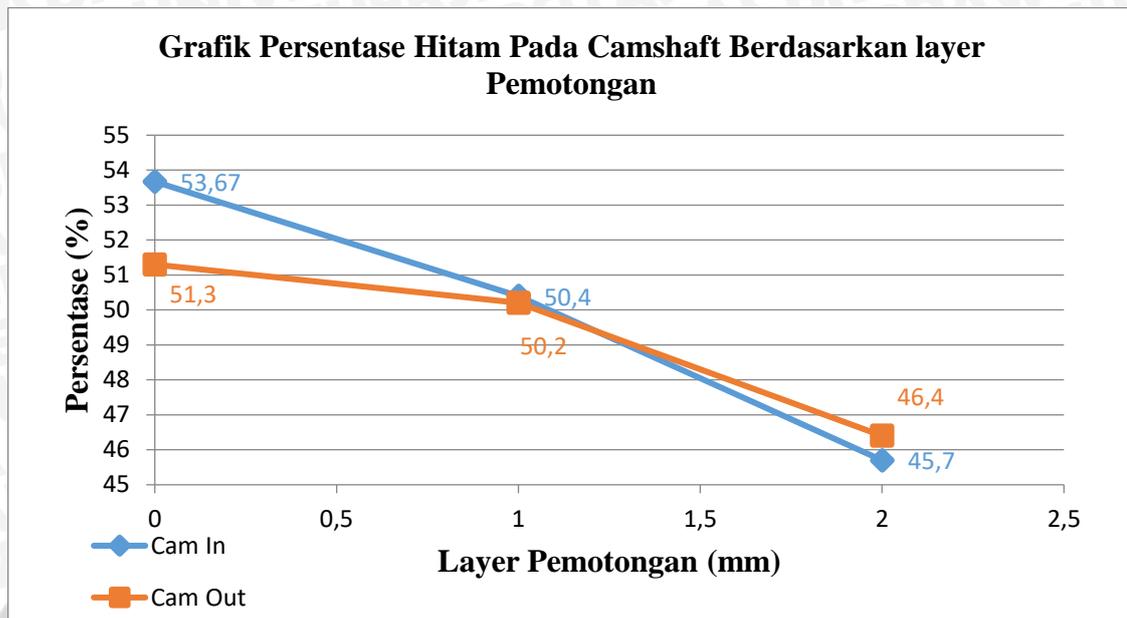


Gambar 4.7 Grafik Kekerasan Rata-Rata Berdasarkan Layer Pemotongan dan posisi pengujian kekerasan

Grafik di atas menunjukkan nilai kekerasan pada *camshaft* berdasarkan layer pemotongan dengan nilai kekerasan berdasarkan posisi titik pengujian kekerasan. Dari grafik di atas memiliki kecenderungan menurun, nilai tertinggi pada layer 0 mm pada grafik diperoleh pada posisi 1 cam out dengan nilai rata-rata kekerasan 667,17 HVN. Sedangkan nilai terendah pada layer 0 mm terdapat pada posisi 4 cam out dengan nilai 440,43 HVN. Nilai tertinggi pada layer 1 mm pada grafik diperoleh pada posisi 1 cam out dengan nilai rata-rata kekerasan 390,83 HVN. Sedangkan nilai terendah pada layer 0 mm terdapat pada posisi 2 cam in dengan nilai 309,77 HVN. Nilai tertinggi pada layer 2 mm pada grafik diperoleh pada posisi 1 cam in dengan nilai rata-rata kekerasan 296,97 HVN. Sedangkan nilai terendah pada layer 0 mm terdapat pada posisi 2 cam out dengan nilai 226 HVN.

Dari grafik di atas dapat disimpulkan bahwa nilai kekerasan tertinggi terdapat pada posisi 1 cam in dan posisi 1 cam out pada setiap layer. Hal ini dikarenakan fungsi dari posisi 1 atau disebut juga ramp awal yaitu mengangkat atau membuka katup dari posisi awal menutup, sehingga terdapat tekanan yang besar untuk mengangkat katup dari posisi awal yang ditahan dengan pegas.

4.3.2 Keadaan struktur mikro pada *Camshaft*

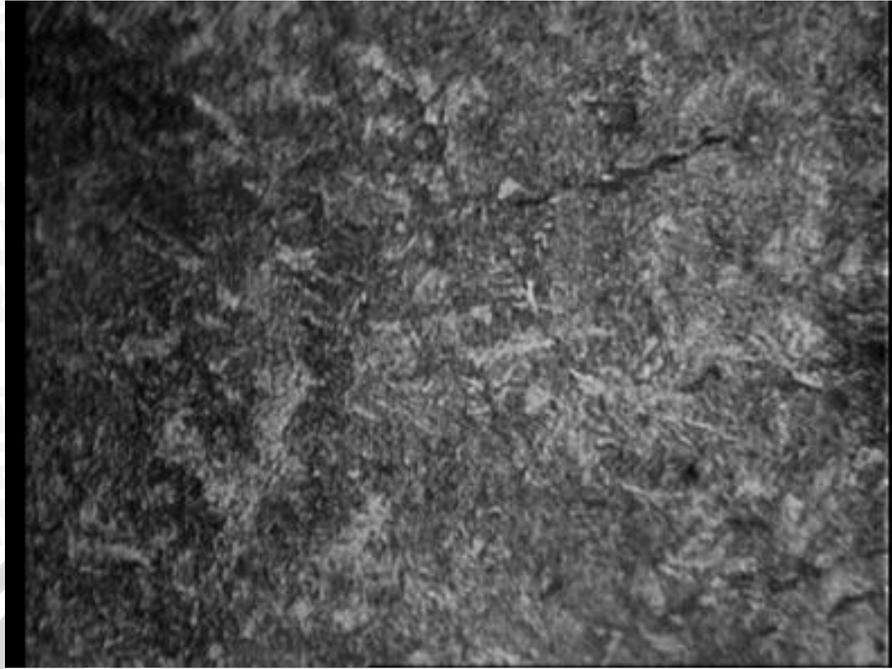


Gambar 4.8 Grafik persentase hitam pada *camshaft* berdasarkan layer pemotongan

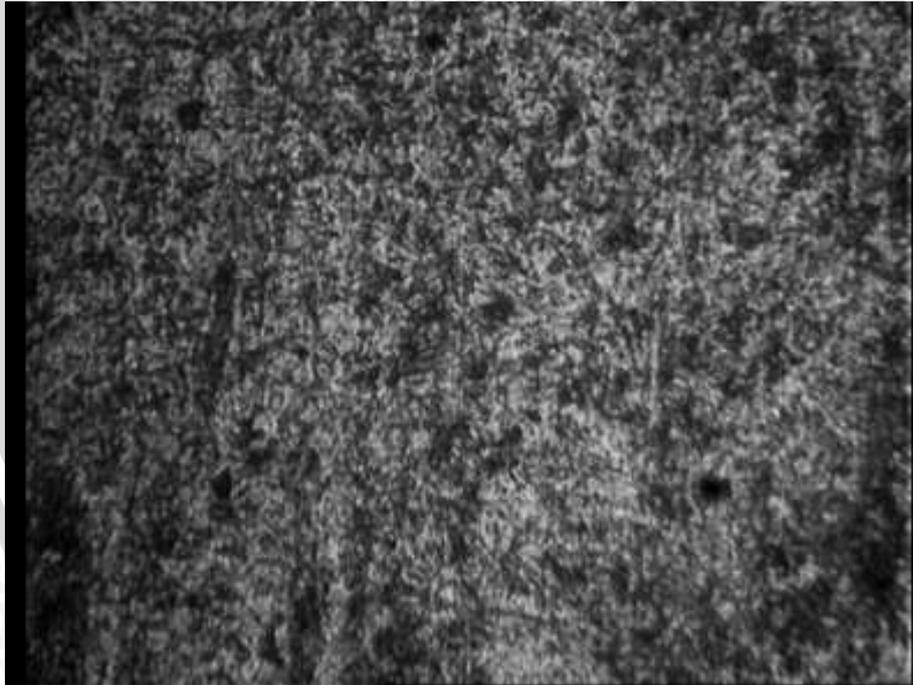
Grafik di atas menunjukkan persentase hitam (*martensite*) pada *camshaft* berdasarkan layer pemotongan. Dari grafik di atas memiliki kecenderungan menurun, nilai tertinggi yang dicapai terdapat pada layer 0mm dengan nilai 53,67% pada cam in dan 51,3% pada cam out. Sedangkan nilai terendah terdapat pada layer 2mm dengan nilai 45,7% pada cam in dan 46,4% pada cam out. Dari grafik di atas menunjukkan bahwa persentase hitam paling tinggi terdapat pada layer terluar atau layer 0mm. hal ini menunjukkan bahwa *camshaft* dikenai perlakuan *surface hardening* dengan banyaknya persentase hitam (*martensite*) yang menyebabkan kekerasannya akan bernilai tinggi seperti pada halnya ditunjukkan gambar 4.6.

Jadi semakin banyak layer yang ditambahkan maka nilai persentase hitam (*martensite*) akan semakin menurun. Nilai martensit yang menurun akan menyebabkan benda mempunyai sifat ulet yang akan menjadikan bahan tidak mudah retak. Sedangkan *camshaft* digunakan pada keadaan beban dan kecepatan yang tinggi sehingga sifat ulet ini dibutuhkan untuk ketahanan yang lama.

Pada gambar 4.7 hingga 4.12 dapat dilihat bahwa *camshaft* mempunyai struktur martensit.



Gambar 4.9 Foto Uji Mikro layer sebelum Cam Out



Gambar 4.10 Foto Uji Mikro layer sebelum Cam in





Gambar 4.11 Foto Uji Mikro layer 1mm Cam out



Gambar 4.12 Foto Uji Mikro layer 1mm Cam in



Gambar 4.13 Foto Uji Mikro layer 2mm Cam out



Gambar 4.14 Foto Uji Mikro layer 2mm Cam in



4.3.3 Komposisi Material yang digunakan pada camshaft

Dalam tabel 4.3 telah ditunjukkan dari nilai komposisi yang terkandung dalam material *camshaft* motor bakar 6 tak. Berdasarkan hasil pengujian komposisi yang telah dilakukan terdapat beberapa unsur yang terkandung dalam *camshaft* motor bakar 6 tak ini, diantaranya yaitu Carbon (C), Silicon (Si), Chromium (Cr), Mangan (Mn), dan Iron (Fe).

Unsur carbon (C) yang terkandung dalam *camshaft* yaitu 3,39% dapat diklarifikasikan bahwa *camshaft* ini termasuk dalam besi tuang dengan carbon yang bernilai lebih dari 2%. Dalam *camshaft* ini juga terkandung unsur silicon (Si) sebesar 2,14%. Unsur silicon dalam besi tuang dapat meningkatkan kekuatan dari ferit dan sebagai elemen deoksidasi. Dengan demikian dapat menaikkan kekuatan besi tanpa mengakibatkan penurunan terhadap keuletan (berfungsi sebagai penyetabil sementit). Selain itu unsur chromium (Cr) sebesar 1,25% menjadikan besi cor tersebut mempunyai kekuatan tarik yang lebih baik dikarenakan memberikan struktur grafit dan struktur perlit yang halus, selain itu unsur chromium juga mendapatkan agar besi cor tahan panas.

Kemudian Unsur mangan (Mn) sebesar 1,01% berfungsi sebagai deoksidasi dari besi selain itu berfungsi sebagai penyetabil sementit dan larut didalamnya. Ia membuat butir-butir halus yang perlitis dan mencegah pengendapan ferit, dengan penambahan unsur mangan akan didapatkan struktur perlit dan grafit yang dapat menguletkan dan menguatkan besi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

- 1 Semakin banyaknya layer yang di tambahkan maka nilai kekerasannya akan semakin menurun. Namun lapisan *surface hardening* yang dikenakan pada *camshaft* tebalnya tidak lebih dari 1mm.
- 2 nilai kekerasan tertinggi terdapat pada posisi 1 cam in dan posisi 1 cam out pada setiap layer. Hal ini dikarenakan fungsi dari posisi 1 atau disebut juga ramp awal yaitu mengangkat atau membuka katup dari posisi awal menutup, sehingga terdapat tekanan yang besar untuk mengangkat katup dari posisi awal yang ditahan dengan pegas.
- 3 semakin banyak layer yang ditambahkan maka nilai persentase hitam (martensite) akan semakin menurun. Nilai *martensite* yang menurun akan menyebabkan benda mempunyai sifat ulet yang akan menjadikan bahan tidak mudah retak. Sedangkan *camshaft* digunakan pada keadaan beban dan kecepatan yang tinggi sehingga sifat ulet ini dibutuhkan untuk ketahanan yang lama.
- 4 Unsur carbon (C) yang terkandung dalam *camshaft* yaitu 3,39% dapat diklarifikasikan bahwa *camshaft* ini termasuk dalam besi tuang dengan carbon yang bernilai lebih dari 2%, unsur silicon (Si) sebesar 2,14% untuk meningkatkan kekuatan dari ferit dan sebagai elemen deoksidasi, unsur chromium (Cr) sebesar 1,25% menjadikan besi cor tersebut mempunyai kekuatan tarik yang lebih baik dikarenakan memberikan struktur grafit dan struktur perlit yang halus, selain itu unsur chromium juga mendapatkan agar besi cor tahan panas, Unsur mangan (Mn) sebesar 1,01% akan didapatkan struktur perlit dan grafit yang dapat menguletkan dan menguatkan besi.

5.2 Saran

- 1 Diperlukan penambahan variable layer pemotongan yang lebih jangkauannya agar dapat terlihat batas kekerasan yang diperlukan untuk kekerasan pada permukaan.
- 2 Dapat ditambahkan spesimen pada pengujian komposisi agar hasil yang didapat lebih akurat.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 *Camshaft* 6

Gambar 2.2 Bagian *Camshaft* 7

Gambar 2.3 Nok translasi 8

Gambar 2.4 Nok silindris 9

Gambar 2.5 Diagram Perpindahan 9

Gambar 2.6 Motor bakar 4 langkah 11

Gambar 2.7 Gambar diagram perpindahan nok motor bakar 4 langkah 12

Gambar 2.8 Profil nok motor bakar 4 langkah 13

Gambar 2.9 Motor bakar 6 langkah 13

Gambar 2.10 Gambar diagram perpindahan nok motor bakar 4 langkah 15

Gambar 2.11 Profil nok motor bakar 6 langkah 16

Gambar 2.12 Proses Gerinda 17

Gambar 2.13 Mesin Gerinda Datar Dengan Meja Bolak Balik 18

Gambar 2.14 Mesin Gerinda Datar Horisontal Dengan Gerak Meja Berputar 18

Gambar 2.15 Mesin Gerinda Datar Vertikal Dengan Gerak Meja Bolak-Balik 19

Gambar 2.16 Mesin Gerinda Datar Vertikal Dengan Gerak Meja Berputar 19

Gambar 2.17 Mesin Gerinda Silindris Luar 20

Gambar 2.18 Mesin Gerinda Silindris Dalam 21

Gambar 2.19 Mesin Gerinda Tangan 21

Gambar 2.20 Mesin Gerinda Silindris Universal 21

Gambar 2.21 Gerinda Duduk 22

Gambar 2.22 Mesin Gerinda Potong (*drop saw*) 23

Gambar 2.23 *Flat Wheels* 25

Gambar 2.24 *Cup Wheels* 25

Gambar 2.25 *Disk Grinding Wheels* 25

Gambar 2.26 *Shaped Grinding Wheels* 26

Gambar 2.27 *Cylindrical Grinding Wheels* 26

Gambar 2.28 *Saucer Grinding Wheels* 26

Gambar 2.29 *Diamond Grinding Wheels* 27

Gambar 2.30 Diagram Fasa Keseimbangan Karbon 30

Gambar 2.31 *Brinell Hardness Tester* 36



Gambar 2.32 <i>Rockwell Hardness Tester</i>	38
Gambar 2.33 <i>Vickers Hardness Tester</i>	39
Gambar 3.1 <i>Dial gauge</i>	44
Gambar 3.2 Batu Gerinda	44
Gambar 3.3 Motor listrik	45
Gambar 3.3 <i>Digital Micro Vickers Hardness Tester</i>	46
Gambar 3.4 Benda Kerja.....	47
Gambar 3.5 Instalasi Penelitian	47
Gambar 3.6 Titik Pengujian Kekerasan	47
Gambar 3.7 Spesimen SEM-EDX	49
Gambar 3.8 Rancangan Grafik Hubungan Antara Kekerasan rata-rata dan kedalaman proses pemakanan	50
Gambar 3.10 Diagram Alir Penelitian	51
Gambar 4.1 Titik pengambilan nilai kekerasan	53
Gambar 4.2 Foto Uji Mikro layer sebelum; (a) Cam Out; (b) Cam In	55
Gambar 4.3 Foto Uji Mikro layer 1mm; (a) Cam Out; (b) Cam In	55
Gambar 4.4 Foto Uji Mikro layer 2mm; (a) Cam Out; (b) Cam In	55
Gambar 4.5 Grafik Pengujian Komposisi.....	56
Gambar 4.6 perhitungan persentase hitam dan putih.....	58
Gambar 4.7 Grafik Kekerasan Rata-Rata Berdasarkan Layer Pemotongan	60
Gambar 4.8 Grafik Kekerasan Rata-Rata Berdasarkan Layer Pemotongan dan posisi pengujian kekerasan.....	61
Gambar 4.9 Grafik persentase hitam pada <i>camshaft</i> berdasarkan layer pemotongan	62
Gambar 4.10 Foto Uji Mikro layer sebelum Cam Out	63
Gambar 4.11 Foto Uji Mikro layer sebelum Cam In	63
Gambar 4.12 Foto Uji Mikro layer 1mm Cam Out	64
Gambar 4.13 Foto Uji Mikro layer 1mm Cam In	64
Gambar 4.14 Foto Uji Mikro layer 2mm Cam Out	65
Gambar 4.15 Foto Uji Mikro layer 2mm Cam In	65

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik berbagai pengujian kekerasan 28

Tabel 2.2 Perbedaan dari beberapa metode kekerasan 30

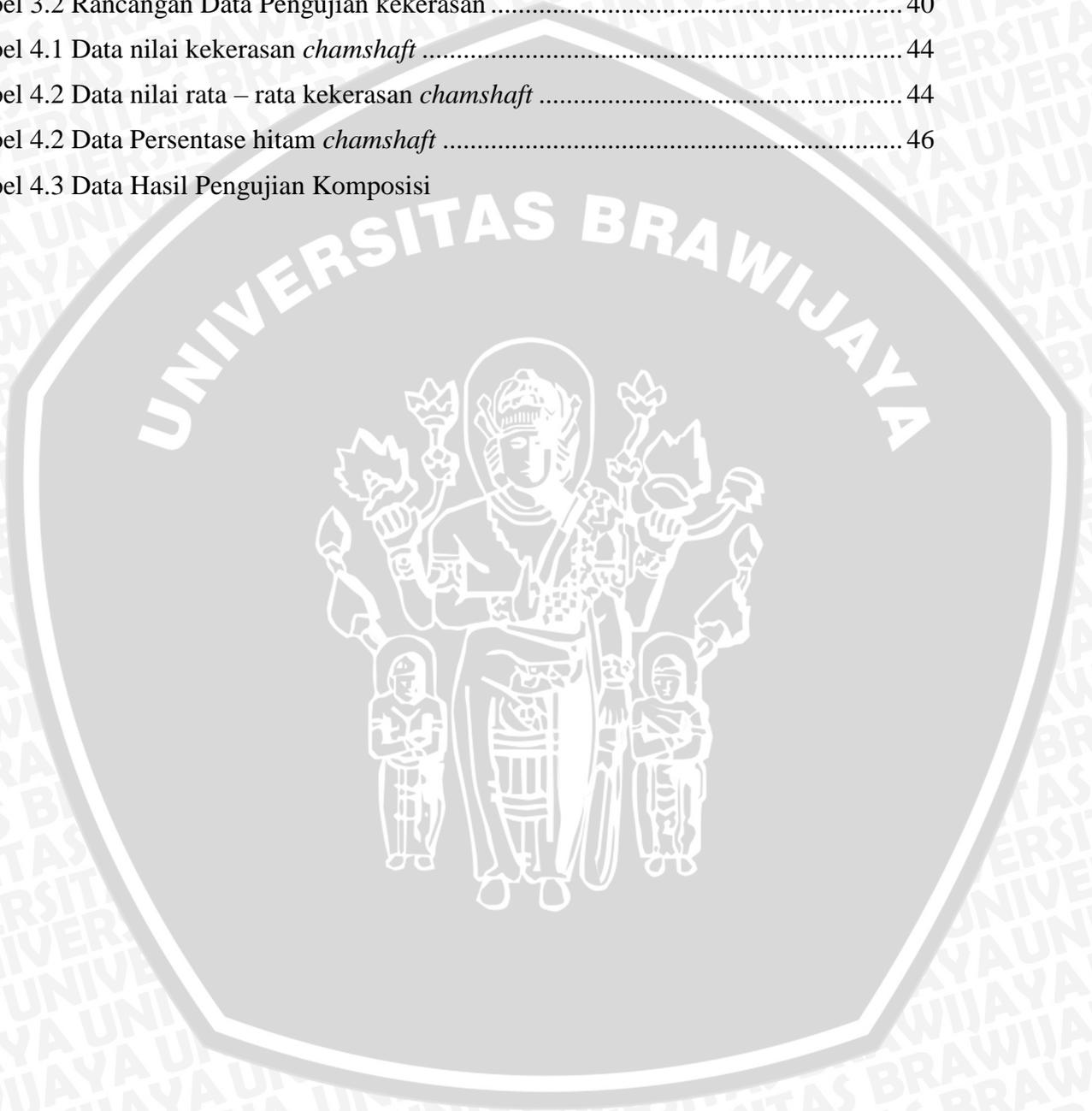
Tabel 3.2 Rancangan Data Pengujian kekerasan 40

Tabel 4.1 Data nilai kekerasan *chamshaft* 44

Tabel 4.2 Data nilai rata – rata kekerasan *chamshaft* 44

Tabel 4.2 Data Persentase hitam *chamshaft* 46

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Komposisi



RINGKASAN

Wisnu Setyo Nugroho, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juli 2016, *Investigasi Kekerasan, Struktur Mikro, Dan Komposisi Pada Produk Camshaft (Study Kasus Pada Motor Bakar 6 Tak)*, Dosen Pembimbing : Eko Siswanto dan Endi Sutikno

Pada motor bakar 6 langkah *camshaft* menjadi pembeda dengan motor 4 langkah yaitu sudut kerja dari *camshaft* terhadap langkah yang dikerjakan oleh torak. *Camshaft* yang digunakan pada saat ini menggunakan *camshaft* yang dimodifikasi dari produk yang terdapat pada pasaran dengan mengubah sudut kerja dan profil lainnya. Dalam penelitian ini tujuan yang diinginkan adalah untuk mengetahui spesifikasi dan komposisi material yang digunakan pada motor bakar 6 langkah tersebut. Variabel yang digunakan yaitu layer pemotongan 0 mm, 1 mm, dan 2 mm. Layer yang dimaksud adalah *camshaft* dipotong dengan geometri sama dengan perbedaan ukuran penampang berkurang 1mm dan 2mm.

Hasil penelitian ini didapatkan semakin banyaknya layer yang di tambahkan maka nilai kekerasannya akan semakin menurun. Namun lapisan *surface hardening* yang dikenakan pada *camshaft* tebalnya tidak lebih dari 1mm. Selain itu semakin banyak layer yang ditambahkan maka nilai persentase hitam (*martensite*) akan semakin menurun. Nilai *martensite* yang menurun akan menyebabkan benda mempunyai sifat ulet yang akan menjadikan bahan tidak mudah retak. Sedangkan *camshaft* digunakan pada keadaan beban dan kecepatan yang tinggi sehingga sifat ulet ini dibutuhkan untuk ketahanan yang lama.

Unsur carbon (C) yang terkandung dalam *camshaft* yaitu 3,39% dapat diklarifikasikan bahwa *camshaft* ini termasuk dalam besi tuang dengan carbon yang bernilai lebih dari 2%, unsur *silicon* (Si) sebesar 2,14% untuk meningkatkan kekuatan dari ferit dan sebagai elemen deoksidasi, unsur *chromium* (Cr) sebesar 1,25% menjadikan besi cor tersebut mempunyai kekuatan tarik yang lebih baik dikarenakan memberikan struktur grafit dan struktur perlit yang halus, selain itu unsur chromium juga mendapatkan agar besi cor tahan panas, Unsur mangan (Mn) sebesar 1,01% akan didapatkan struktur perlit dan grafit yang dapat menguletkan dan menguatkan besi.

Kata Kunci : *Camshaft*, Kekerasan, Struktur mikro, komposisi material, motor bakar 6 langkah.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini alat transportasi menjadi kebutuhan pokok yang akan menunjang segala aspek lainnya. Jarak menjadi halangan dalam melancarkan segala urusan. Salah satu produk alat transportasi yang paling sering digunakan adalah sepeda motor.

Menurut data dari AISI (Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia) pada tahun 2012 produksi sepeda motor di Indonesia mencapai angka 7.079.721 unit, pada 2013 mencapai 7.736.295 unit, dan pada 2014 mencapai 7.926.104 unit. Hal ini membuktikan bahwa tiap tahun di Indonesia kebutuhan alat transportasi khususnya sepeda motor mengalami kenaikan.

Dengan permintaan sepeda motor yang meningkat dari tiap tahunnya maka akan diikuti dengan kenaikan permintaan pada spare part sepeda motor tersebut. Hal ini merupakan peluang usaha yang menguntungkan bagi produsen spare part.

Eko Siswanto, et al (2014) mengembangkan teknologi motor bakar baru yakni motor bakar 6 langkah dengan basis penambahan durasi difusi massa campuran udara – bahan bakar dan durasi difusi termal dari dinding silinder ke campuran udara-bahan bakar. Pada umumnya yang banyak dipakai yaitu motor bakar 4 langkah, penambahan 2 langkah pada motor bakar 6 langkah ini maka akan terjadi banyak perubahan pada komponen part penyusun motor tersebut. Suplai bahan bakar motor bakar diatur oleh katup, sehingga tepat waktu pada saat dibutuhkan. Katup masuk ini diatur oleh *camshaft* sedemikian hingga dapat membuka maupun menutup sesuai dengan putaran *crankshaft*.

Camshaft merupakan part dari motor bakar yang berfungsi sebagai penggerak katup in dan katup out yang mengatur masuknya bahan bakar dan keluarnya gas sisa pembakaran. Camshaft ini mempunyai desain yang mempunyai presisi tinggi agar dapat bekerja sebagaimana tugasnya bekerja.

Motor bakar 6 langkah yang ada sekarang merupakan hasil dari modifikasi motor bakar 4 langkah. Perubahan pada waktu buka tutup katup, dan penyalan *ignition* menyebabkan perubahan geometri pada *camshaft* motor bakar 6 tak. Namun *camshaft* yang telah dipakai sekarang tidak mempunyai spesifikasi dan *material properties* yang lengkap. Sehingga akan menyulitkan pada proses produksi *camshaft* selanjutnya.

1.2 Identifikasi Masalah

Dari berbagai aspek yang telah dirangkum tersebut, diperoleh beberapa masalah. Terutama *material properties*, beberapa hal diantaranya yaitu belum adanya nilai kekerasan yang dipakai pada camshaft tersebut, belum adanya jenis material yang digunakan, dan struktur mikro dari *camshaft* pada motor bakar 6 langkah.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat dirumuskan sebuah permasalahan yaitu bagaimanakah kondisi kekerasan, mikro struktur, dan jenis material yang terdapat pada produk camshaft pada motor bakar 6 langkah?

1.4 Batasan Masalah

Agar pembahasan pada penulisan laporan ini tidak terlalu meluas maka materi yang dibatasi yaitu sebagai berikut :

- 1) Tidak membahas mengenai perpindahan panas proses permesinan.
- 2) Tidak membahas pengaruh bentuk camshaft terhadap kinerja motor bakar 6 tak.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilaksanakannya penelitian tentang camshaft ini yaitu :

- 1) Untuk mengetahui komposisi material yang di gunakan dalam pembuatan camshaft.
- 2) Untuk mengetahui tingkat kekerasan material setelah dilakukan modifikasi sudut camshaft.
- 3) Untuk mengetahui jenis struktur mikro setelah dilakukan modifikasi sudut camshaft.

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini mempunyai manfaat bagi mahasiswa, maupun bagi sektor industri.

Manfaat dari penelitian ini yaitu :

1. Bagi peneliti, mengetahui pengaruh dari kedalaman layer pemakanan terhadap nilai kekerasan dan kondisi struktur mikro dari camshaft pada motor bakar 6 langkah.

2. Bagi umum, sebagai referensi tambahan khususnya mahasiswa teknik mesin dalam penelitian-penelitian yang berhubungan dengan *camshaft*.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Mochammad Alan Robbina (Robbina, 2012) meneliti tentang perbandingan nilai kekerasan dan struktur mikro akibat variasi katalis pada proses carburizing baja S45C. Dari penelitian ini didapatkan bahwa penggunaan katalis barium karbonat memberikan peningkatan nilai kekerasan paling tinggi dibandingkan dengan penggunaan katalis kalium karbonat dan natrium karbonat. Untuk pengaruh variasi katalis terhadap struktur mikro yang terbentuk yaitu terjadi pertumbuhan kristal yang kasar menjadi halus pada setiap proses carburizing. Disamping itu pada kelompok carburizing penggunaan katalis barium karbonat dan natrium karbonat mengalami peningkatan struktur martensit yang merata pada lapisan baja dibandingkan dengan kelompok carburizing yang menggunakan katalis kalium karbonat.

I Gosa Bagus Yuniarta (Yuniarta, 2012) meneliti tentang pengaruh perubahan durasi dan LSA pada camshaft motor Jupiter Z 110cc. Dalam penelitian ini camshaft pada motor Jupiter Z 110cc dimodifikasi dengan beberapa variasi durasi dan LSA. Hasil yang didapatkan dari pengujian ini yaitu terjadi peningkatan torsi dan daya pada camshaft dengan perubahan durasi 233° dan LSA 107° hal ini disebabkan karena campuran bahan bakar dengan udara yang masuk dalam silinder terbakar sempurna dan pada saat langkah buang gas hasil pembakaran yang terdapat pada ruang bakar dapat dikeluarkan dengan sempurna sehingga ruang bakar dalam keadaan yang bersih dan siap untuk melakukan langkah selanjutnya.

Supriyanto, et al (2011) meneliti tentang tinjauan ketahanan aus hasil modifikasi noken as pada motor balap. Dalam penelitian ini didapatkan hasil bahwa kekerasan noken as standar mempunyai nilai 30% lebih tinggi dibandingkan dengan noken as modifikasi hal ini disebabkan oleh struktur mikro dari noken as standar lebih rapat daripada noken as modifikasi. Range kekerasan yang dibutuhkan untuk noken as berkisar antara $60 \text{ HR}_A - 75,5 \text{ HR}_A$.

2.2 Motor Bakar

Motor bakar (combustion engine) adalah salah satu jenis mesin konversi energi yang paling sering digunakan, baik di sektor rumah tangga maupun pada sektor industri. Contohnya sepeda motor, mobil, traktor, PLTU, dan lainnya.

Pada dasarnya motor bakar adalah mesin konversi energi yang mengubah energi kimia menjadi energi mekanik. Motor bakar dibagi menjadi dua berdasarkan jenis penyalannya yaitu motor bensin (otto) dan motor diesel.

Pada motor otto atau lebih dikenal dengan motor bensin dilengkapi dengan busi dan karburator. Busi digunakan sebagai pemantik, sehingga campuran bahan bakar dan udara pada ruang bakar dapat terbakar dan menghasilkan energi untuk menggerakkan torak.

Pada motor diesel, terbakarnya campuran bahan bakar dan udara terbakar dikarenakan kompresi yang tinggi sehingga suhu ikut naik. Dan pada saat suhu mencapai titik tertentu akan membuat campuran bahan bakar dan udara tersebut akhirnya terbakar dan menggerakkan piston.

Pada umumnya sepeda motor menggunakan prinsip kerja dari motor otto atau motor bensin. Hal ini dikarenakan konstruksinya yang lebih ringan daripada motor diesel, sedangkan sepeda motor mempunyai ruang yang kecil.

Komponen utama pada sepeda motor yaitu kepala silinder, blok silinder mesin, dan bak engkol mesin. Pada kepala silinder terdapat komponen utama yaitu camshaft, valve, dan rocker arm.

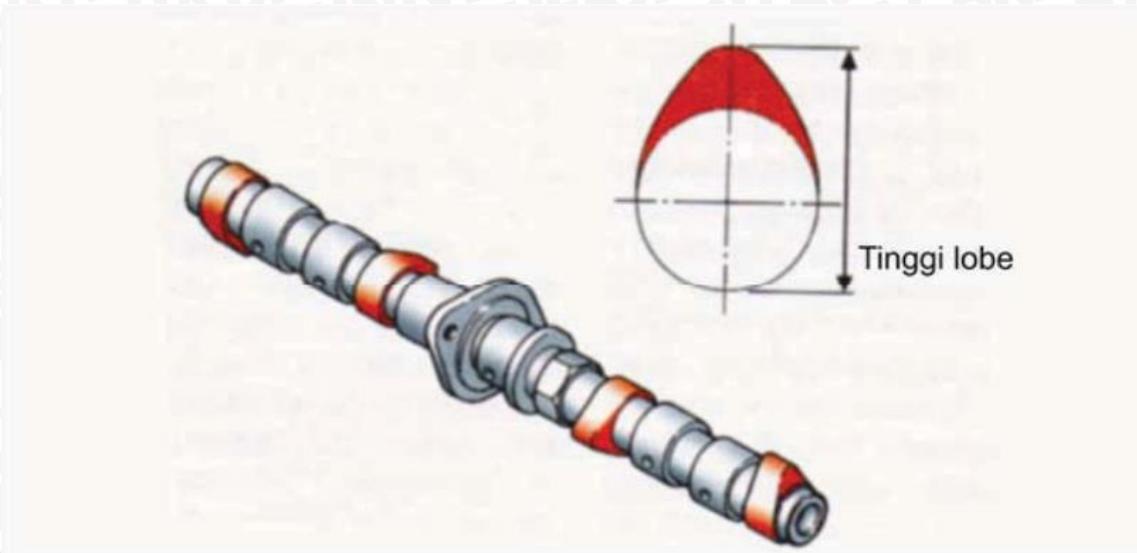
Valve atau katup berfungsi sebagai pintu untuk membuka dan menutup saluran masuk dan saluran keluar yang digerakkan oleh putaran camshaft. Terdapat 2 valve atau katup yang terdapat pada sepeda motor, yaitu katup intake dan katup exhaust. Katup intake sebagai jalur masuk dari campuran udara dan bahan bakar, sedangkan katup exhaust sebagai jalur keluar dari hasil sisa gas pembakaran ke muffler atau knalpot.

Sedangkan rocker arm atau disebut juga pelatuk klep berfungsi sebagai pengubah gerak rotasi dari camshaft menjadi gerak translasi. Sehingga valve atau katup dapat bergerak membuka dan menutup sesuai dengan putaran camshaft.

2.3 Camshaft (Poros Bubungan)

Camshaft adalah sebuah alat yang digunakan dalam mesin untuk menjalankan katup *intake* dan katup *exhaust*. Poros ini terdiri dari batangan silinder. Cam membuka katup dengan menekannya, atau dengan mekanisme bantuan lainnya, ketika mereka berputar. Hubungan antara perputaran camshaft dengan perputaran poros engkol sangat penting. Karena katup mengontrol aliran masukan bahan bakar dan pengeluarannya, mereka harus dibuka dan ditutup pada saat yang tepat selama langkah piston. Untuk alasan ini, camshaft dihubungkan dengan crankshaft secara langsung (melalui

mekanisme *gear*) atau secara tidak langsung melalui rantai yang disebut "rantai waktu". (Jama, 2008:55)



Gambar 2.1 Camshaft

Sumber : Jama, 2008:55

Dalam motor bakar 4 langkah SOHC (*single overhead camshaft*) terdapat dua katup yang digerakkan oleh camshaft. Dua katup tersebut merupakan katup intake dan katup exhaust. *Camshaft*nya menekan *lifter* setelah digerakkan *rocker arm* sampai katup bergerak buka tutup berulang. Buka tutup katup sesuai gerakan *crankshaft* yang memerintah piston. Katup intake sebagai jalan masuknya bahan bakar dari venturi. Dan katup exhaust adalah jalan keluarnya gas sisa pembakaran dari *chamber* (ruang bakar) ke saluran pembuangan. Tinggi lobe dari camshaft mempengaruhi seberapa besar dan seberapa lama kedua katup intake dan exhaust untuk terbuka.

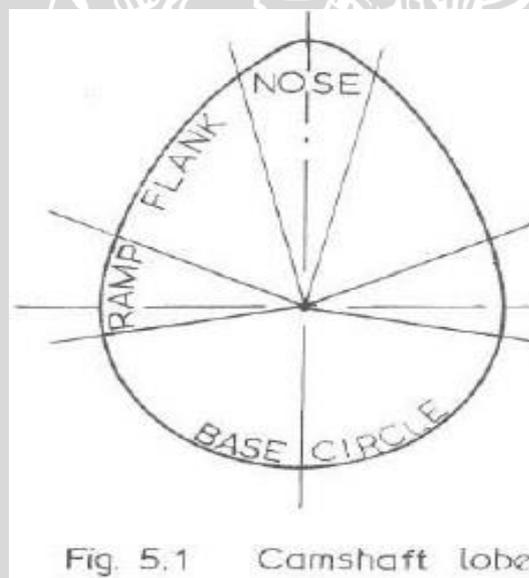
Durasi dari terbukanya katup akan mempengaruhi *efficiency volumetric* dari sebuah motor bakar. Semakin besar *efficiency volumetric* akan mempengaruhi juga pada kinerja motor bakar.

Hitungan debit aliran udara diasumsikan dengan kondisi katup hisap dan buang selalu dalam keadaan terbuka. Namun pada kondisi sesungguhnya, kapasitas debit udara yang dimiliki kepala silinder hanya didapat dari pengontrol katupnya. Katup hisap dan buang dapat dibuka dan ditutup oleh cam. Untuk memudahkan penjabarannya, kita asumsikan bahwa cam memiliki lama buka 360° untuk katup hisap dan buang. Kondisinya sangat ideal, katup hisap dan buang langsung terbuka penuh, tanpa adanya

overlapping. Realitinya, desain cam seperti ini tidak mungkin ada dan hanya memudahkan penjelasannya.

Cam 360° bermakna, katup hisap dan buang membuka dalam tenggang waktu setengahnya (Satu putaran penuh crankshaft). Dengan cam model begini, kondisi ideal debit udara bisa tercapai. Artinya, sekeliling cam akan langsung membuka maksimum pada awal langkah hisap. Maka mesin pasti mencapai efisiensi volumetric 100° . Sayangnya cam tidak bisa diproduksi tanpa adanya bukaan landai bertahap. Kedua katup membuka dan menutup secara perlahan-lahan. Hal itu menyebabkan debit aliran potensial udara pada awal membukanya katup hisap adalah nol. Kemudian secara bertahap, aliran udara ke dalam ruang bakar makin besar selaras dengan makin tingginya bukaan katup hisap. Untungnya, bukaan katup secara bertahap ini dibantu oleh kecepatan gerak piston. Katup hisap mulai membuka beberapa derajat sebelum titik mati atas.

Bentuk sederhana dari cam seperti gambar 2.2, terdapat beberapa istilah untuk menunjukkan bagian – bagian cam.



Gambar 2.2 : Bagian *Camshaft*

Sumber : A. Graham Bell, 1981:117

Desain lobe : setiap bubungan sebuah cam ,untuk tiap katup memiliki banyak variable, came lobe bukan hanya mengatur lift dan kapan membuka dan menutup.

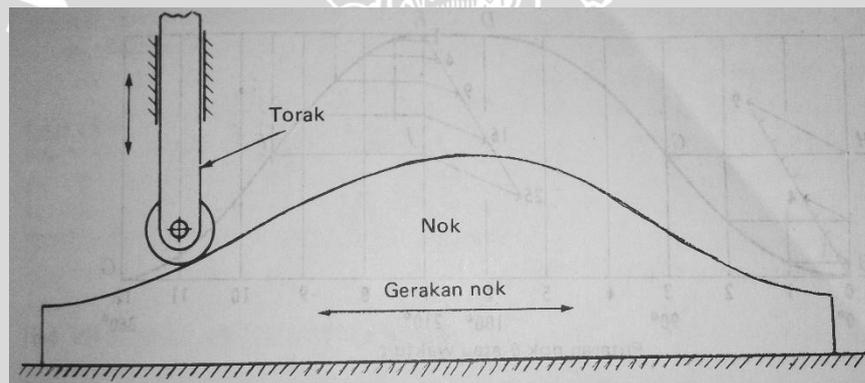
Base circle (lingkaran dasar) : posisi ini katup menutup, ukuran base circle mempengaruhi lift camshaft semakin kecil base circle memungkinkan lift semakin tinggi.

Ramps : bagian lobe dimana lifter bergerak naik dan berakhir menutup... Bertujuan untuk mamaksimalkan kecepatan katup dan control.

Flank : bagian lobe dimana pergerakan lifter akan menuju puncak lobe.

2.3.1 Mekanisme Cam (nok)

Seperti telah dijelaskan diatas bahwa cam mempunyai fungsi khusus untuk membuka katup intake dan exhaust pada komponen motor bakar. Namun pada dasarnya cam adalah bagian mesin yang bentuknya tidak umum, yang bekerja sebagai penggerak yang menggerakkan sebuah benda yang disebut torak (dalam motor *bakar rocker arm*), yang dapat mengelinding atau meluncur diatasnya. (Martin, 1994 :196)

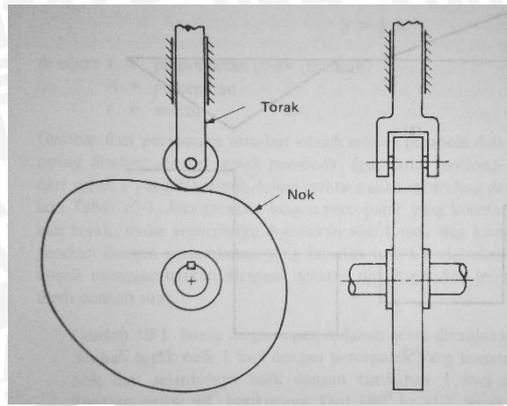


Gambar 2.3 Nok translasi

Sumber : Martin, 1994 :197

Nok merubah gerak rotasi dari poros menjadi gerak translasi pada torak, nok ini mempunyai bentuk yang sederhana namun dapat meneruskan hamper seluruh gerakan poros kepada gerakan torak.

Beberapa jenis nok yang umum yaitu nok piring, nok traslasi, dan nok silindris. Dari ketiga macam tersebut yang membedakannya dari bentuk poros yang menggerakkan noknya.

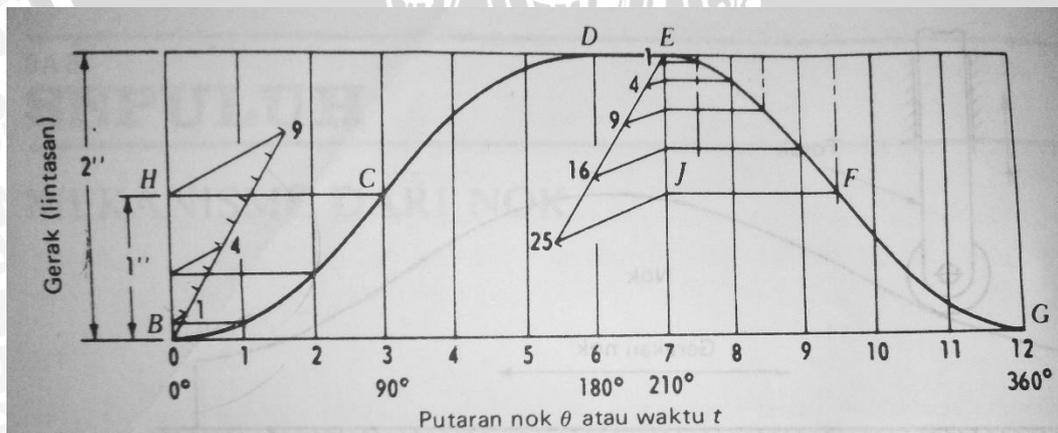


Gambar 2.4 Nok silindris

Sumber : Martin,1994 :197

2.3.2 Diagram Perpindahan Gerak

Diagram perpindahan gerak adalah grafik yang menunjukkan perpindahan gerak dari torak yang digambarkan sebagai fungsi waktu. Diagram perpindahan gerak ditunjukkan di dalam gambar 2.4. Sudut – sudut putaran nok digambarkan sepanjang garis sumbu mendatar dan panjang diagram menyatakan satu putaran nok. Karena kecepatan nok (dalam pu/men) adalah konstan, pembagian sudut yang sama juga menyatakan pembagian waktu yang sama. Perpindahan gerak dari torak digambarkan sepanjang sumbu tegak lurus. Diagram perpindahan gerak menentukan bentuk dari nok. Dalam analisa tentang nok – nok yang ada atau dalam perencanaan dari nok yang baru, diagram perpindahan gerak merupakan hal yang sangat penting. Karena diagram ini kenyataannya merupakan sebuah grafik dari perpindahan gerak terhadap waktu.



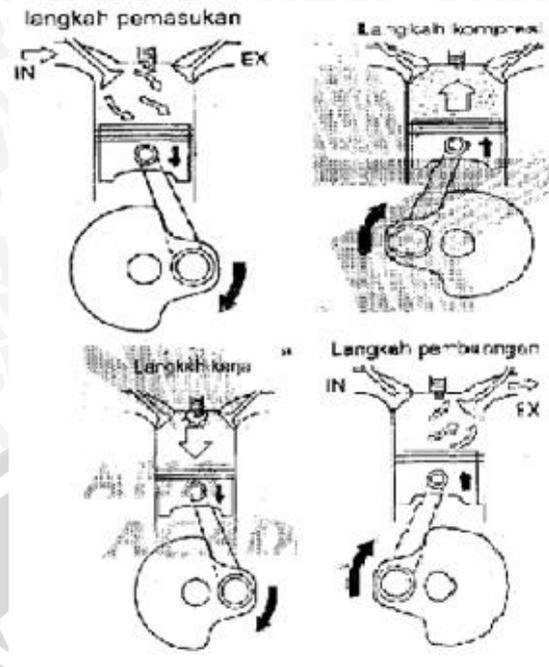
Gambar 2.5 Diagram Perpindahan

Sumber : Martin,1994 :198

Dalam nok berkecepatan tinggi percepatan dari torak adalah penting karena mempengaruhi gaya kelembaman yang menyebabkan getaran suara, tegangan yang tinggi dan kerusakan. Sentakan (jerk) adalah suatu ukuran dan waktu rata – rata yang diperlukan untuk perubahan dari gaya kelembaman oleh karena itu ia adalah suatu indikasi adanya sifat menyodok. Sentakan yang tidak tentu ini akan menyebabkan getaran dalam system torak dan dapat mempengaruhi daya tahan dari nok.

2.3.3 Perbedaan Diagram Perpindahan Nok Motor Bakar 4 Langkah Dan 6 Langkah

Pada motor bakar 4 langkah, 1 kali putaran *camshaft* adalah 2 kali putaran dari *crankshaft*. sehingga pada diagram perpindahan nok terdapat 720° dibanding dengan 360° . 4 langkah tersebut yaitu langkah hisap, langkah kompresi/usaha, langkah usaha, dan langkah pembuangan. Langkah hisap, katup intake terbuka dan piston bergerak dari TMA (titik mati atas) ke TMB (titik mati bawah) untuk memasukkan campuran bahan bakar dan udara. Langkah kompresi katup intake dan exhaust tertutup dan piston bergerak dari TMB ke TMA untuk menaikkan tekanan dan menaikkan suhu agar campuran bahan bakar dan udara mudah terbakar. Langkah usaha, sebelum piston sampai di posisi TMA pemantik (busi) telah di nyalakan sehingga campuran bahan bakar dan udara dalam ruang bakar menimbulkan ledakan/ terbakar sehingga piston yang berada pada TMA akan terdorong ke posisi TMB melalui energi pembakaran yang dihasilkan. Pada langkah ini katup intake dan exhaust juga tertutup. Langkah pembuangan, katup exhaust terbuka dan piston bergerak dari TMB ke TMA untuk membuang sisa hasil bahan bakar ke saluran pembuangan.

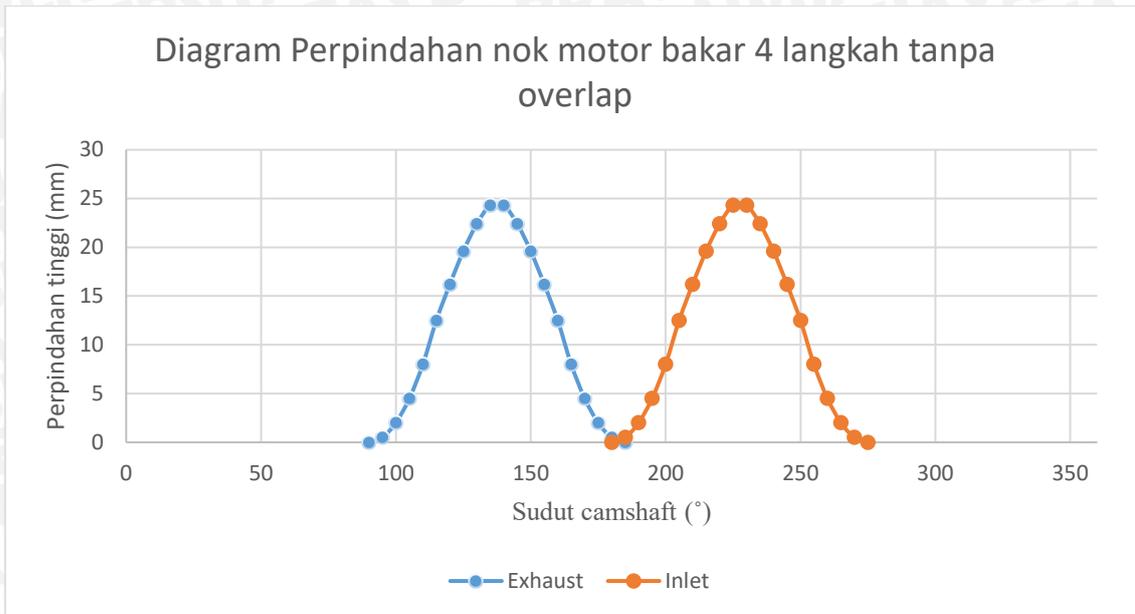


Gambar 2.6 Motor bakar 4 langkah

Sumber : Yamaha Technical Academy, 2004: 38

Camshaft hanya menggerakkan katup intake dan katup exhaust pada saat langkah hisap dan pembuangan. Hal ini dapat digambarkan pada diagram perpindahan nok. Jika pada camshaft motor bakar 4 langkah tidak diberi overlap pada timing pembukaan katup inlet dan exhaust, maka didapatkan bahwa setiap 90° putaran camshaft merupakan 1 gerakan langkah dari motor bakar tersebut. Contohnya jika 0° camshaft diartikan sebagai posisi piston berada di TMA (titik mati atas) pada akhir langkah kompresi, maka katup exhaust akan membuka pada sudut 90° putaran camshaft. Dan katup inlet akan terbuka pada sudut 180° .

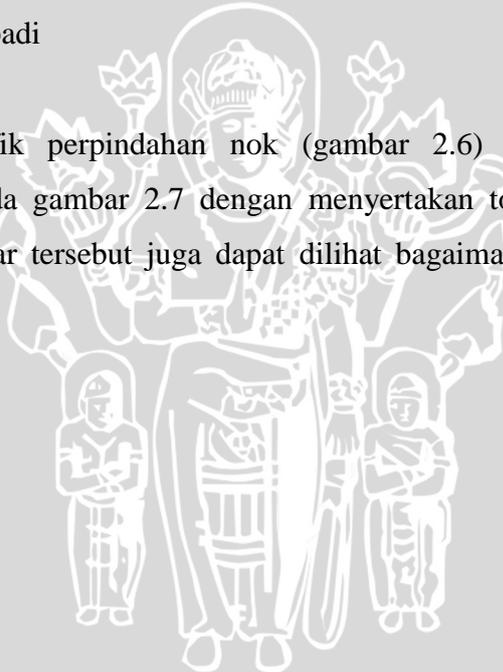
Sehingga contoh gambar diagram perpindahan nok dapat ditunjukkan pada gambar 2.6 dengan diasumsikan kenaikan katup dengan percepatan konstan.

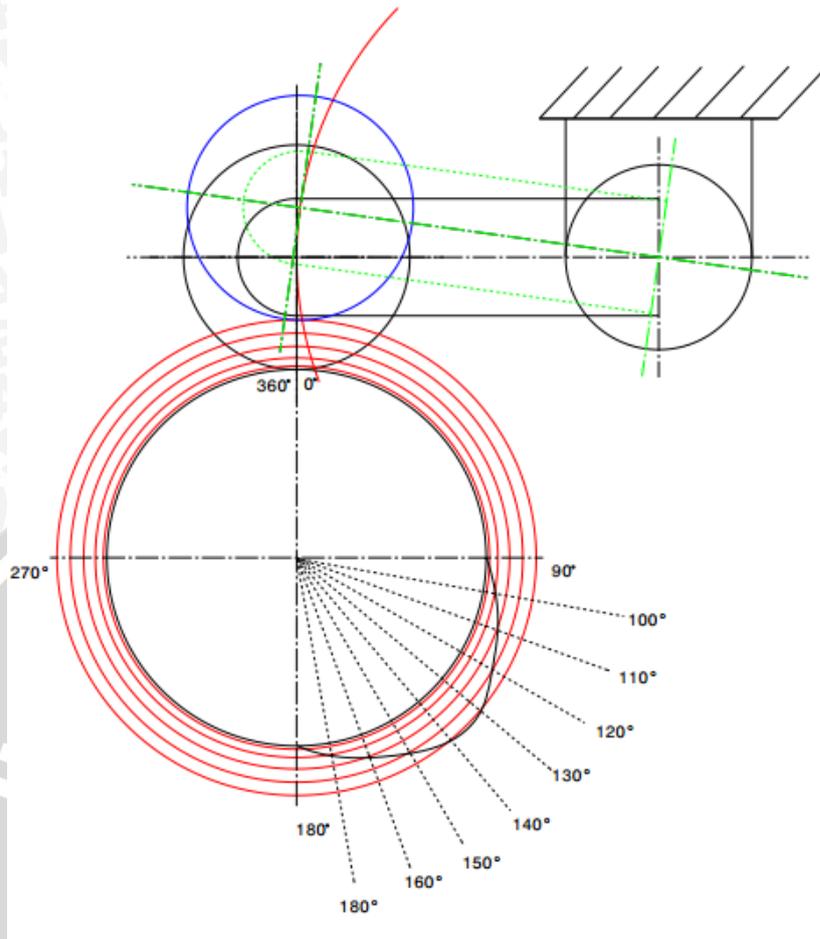


Gambar 2.7 Gambar diagram perpindahan nok motor bakar 4 langkah

Sumber : dokumentasi pribadi

Dari gambar grafik perpindahan nok (gambar 2.6) dapat di gambarkan bagaimana profil nok pada gambar 2.7 dengan menyertakan torak penggerak katup (*rocker arm*). Pada gambar tersebut juga dapat dilihat bagaimana nok bekerja untuk menggerakkan torak.

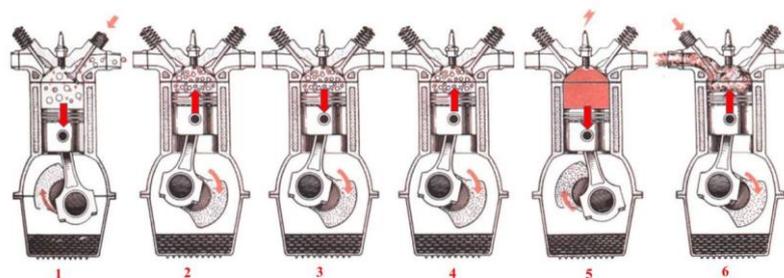




Gambar 2.8 Profil nok motor bakar 4 langkah

Sumber : dokumentasi pribadi

Pada motor bakar 6 tak berbasis difusi yang dikembangkan oleh Eko Siswanto, et al (2014), 1 putaran *camshaft* sama dengan 3 kali putaran *crankshaft* sehingga pada diagram perpindahan nok terdapat 1080° dibanding dengan 360°. Keenam langkah tersebut dijelaskan pada gambar 2.4, langkah tersebut yaitu hisap, kompresi difusi, ekspansi difusi, kompresi, usaha, dan buang.



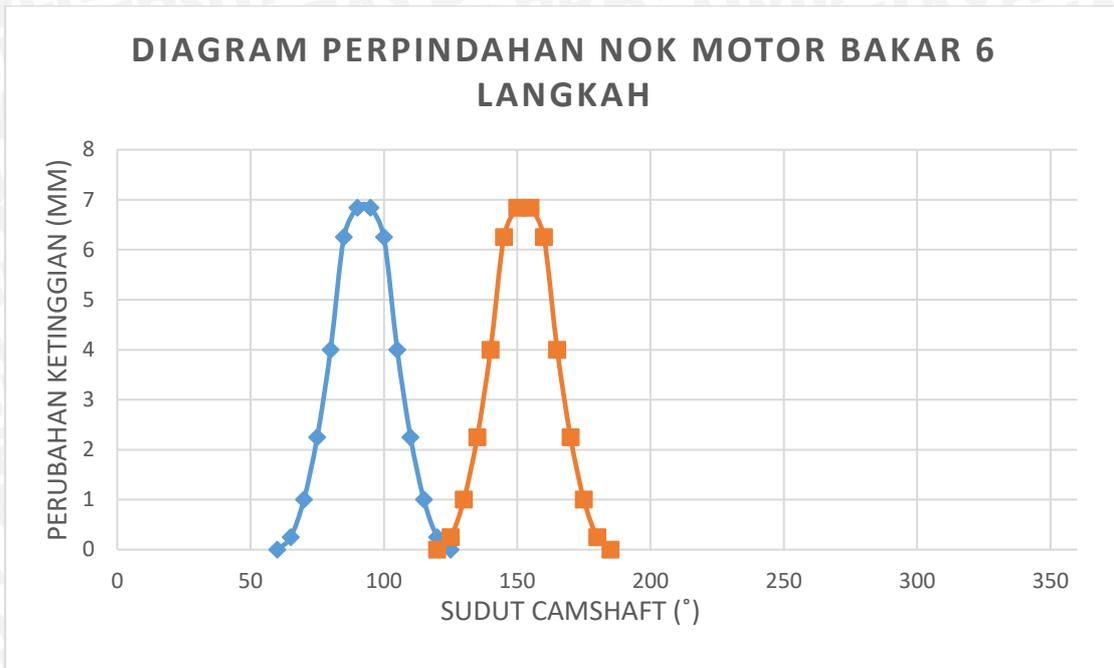
Gambar 2.8 Motor bakar 6 langkah

Sumber : Noor, 2015

langkah pertama yaitu langkah hisap, pada langkah hisap ini sama dengan langkah hisap yang terdapat pada motor bakar 4 langkah, campuran bahan bakar dan udara masuk kedalam ruang bakar melalui katup inlet yang terbuka dengan gerakan piston dari TMA menuju ke TMB. Langkah kedua yaitu kompresi difusi, pada langkah kompresi difusi ini katup inlet dan exhaust sama – sama tertutup dengan gerakan piston dari TMB ke TMA. Langkah ketiga yaitu ekspansi difusi, pada langkah ini katup inlet dan katup exhaust masih tertutup dengan gerakan piston dari TMB ke TMA. Kedua langkah difusi ini bertujuan untuk menambah durasi difusi bahan bakar dengan udara yang masuk kedalam ruang bakar. Selain itu juga bertujuan untuk menambah durasi difusi panas dari dinding ruang bakar dengan campuran bahan bakar dan udara dalam ruang bakar sehingga diharapkan terjadi peningkatan homogenitas dan temperatur dari campuran udara – bahan bakar sebelum terbakar untuk mendapatkan daya ekspansi yang lebih baik. Langkah ketiga yaitu langkah kompresi langkah ini sama dengan langkah kompresi pada motor bakar 4 langkah, dengan menutupnya katup inlet, exhaust dan pergerakan torak dari TMB ke TMA maka akan menaikkan tekanan dan temperatur dari campuran bahan bakar dan udara sehingga siap untuk dilakukannya pembakaran pada langkah usaha. Langkah selanjutnya yaitu langkah usaha pada langkah ini campuran udara dan bahan bakar akan di picu oleh percikan api dari busi sehingga terjadi pembakaran yang akan mendorong torak bergerak dari TMA menuju TMB. Langkah terakhir yaitu langkah buang, pada langkah ini katup exhaust akan terbuka dengan torak bergerak dari TMB menuju TMA, sehingga akan membuang sisa hasil pembakaran menuju saluran buang.

Sama halnya dengan motor bakar 4 langkah *camshaft* hanya menggerakkan katup intake dan katup exhaust pada saat langkah hisap dan pembuangan. Hal ini dapat digambarkan pada diagram perpindahan nok. Jika pada *camshaft* tidak diberi overlap pada timing pembukaan katup inlet dan exhaust, maka didapatkan bahwa setiap 60° putaran *camshaft* merupakan 1 gerakan langkah dari motor bakar tersebut atau 180° dari putaran *crankshaft*. Contohnya jika 0° *camshaft* diartikan sebagai posisi piston berada di TMA (titik mati atas) pada akhir langkah kompresi, maka katup exhaust akan membuka pada sudut 60° putaran *camshaft*. Dan katup inlet akan terbuka pada sudut 180° .

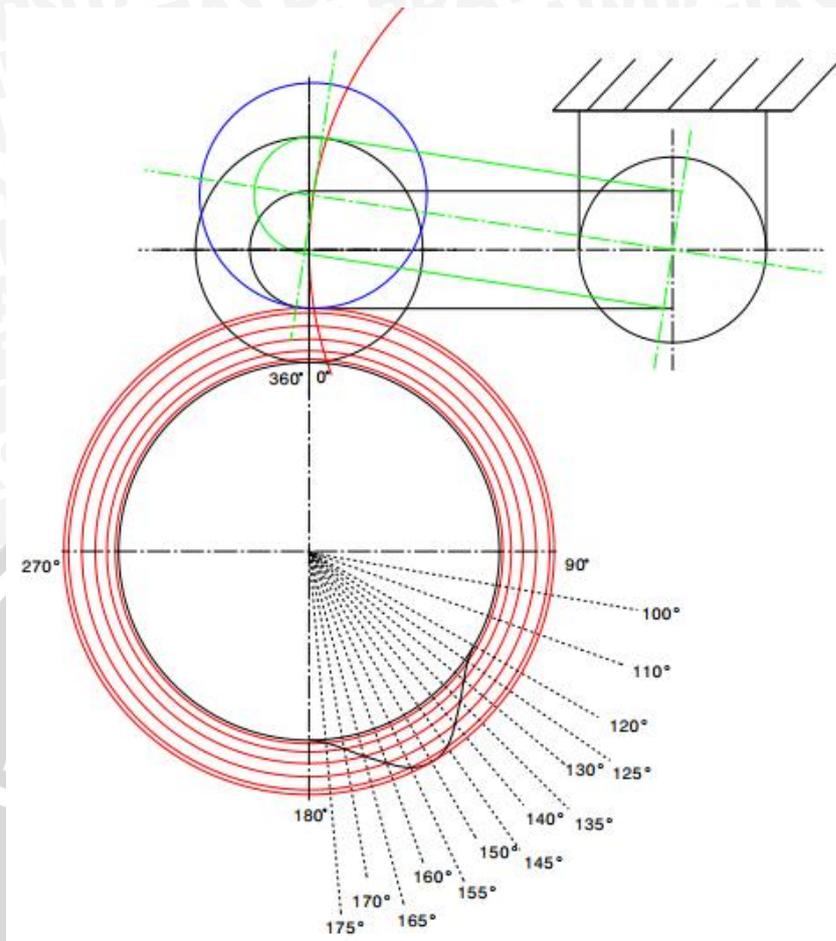
Sehingga contoh gambar diagram perpindahan nok dapat ditunjukkan pada gambar 2.6 dengan diasumsikan kenaikan katup dengan percepatan konstan.



Gambar 2.9 Gambar diagram perpindahan nok motor bakar 4 langkah

Sumber : dokumentasi pribadi

Dari gambar grafik perpindahan nok (gambar 2.6) dapat di gambarkan bagaimana profil nok pada gambar 2.9 dengan menyertakan torak penggerak katup (*rocker arm*). Pada gambar tersebut juga dapat dilihat bagaimana nok bekerja untuk menggerakkan torak.



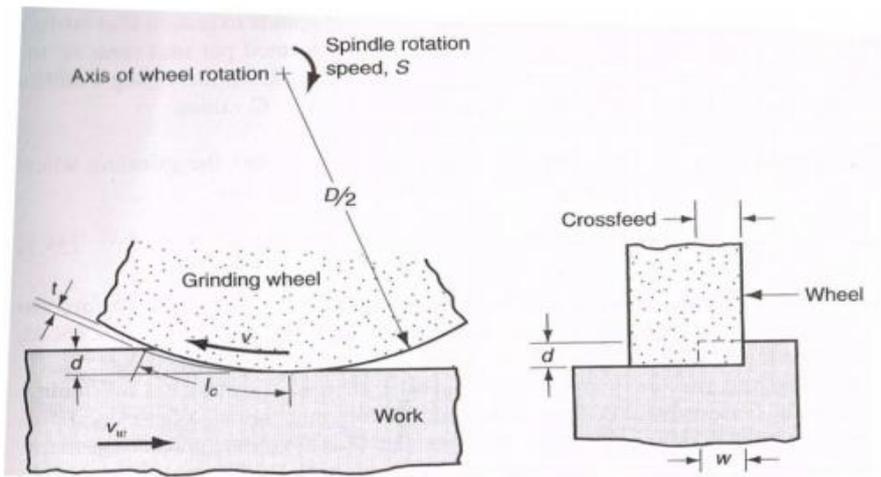
Gambar 2.10 Profil nok motor bakar 6 langkah

Sumber : dokumentasi pribadi

2.4 Gerinda

2.4.1 Pengertian Gerinda

Mesin gerinda adalah salah satu mesin perkakas yang digunakan untuk memotong/ mengasah benda kerja dengan tujuan tertentu. Prinsip kerja mesin gerinda adalah roda gerinda berputar bersentuhan dengan benda kerja dan terjadi pemotongan/ pengasahan.



Gambar 2.11 Proses Gerinda

Sumber: Groover Mikell.P, 1996 : 610

Menurut Agus (2010), proses gerinda dilaksanakan dengan mesin gerinda menggunakan pahat berupa batu gerinda berbentuk piringan (*grinding wheel/disk*) yang dibuat dari campuran serbuk abrasif dan bahan pengikat dengan komposisi dan struktur tertentu. Batu gerinda yang dipasang pada spindel/poros utama tersebut berputar dengan kecepatan tertentu tergantung pada diameter dan putarannya, maka kecepatan *peripheral* pada tepi batu gerinda dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$V_s = \frac{\pi \cdot d_s \cdot n_s}{60.000} \cdot \frac{m}{s}$$

dimana :

v_s = kecepatan periferal batu gerinda, biasanya berharga sekitar 20 s.d 60 m/s

d_s = diameter batu gerinda ; [mm]

n_s = putaran batu gerinda; [r/min]

Tergantung pada bentuk permukaan yang dihasilkan, pada garis besarnya proses gerinda digolongkan menjadi 2 jenis, yaitu :

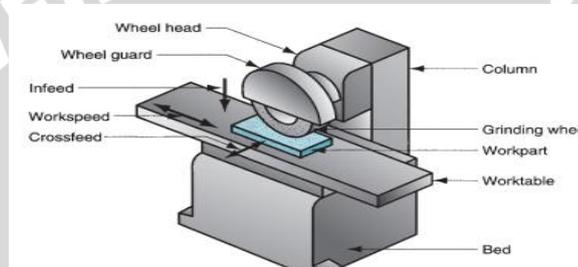
1. Gerinda silindris (*cylindrical grinding*) untuk menghasilkan permukaan silindrik
2. Gerinda rata (*surface grinding*) untuk menghasilkan permukaan rata / datar.

2.4.2 Jenis-Jenis Mesin Gerinda

A. Mesin Gerinda Datar

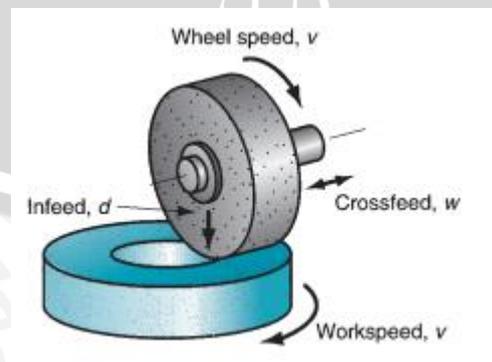
Penggerindaan datar adalah suatu teknik penggerindaan yang mengacu pada pembuatan bentuk datar, bentuk, dan permukaan yang tidak rata pada sebuah benda kerja yang berada dibawah batu gerinda yang berputar. Spindle speed berperan sebagai kecepatan primer dan gerak meja bolak balik (work speed) adalah kecepatan sekunder, Berdasarkan sumbu utamanya, mesin gerinda datar dibagi menjadi 4 macam:

1. Mesin gerinda datar horisontal dengan gerak meja bolak-balik, mesin gerinda ini digunakan untuk menggerinda benda-benda dengan permukaan rata dan menyudut.



Gambar 2.12 Mesin Gerinda Datar Dengan Meja Bolak Balik
Sumber : Groover Mikell P, 1996 : 617)

2. Mesin gerinda datar horisontal dengan gerak meja berputar, Mesin gerinda ini digunakan untuk menggerinda benda-benda dengan permukaan rata dan menyudut. Mesin gerinda datar horizontal dengan gerak meja berputar, mesin jeni sini dipergunakan untuk menggerinda permukaan rata poros.

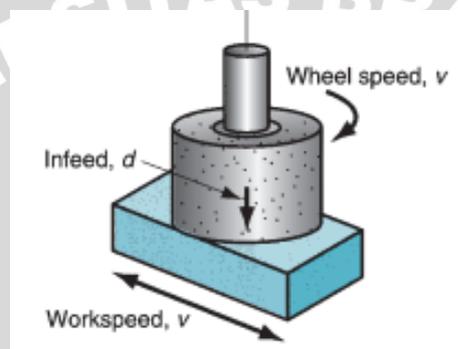


Gambar 2.13 Mesin Gerinda Datar Horisontal Dengan Gerak Meja Berputar
Sumber : Groover Mikell P, 1996 : 616

3. Mesin gerinda datar vertikal dengan gerak meja bolak-balik, mesin jenis ini digunakan untuk menggerinda benda-benda berpermukaan rata, lebar dan menyudut.

Berdasarkan prinsip kerjanya mesin gerinda datar dibagi menjadi dua macam:

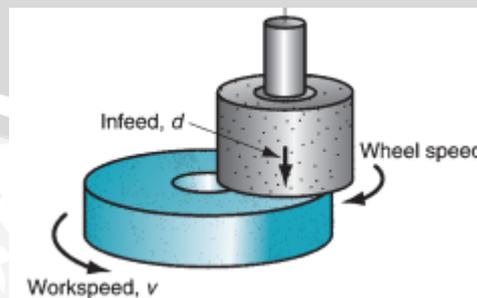
- 1) Mesin gerinda datar semi otomatis, artinya proses pemotongan dapat dilakukan manual maupun otomatis.
- 2) Adapun mesin gerinda datar yang dapat dijalankan menggunakan program (NC) Numerical Control dan CNC/Computer Numerically Control



Gambar 2.14 Mesin Gerinda Datar Vertikal Dengan Gerak Meja Bolak-Balik

Sumber : Groover Mikell P, 1996 : 616

4. Mesin gerinda datar vertikal dengan gerak meja berputar, mesin jenis ini dipergunakan untuk menggerinda permukaan rata poros. Prinsip kerja mesin gerinda datar vertical gerak meja berputar sama dengan mesin gerinda datar vertikal dengan gerak meja bolak balik. Mesin gerinda ini dipergunakan untuk menggerinda permukaan rata poros



Gambar 2.15 Mesin Gerinda Datar Vertikal Dengan Gerak Meja Berputar

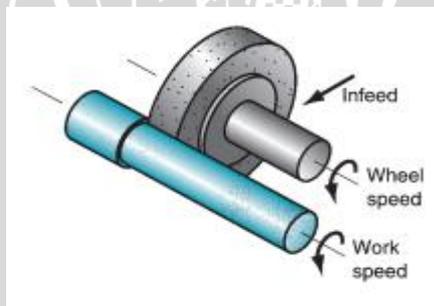
Sumber : Groover Mikell P, 1996 : 616

B. Mesin Gerinda Silindris

Mesin gerinda silindris adalah alat pemesinan yang berfungsi untuk membuat bentuk-bentuk silindris, silindris bertingkat, dan sebagainya. *Spindle speed* berperan sebagai kecepatan primer dan gerak perputaran dari benda kerja (*work speed*) adalah kecepatan sekunder. Berdasarkan konstruksi mesinnya, mesin gerinda silindris dibedakan mejadi menjadi empat macam, yaitu:

1. Mesin Gerinda Silindris Luar

Dengan gerakan penggerindaan memanjang (*longitudinal*) dan melintang (*plunge*) mesin gerinda ini cocok untuk pengerjaan poros (*shaft*). Gerakan meja diatur oleh hidrolik, yang panjang pendek langkahnya dapat diatur sesuai dengan panjang benda kerja. Untuk benda kerja yang konus, meja mesin diputar sebesar setengah sudut konus. Kepala spindle (*spindle head*) dengan motor penggerak dan penyangga (*tailstock*) jaraknya dapat diatur menyesuaikan dengan panjang pendek benda kerja yang akan digerinda. Untuk *Depth of cut* dapat dilakukan dengan mengatur maju mundurnya roda gerinda (*grinding wheel*)

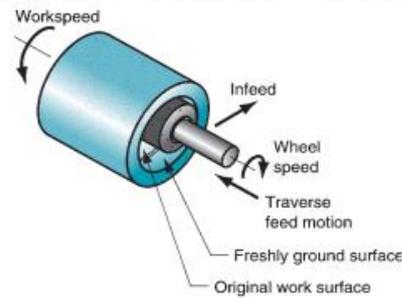


Gambar 2.16 Mesin Gerinda Silindris Luar

Sumber : Groover Mikell P 1996 : 617

2. Mesin Gerinda Silindris Dalam

Mesin gerinda ini berfungsi untuk pengerjaan lubang-lubang yang berbentuk silindris dan tirus. Pada dasarnya gerakan pada mesin gerinda silindris dalam sama dengan mesin gerinda silindris luar, namun putaran roda gerinda lebih cepat karena diameter roda gerinda yang digunakan kecil.



Gambar 2.17 Mesin Gerinda Silindris Luar

Sumber : Groover, Mikell P 1996 : 617

3. Mesin Gerinda Tangan

Mesin gerinda tangan cocok digunakan untuk pengerjaan *non-finnshing* atau pekerjaan-pekerjaan *bench work*. Namun mesin gerinda tangan dapat mengerjakan benda kerja yang variatif.

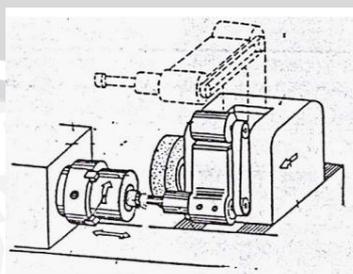


Gambar 2.18 Mesin Gerinda Tangan

Sumber : Gunadi 2008 : 329

4. Mesin Gerinda Silindris Universal

Sesuai dengan namanya, mesin ini juga mampu mengerjakan benda kerja dengan diameter luar dan dalam baik bentuk silindris.



Gambar 2.19 Mesin Gerinda Silindris Universal

Sumber : Paryanto 2015 : 45

5. Mesin Gerinda Duduk

Mesin gerinda duduk fungsi utama gerinda duduk adalah untuk mengasah mata bor, tetapi dapat juga digunakan untuk mengasah pisau lainnya, seperti mengasah pisau dapur, golok, kampak, arit, mata bajak, dan perkakas pisau lainnya. Selain untuk mengasah, gerinda duduk dapat juga untuk membentuk atau membuat perkakas baru, seperti membuat pisau khusus untuk meraut bambu, membuat sukucadang mesin jahit, membuat obeng, atau alat bantu lainnya untuk reparasi turbin dan mesin lainnya.



Gambar 2.20 Gerinda Duduk

Sumber : Gunadi 2008 : 329

Komponen utama pada mesin gerinda duduk sebagai berikut:

a) Badan Mesin

Bagian badan mesin yang biasanya terbuat dari besi tuang yang memiliki sifat sebagai peredam getaran yang baik. fungsinya adalah untuk menopang meja kerja dan menopang kepala rumah spindel.

b) Poros Spindel

Bagian poros spindel merupakan bagian yang kritis karena harus berputar dengan kecepatan tinggi juga dibebani gaya pemotongan pada batu gerindanya dalam berbagai arah.

c) Meja Benda

Bagian meja juga merupakan bagian yang dapat mempengaruhi hasil kerja proses gerinda karena diatas meja inilah Benda kerja diletakkan melalui suatu ragam ataupun magnetic chuck yang dikencanakan pada meja ini.

d) *Power Transmission*

Power Transmission grinda dilindungi oleh pelindung tetap sebagai peredam getaran. *Power Transmission* gerinda berupa spindle.

e) *Point Of Operation*

Point Of Operation grinda ini merupakan bagian mesin yang dirancang untuk mengasah atau rnengikis benda kerja.

f) Safety Glass

Pelindung ini adalah safety glass, di mana dirancang untuk melindungi bagian atas badan pekerja seperti bagian wajah dari percikan api.

g) Heavy Wheel Guard

Heavy wheel guard bertujuan untuk melindungi gerinda pada saat berputar dan merupakan pelindung tetap.

6. Mesin Gerinda Potong

Mesin gerinda potong (*drop saw*) merupakan mesin gerinda yang digunakan untuk memotong benda kerja dari bahan pelat ataupun pipa. Roda gerinda yang digunakan adalah piringan gerinda tipis yang diputar dengan kecepatan tinggi. Mesin gerinda potong dapat memotong benda kerja pelat ataupun pipa dari bahan baja dengan cepat.



Gambar 2.21 Mesin Gerinda Potong (*drop saw*)

Sumber : Gunadi 2008 : 330

2.5 Batu Gerinda (Grinding Wheel)

2.5.1 Pengertian Batu Gerinda

Menurut Agus Susanto (2010), batu gerinda dibuat dari campuran serbuk abrasif dengan bahan pengikat. Varian yang bisa diturunkan dari kombinasi dua elemen ini amat banyak, karena jenis dan ukuran serbuk abrasif, jenis bahan pengikat, persentase serta kepadatan (*compactness*) atau porositas (*porosity*) dapat diatur sesuai dengan keinginan pada waktu batu gerinda ini dibuat. Dalam pengujian ini digunakan dua jenis batu gerinda yang berbeda, perbedaan dari batu gerinda tersebut terletak pada ukuran

butir (*grain size*). Kodifikasi dua buah batu gerinda yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis batu gerinda dengan merek Norton :

1. A 46 Q V }
8" x 3/4" x 1- 1/4"
2. A 80 P V

Arti dari kode tersebut adalah :

A	Bahan Al ₂ O ₃ (<i>Aluminium oxides</i>)
46,80	Merupakan ukuran serbuk abrasif 46 (medium) dan 80 (kasar)
Q,P	Merupakan kekerasan atau kekuatan ikatan batu gerinda, kode Q dan P merupakan <i>grade</i> yang keras.
V	Merupakan jenis bahan pengikat <i>vitriified</i>
8"	Diameter gerinda (8 inchi)
3/4"	Lebar batu gerinda (3/4 inchi)
1- 1/4"	Diameter lubang <i>bushing</i> batu gerinda

2.5.2 Macam-macam Batu Gerinda

Batu gerinda banyak digunakan di bengkel-bengkel pengerjaan logam. Batu gerinda penyayatannya sangat halus, dan gramnya tidak terlihat seperti milling. Gram hasil penggerindaan ini sangat kecil seperti debu. Dari berbagai bentuk batu gerinda sebenarnya bahan utamanya hanya terdiri dari dua jenis pokok, yaitu butiran bahan asah/pemotong (abrasive) dan perekat (bond).

Fungsi batu gerinda sebagai berikut.

1. Untuk penggerindaan silindris, datar dan profil.
2. Menghilangkan permukaan yang tidak rata.
3. Untuk pekerjaan finishing permukaan.
4. Untuk pemotongan.
5. Penajaman alat-alat potong.

Fungsi dari batu gerinda berbeda-beda dalam pemakaiannya, berikut fungsi dari beberapa jenis batu gerinda :

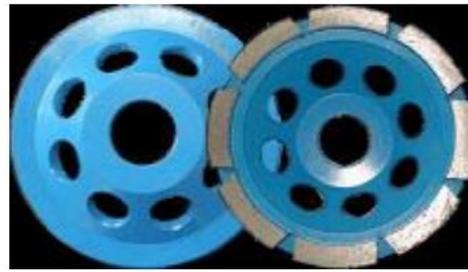
1. **Flat wheels**, untuk melakukan penggerindaan alat-alat potong seperti *handtap*, *countersink*, mata bor, dan sebagainya.



Gambar 2.22 *Flat Wheels*

Sumber : Gunadi 2008 : 322

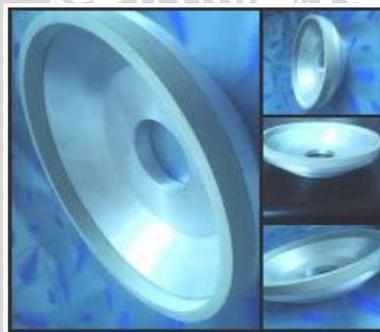
2. *Cup wheels*, untuk melakukan penggerindaan alat-alat potong seperti cutter, pahat bubut, dan sebagainya.



Gambar 2.23 *Cup Wheels*

Sumber : Gunadi 2008 : 329

3. *Disk grinding wheels*, untuk melakukan penggerindaan profil pada *cutter*



Gambar 2.24 *Disk Grinding Wheels*

Sumber : Norton 2011 : 11

4. *Shaped grinding wheels*, untuk memotong alat potong ataupun material yang sangat keras, seperti HSS, material yang sudah mengalami proses *heat treatment*.



Gambar 2.25 *Shaped Grinding Wheels*

Sumber : Norton 2011 : 11

5. **Cylindrical grinding wheels**, untuk melakukan penggerindaan diameter dalam suatu jenis produk.



Gambar 2.26 *Cylindrical Grinding Wheels*

Sumber : Gunadi 2008 : 322

6. **Saucer Grinding Wheels**, Gerinda ini biasa digunakan untuk mengerinda bergelombang dan gerinda pemotong. Ini menemukan penggunaan yang luas di non-mesin daerah, karena hal ini filers bertemu digunakan oleh roda piring untuk menjaga bilah gergaji.



Gambar 2.27 *Saucer Grinding Wheels*

Sumber : Gunadi 2008 : 324

7. **Diamond grinding wheels**, Dalam roda berlian berlian industri tetap terikat ke tepi. Digunakan untuk mengerinda bahan-bahan keras seperti beton, batu permata dll. Sebuah melihat menggorok dirancang untuk mengiris batu permata seperti bahan keras.



Gambar 2.28 *Diamond Grinding Wheels*

Sumber : United Abrasive Inc. 2015:60

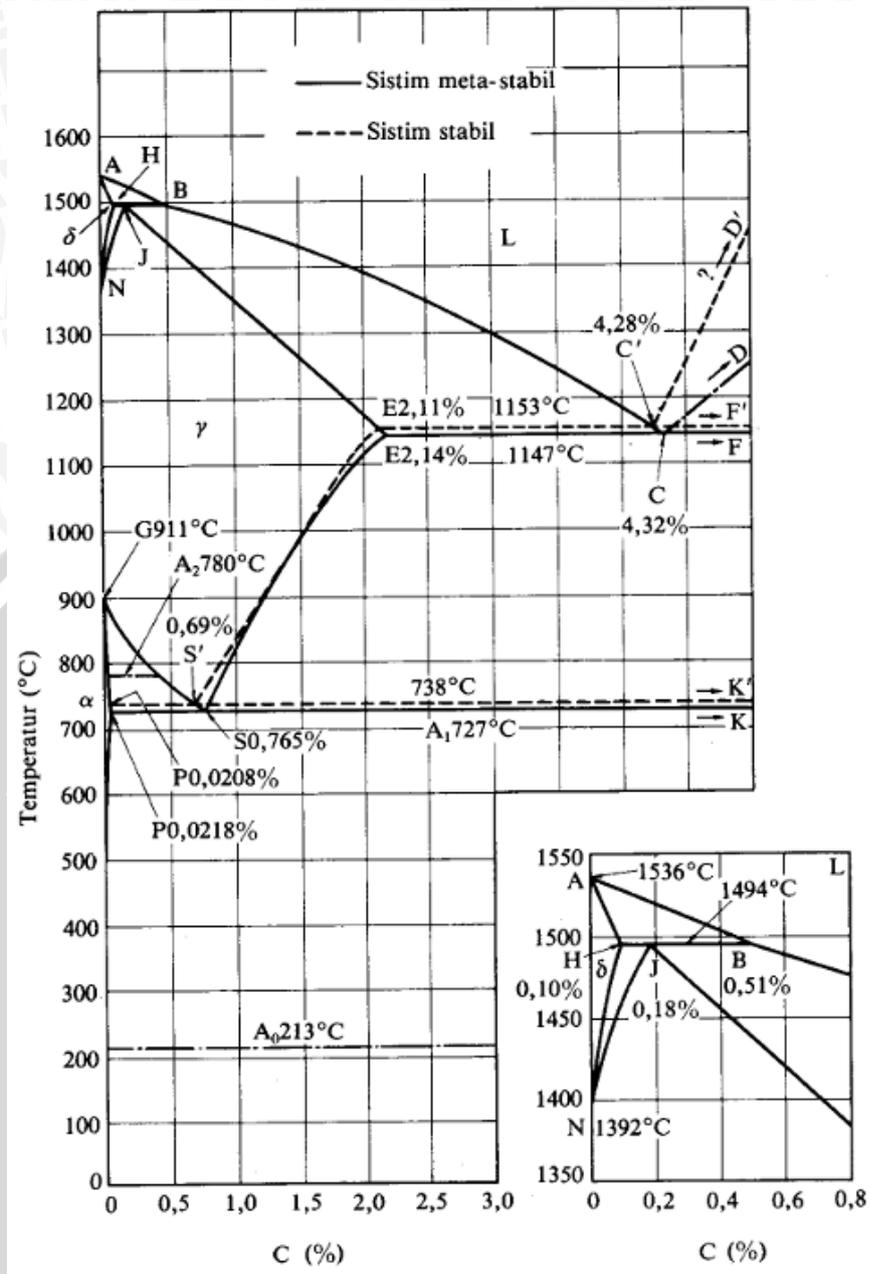
2.6 Struktur Mikro Besi dan Baja

Besi dan baja paling banyak dipakai sebagai bahan industri yang merupakan sumber sangat besar, dimana sebagian ditentukan nilai ekonominya, tetapi yang paling penting karena sifat-sifatnya yang bervariasi. Yaitu bahwa bahan tersebut mempunyai berbagai sifat dari yang paling lunak dan mudah dibuat sampai yang paling keras dan tajam untuk pisau pemotong dapat dibuat, atau apa saja dengan bentuk apapun dapat dibuat dengan pengecoran. Dari unsur besi berbagai bentuk struktur logam dapat dibuat, itulah sebabnya mengapa besi dan baja disebut bahan yang kaya dengan sifat-sifat.

Diagram fasa karbon menunjukkan diagram keseimbangan besi-karbon sebagai dasar dari bahan yang berupa besi baja. Selain karbon pada besi dan baja terkandung kira-kira 0,25% Si, 0,3-1,5% Mn dan unsur pengotor lain seperti P, S, dsb. Pada paduan besi karbon terdapat fasa karbida yang disebut sementit dan juga grafit, grafit lebih stabil daripada sementit. Titik titik penting pada diagram fasa ini adalah :

- A: Titik cair besi
- B: Titik pada cairan yang ada hubungannya dengan reaksi peritektik
- H: larutan padat δ yang ada hubungan dengan reaksi peritektik. Kelarutan karbon maksimum adalah 0,10%

- J: Titik Peritektik. Selama pendinginan austenit pada komposisi J, fasa γ terbentuk dari larutan padat δ pada komposisi H dan cairan pada komposisi B.
- N: Titik transformasi besi $\delta \leftrightarrow$ besi γ , titik transformasi A_4 dari besi murni.
- C: Titik Eutektik. Selama pendinginan fasa γ , ada hubungan dengan reaksi eutektik. Kelarutan maksimum dari karbon 2,14%. Oaduan besi karbon sampai pada komposisi ini disebut baja.
- G: Titik transformasi besi $\gamma \leftrightarrow$ besi α . Titik transformasi A_3 untuk besi.
- P: Titik yang menyatakan ferit, fasa α , ada hubungan dengan reaksi eutektoid. Kelarutan maksimum dari karbon kira-kira 0,02%
- S: Titik eutektoid. Selama pendinginan, ferit pada komposisi P dan sementit pada komposisi K (sama dengan F) terbentuk simultan dari austenit pada komposisi S. Reaksi eutektoid ini dinamakan transformasi A_1 , dan fasa eutektoid ini dinamakan perlit.
- GS: Garis yang menyatakan hubungan antara temperatur dan komposisi, di mana mulai terbentuk ferit dari austenit. Garis ini disebut garis A_3 .
- ES: Garis yang menyatakan hubungan antara temperatur dan komposisi; di mana mulai terbentuk sementit dari austenit, dinamakan garis A_{cm} .
- A_2 : Titik transformasi magnetik untuk besi atau ferit.
- A_0 : Titik transformasi magnetik untuk sementit.



Gambar 2.29 Diagram Fasa Keseimbangan Besi Karbon

Sumber : Surdia Saito (1992:70)

Baja yang terkadar karbon sama dengan komposisi eutektoid dinamakan baja eutektoid, yang berkadar karbon kurang dari komposisi eutektoid disebut baja hipoeutektoid, dan yang berkadar lebih dari komposisi eutektoid disebut baja hipereutektoid.

Besi dan baja diharapkan mempunyai kekuatan statik dan dinamik, ulet, mudah diolah, tahan korosi dan mempunyai sifat elektromagnet agar dapat dipakai sebagai

bahan untuk konstruksi dan mesin-mesin. Dilihat dari transformasi ada tiga macam baja yaitu:

- 1) Baja dengan titik transformasi A_1 , berupa ferit dibawah A_1 , dan austenit pada A_3 atau diatas A_1 .
- 2) Baja dengan titik transformasi A_1 , di bawah temperatur kamar, berupa austenit pada temperatur kamar.
- 3) Baja dengan daerah austenit yang kecil, berupa ferit sampai temperatur tinggi pada daerah komposisi tertentu.

Baja yang tergolong macam 1) berupa ferit pada temperatur kamar (dalam keseimbangan), dapat diproses kembali menjadi berbagai struktur dengan jalan perlakuan panas. Fasa-fasa tersebut memiliki sifat-sifat khas. Ferit mempunyai sel satuan kubus pusat badan atau body centered cubic (bcc), menunjukkan titik mulur yang jelas dan menjadi getas pada temperatur rendah. Austenit mempunyai sel satuan kubus pusat muka atau face centered cubic (fcc) menunjukkan titik mulur yang jelas tanpa kegetasan pada keadaan dingin. Akan tetapi kalau berupa fasa metastabil bisa berubah menjadi α' pada temperatur rendah dengan pengerjaan. Martensit adalah fasa larutan padat lewat jenuh dari karbon dalam sel satuan tetragonal pusat badan atau body centered tetragonal (bct). Makin tinggi derajat kelewat jenuhan karbon, makin besar perbandingan satuan sumbu sel satuannya dan semakin keras serta makin getas martensit tersebut. Bainit mempunyai sifat-sifat antara martensit dan ferit.

Tabel 2.1 Karakteristik berbagai pengujian kekerasan

	Fasa dan simbol	Struktur	Pengelasan
Menurut kristal	Austenit (γ)	<i>fcc</i>	Paramagnetik dan stabil pada temperatur tinggi.
	Ferit (α)	<i>bcc</i>	Stabil pada temperatur rendah, kelarutan padat terbatas, dapat berada bersama Fe_3C (<i>sementit</i>) atau lainnya.
	Bainit (α)	<i>bcc</i>	Austenit metastabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat tertentu. Terjadi hanya presipitasi Fe_3C , unsur paduan lainnya tetap larut.
	Martensit (α')	<i>bct</i>	Fasa metastabil terbentuk dengan laju pendinginan cepat, semua unsur paduan masih larut dalam keadaan padat.
Menurut keadaan	Perlit		Lapisan ferit dan Fe_3C .
	Widmanstaetten		γ dan α dalam orientasi pada persipitasi ferit.
	Dendrit		Berbentuk cabang-cabang seperti pohon, struktur ini terbentuk karena segregasi karbon pada pembekuan.
	Sorbit Trostit		Sorbit adalah perlit halus dan trostit adalah bainit. Nama ini tidak banyak dipakai.

Sumber : Surdia dan Saito, 1992:72

Sesuai dengan keaneka ragaman strukturnya, maka dapat diperoleh berbagai sifat baja termasuk kekuatan dan keuletasan. Faktor-faktor yang menentukan sifat-sifat mekanik adalah macam fasa, kadar unsur paduan dalam fasa, banyak fasa, ukuran dan bentuk senyawa. Untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik yang diinginkan perlu mendapat struktur yang cocok dengan komposisi kimia dan perlakuan panas yang tepat.

2.7 Case Hardening

Proses pengerasan permukaan (surface hardening) adalah suatu perlakuan (treatment) yang diterapkan pada suatu logam agar diperoleh sifat-sifat tertentu. Dan agar dicapai hasil yang memadai, maka pelaksanaan dari suatu perlakuan harus memperhitungkan aspek metalurgi dan peralatan yang tersedia, supaya dapat dipilih proses-proses perlakuan yang sesuai pada suatu logam untuk maksud tertentu dengan ekonomis, juga agar dapat ditentukan tingkat kualitas yang akan dihasilkan.

Bahwa proses pengerasan permukaan ini terbagi dua (2) macam; proses pengerasan permukaan dengan cara merubah struktur mikro tanpa merubah komposisi kimia bahan, seperti flame hardening. Kedua; proses pengerasan permukaan dengan merubah struktur mikro dan komposisi kimia bahan, seperti karburasi, nitridasi dan nitrokarburasi.

Pengerasan permukaan (Case hardening) merupakan proses pengerasan permukaan baja dan besi cor dengan cara memasukkan unsur-unsur karbon atau nitrogen atau karbon dan nitrogen ke permukaan baja dan besi cor tersebut dalam bentuk larutan padat fasa austenit, sehingga komposisi austenit dipermukaan baja dan besi cor berubah dan dengan melalui proses hardening dan quenching diperoleh sifat dan kualitas yang baik, antara lain:

- Kekerasan yang tinggi
- Ketahanan terhadap pemakaian
- Ketahanan terhadap kelelahan dan lain-lain.

Proses case hardening terdiri dari:

- Carborizing
- Carbonitriding
- Nitriding

Pada proses carborizing dan carbonitriding masuknya unsur karbon atau karbon dan nitrogen dilakukan pada temperatur austenisasi sedangkan proses nitriding masuknya unsur nitrogen berlangsung pada temperatur transformasi bawah.

Setelah proses carborizing atau carbonitriding, inti masih tetap mempunyai kandungan karbon rendah (0,1 – 0,3%C) dan kulitnya mempunyai kandungan karbon maksimum 0,83%C (komposisi eutectoid). Karena pemanasan yang cukup lama pada struktur austenit menyebabkan terbentuknya butiran kasar, sehingga untuk mendapatkan sifat mekanik yang terbaik dilakukan proses hardening. Karena ada perbedaan kandungan karbon pada inti dan kulit, sehingga mempunyai suhu kritis atas yang berbeda, maka proses hardening yang terbaik dilakukan adalah:

- 1) Memperhalus inti, komponen dipanaskan hingga sedikit di atas suhu kritis dari intim kemudian didinginkan dalam air, sehingga didapatkan campuran butiran halus ferit dan sedikit martensit. Karena suhu ini sangat di atas suhu kritis atas dari kulit, sehingga didapatkan butiran kasar martensit pada kulit. Oleh karena itu masih diperlukan proses perlakuan panas untuk memperhalus butiran kulit.
- 2) Memperhalus kulit, komponen dipanaskan hingga di atas suhu kritis atas, kemudian dilakukan quenching dan didapatkan kulit keras dari butiran halus martensit.
- 3) Pada saat yang sama sejumlah martensit rapuh yang terdapat pada inti hasil dari proses quenching, akan tertemper dalam proses pemanasan kedua. Akhirnya komponen tertemper pada temperatur tertentu untuk menghilangkan tegangan yang terdapat pada kulit.

Proses ini adalah merupakan anjuran untuk kesempurnaan tapi dipandang dari segi industri, dimana nilai ekonomis merupakan faktor yang harus dipertimbangkan maka sering kali pemanasan dilakukan satu kali saja. Selain itu, setelah proses carborizing atau carbonitriding benda kerja didinginkan perlahan-lahan untuk mendapatkan keuletan yang tinggi dari inti, kemudian dipanaskan lagi pada suhu austenisasi dari kulit lalu quenching, sehingga diperoleh hasil yang keras pada kulit dan ulet pada inti. Akan tetapi di industri biasanya dilakukan setelah carborizing atau carbonitriding temperatur diturunkan sampai temperatur hardening, ditahan selama periode waktu tertentu lalu quenching.

Nitriding adalah proses pengerasan permukaan dengan jalan mendifusikan unsur nitrogen ke permukaan larutan pada logam/baja dan besi cor feritik, yaitu dengan cara memanaskan dan menahan logam/baja dan besi cor tersebut pada temperatur dibawah

temperatur kritis bawah (antara 500-590oC) selama periode waktu tertentu dalam kontak dengan gas atau cairan yang mengandung unsur nitrogen.

Seluruh baja dan besi cor yang dapat dikeras haruslah dikeraskan dan di"temper" dahulu sebelum dilakukan proses nitriding, dimana temperatur tempering harus cukup tinggi untuk menjaga kestabilan struktur pada proses nitriding (minimal 10oC diatas temperatur nitriding).

Proses nitriding dilakukan dengan tujuan:

- mendapatkan kekerasan permukaan yang tinggi
- meningkatkan ketahanan pakai dan sifat "antigalling"
- meningkatkan ketahanan terhadap umur kelelahan
- meningkatkan ketahanan terhadap korosi
- meningkatkan ketahanan kekerasan permukaan terhadap kenaikan temperatur sampai temperatur nitriding.

Keuntungan lain yang diperoleh dengan proses nitriding ialah: distorsi dan deformasi minimum, karena temperatur pemanasan rendah. Di industri dikenal dua jenis proses nitriding, yaitu: liquid nitriding dan gas nitriding. Pada umumnya kedua jenis proses ini adalah sama dan lama proses dibutuhkan juga sama, tetapi proses gas nitriding biasanya lebih disukai bila diinginkan kedalaman penetrasi nitrogen yang lebih besar.

Pada proses liquid nitriding media yang digunakan adalah campuran garam-garam, yaitu: NaCN, Na₂CO₃, KCl dan beberapa bahan pengaktif lainnya. Pada proses nitriding media yang digunakan adalah: gas amonia.

Berdasarkan diagram fasa biner Fe-N (gambar 2.6)8) dapat diperkirakan bahwa beberapa lapisan dapat terbentuk pada temperatur 500-600oC, yaitu berturut-turut pada bagian dalam (dekat substrat) kebagian terluar: a-Fe, γ-Fe₄N dan ε-Fe₂N.

2.8 Pengujian Logam

Proses pengujian logam adalah proses pemeriksaan bahan-bahan untuk diketahui sifat dan karakteristiknya yang meliputi sifat mekanik, sifat fisik, bentuk struktur, dan komposisi unsur-unsur yang terdapat didalamnya. Metode pengujian dikelompokkan ke dalam tiga kelompok menurut proses pengujiannya, yaitu:

1. Destructive Test (DT), yaitu proses pengujian logam yang dapat menimbulkan kerusakan logam yang diuji.
2. Non Destructive Test (NDT), yaitu proses pengujian logam yang tidak dapat menimbulkan kerusakan logam atau benda yang diuji.
3. Metallography, yaitu proses pemeriksaan logam tentang komposisi kimianya, unsur-unsur yang terdapat didalamnya, dan bentuk strukturnya.

2.9 Kekerasan (Hardness Test)

Kekerasan adalah kemampuan material logam dalam menerima gaya berupa penetrasi, pengikisan, penggoresan, dan indentasi, sifat kekerasan mempunyai korelasi dengan sifat tahan aus. Nilai kekerasan sebuah raw material sangat penting untuk diketahui. Nilai tersebut digunakan untuk mengetahui proses yang akan dilakukan kepada raw material tersebut untuk kepentingan produksi.

Terdapat beberapa macam pengujian kekerasan, seperti yang disebutkan dalam tabel 2.1. berbagai macam pengujian kekerasan tersebut diperuntukkan kepada karakteristik benda uji yang berbeda-beda.

Tabel 2.2 Karakteristik berbagai pengujian kekerasan

Cara pengujian	Briell (H_R)	Rockwell (H_{RA} , H_{RC} etc.)	Rockwell superficial (H_{R30T} , H_{R30N} dst)	Vickers (H_V)	Kekerasan mikro (H_K)	Shore (H_S)
Penekan	Bola baja 10 mm ϕ 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	$\frac{\text{Beban}}{\text{Luas penekanan}}$	Dalamnya penekanan	Dalamnya penekanan	$\frac{\text{Beban}}{\text{Luas penekanan}}$	$\frac{\text{Beban}}{\text{Luas penekanan}}$	Tinggi pantulan 6,5" dari 10" tinggi pantulan asal adalah 100

Sumber : Surdia dan Saito, 1992:32

Pengujian yang paling banyak dipakai ialah indentasi atau penekanan. sebuah bola baja ataupun benda lainnya yang mempunyai kekerasan tinggi ditekan kepada sebuah benda uji, hasil dari penekanan tersebut di ukur dan dihitung untuk menghasilkan nilai kekerasan.

Metode pengujian kekerasan telah disepakati melalui tiga metode pengujian kekerasan dengan satuan yang baku, yaitu penekanan, goresan, dan dinamik. Pengujian kekerasan dengan cara penekanan banyak digunakan oleh industri permesinan, dikarenakan prosesnya sangat mudah dan cepat dalam memperoleh angka kekerasan

logam tersebut apabila dibandingkan dengan metode pengujian lainnya. Pengujian kekerasan dengan cara penekanan terdiri dari tiga jenis, yaitu pengujian kekerasan dengan metode Rockwell, Brinell, dan Vickers. Ketiga metode tersebut memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing, serta perbedaan dalam menentukan angka kekerasannya. Metode Brinell dan Vickers memiliki prinsip dasar yang sama dalam menentukan angka kekerasannya, yaitu menitikberatkan pada perhitungan kekuatan bahan terhadap setiap daya luas penampang bidang yang menerima pembebanan tersebut. Sedangkan metode Rockwell menitikberatkan pada pengukuran kedalaman hasil penekanan atau penekan (indentor) yang membentuk bekasnya (indentasi) pada benda uji.

2.9.1 Metode Pengujian Brinell

Cara pengujian Brinell dilakukan dengan penekanan sebuah bola baja yang terbuat dari baja krom yang telah dikeraskan dengan diameter tertentu oleh suatu gaya tekan secara statis kedalam permukaan logam yang diuji tanpa sentakan. Permukaan logam yang diuji harus rata dan bersih. Diameter paling atas dari lekukan tersebut diukur secara teliti. Pengujian brinell ini tidak diperuntukkan untuk benda uji yang sangat keras, namun selama benda uji tersebut tidak menyebabkan deformasi pada bola penekanan. pengujian metode ini digunakan untuk benda uji yang tipis kurang dari $\frac{1}{4}$ in.



Gambar 2.30 Brinell Hardness Tester

Sumber : Palton, 1974:112

2.9.2 Metode pengujian Rockwell

Metode Rockwell sama halnya seperti metode brinell, pengujian melalui indentasi. Namun metode Rockwell dapat digunakan kepada benda yang tipis maupun benda yang keras. Indentor dari metode Rockwell ini yaitu kerucut intan dengan besar sudut 120° dan disebut sebagai *rockwell cone* dan bola baja dengan berbagai ukuran dan disebut sebagai *rockwell ball*.

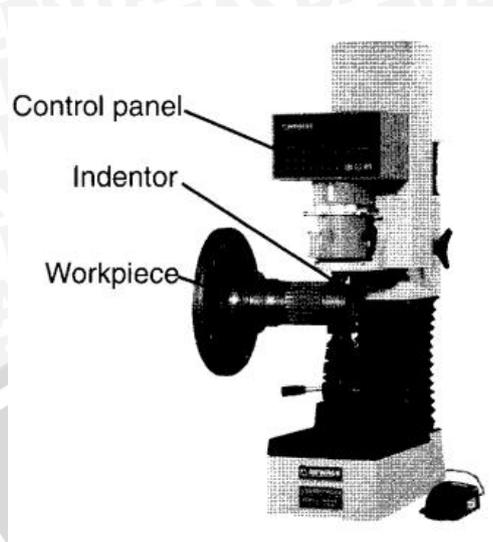
Terdapat beberapa macam pengujian metode Rockwell, diantaranya yaitu metode Rockwell A – E, yang membedakannya yaitu indentor, pembebanan, dan nilai kekerasannya. tabel 2.2 dibawah menunjukkan perbedaan antara berbagai metode pengujian kekerasan yang ada.

Tabel 2.2 Perbedaan dari beberapa metode kekerasan

Test	Indenter	Shape of indentation		Load, P	Hardness number
		Side view	Top view		
Brinell	10-mm steel or tungsten-carbide ball			500 kg 1500 kg 3000 kg	$HB = \frac{2P}{(\pi D)(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers	Diamond pyramid			1–120 kg	$HV = \frac{1.854P}{L^2}$
Knoop	Diamond pyramid			25 g–5 kg	$HK = \frac{14.2P}{L^2}$
Rockwell A } C } D }	Diamond cone			60 kg	HRA
				150 kg	HRC
				100 kg	HRD
} = 100 – 500t					
B } F } G }	1.6-mm diameter steel ball			100 kg	HRB
				60 kg	HRF
				150 kg	HRG
} = 130 – 500t					
E	3.2-mm diameter steel ball			100 kg	HRE

Sumber : Kalpakjian, 2009:70

Pada pengujian kekerasan metode Rockwell ini benda uji harus datar dan bagian bawah material harus bersih dari kotoran, dan tidak berlubang. Ketebalan benda uji dari metode Rockwell ini dapat dilihat pada table minimum ketebalan untuk penggunaan indentor pada ASTM E 18.

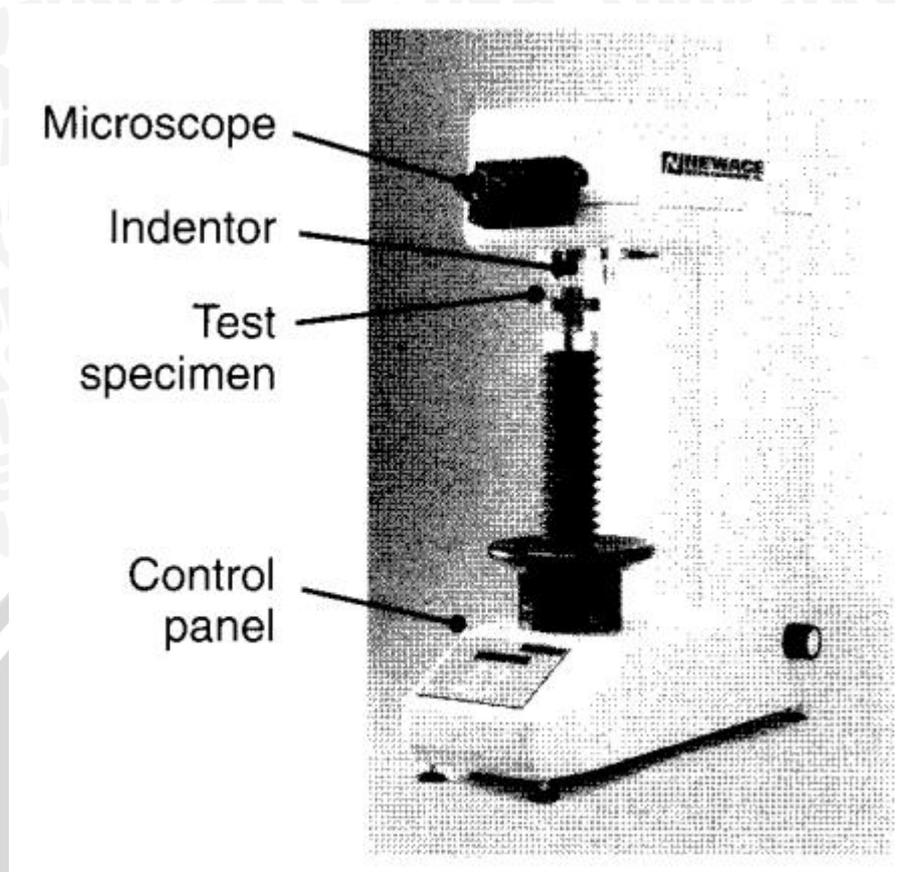


Gambar 2.31 *Rockwell Hardness Tester*

Sumber :Kalpakjian, 2009:69

2.9.3 Metode Pengujian Vickers

Metode Vickers ini berdasarkan pada penekanan oleh suatu gaya tekan tertentu oleh sebuah indenter berupa pyramid diamond terbalik dengan sudut puncak 136° ke permukaan logam yang akan diuji kekerasannya, dimana permukaan logam yang diuji ini harus rata dan bersih. Angka kekerasan Vickers (VHN) didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pengujian Vickers dapat dilakukan tidak hanya pada benda yang lunak akan tetapi juga dapat dilakukan pada bahan yang keras. Bekas penekanan yang kecil pada pengujian Vickers mengakibatkan kerusakan bahan percobaan relatif sedikit. Pada benda kerja yang tipis atau lapisan permukaan yang tipis dapat diukur dengannya yang relatif kecil.



Gambar 2.32 *Vickers Hardness Tester*

Sumber :Kalpakjian, 2009:69

Uji kekerasan Vickers menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136° . Sudut ini dipilih karena nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan brinell. Angka kekerasan piramida intan (DPH), atau angka kekerasan Vickers (VHN atau VPH), didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan.

Hal-hal yang menghalangi keuntungan pemakaian metode Vickers adalah uji kekerasan Vickers tidak dapat digunakan untuk pengujian rutin karena pengujian tersebut lamban, memerlukan persiapan permukaan benda uji yang hati-hati, dan terdapat pengaruh kesalahan manusia yang besar pada penentuan panjang diagonal. Lekukan yang benar terbuat dari penumbuk piramida intan harus berbentuk bujur sangkar.

2.10 Uji Metalografi

Uji metalografi merupakan suatu teknik atau suatu metode yang digunakan untuk mengamati struktur mikro yang ada pada logam dengan menggunakan mikroskop optis dan mikroskop elektron. Selain itu, metalografi juga dapat digunakan sebagai suatu metode persiapan pada material untuk mengukur, baik secara kuantitatif maupun kualitatif dari informasi-informasi yang dapat diamati dari material. Contohnya seperti fasa, butir, komposisi kimia material, orientasi butir, jarak atom, dislokasi, topografi dan sebagainya. Pengamatan tersebut dilakukan terhadap specimen yang telah diproses sebelumnya sehingga bisa diamati sampai pembesaran tertentu.

Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan pada proses uji metalografi adalah sebagai berikut :

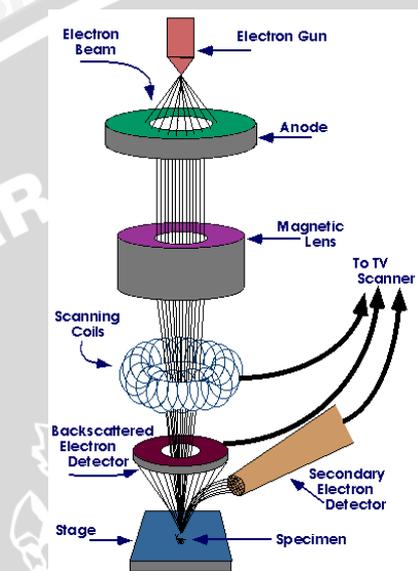
1. Pematangan (*Sectioning*)
2. *Mounting*
3. *Grinding*
4. *Polishing*
5. *Etching*

Setelah lima langkah diatas sudah dilakukan, specimen dapat langsung diamati melalui mikroskop dan diambil gambarnya melalui foto metalografi dengan pembesaran tertentu. Pada dasarnya, uji metalografi adalah melihat perbedaan antara intensitas sinar pantul pada permukaan logam yang masuk kedalam mikroskop, sehingga terjadi perbedaan pada gambar (gelap, agak terang dan terang). Sehingga jika permukaan pada logam semakin tidak rata, maka akan semakin sedikit intensitas sinar yang masuk ke dalam mikroskop. Hal ini akan menyebabkan warna yang tampak pada mikroskop adalah warna gelap. Tetapi, jika permukaan pada logam semakin rata, maka akan semakin banyak intensitas sinar yang masuk ke dalam mikroskop, sehingga menimbulkan warna yang terang. Hal-hal tersebut sangat dipengaruhi oleh orientasi sudut permukaan bidang yang terkena sinar.

2.11 SEM-EDX

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan mikroskop electron yang banyak digunakan dalam ilmu pengetahuan material. SEM banyak digunakan kerana memiliki kombinasi yang unik, mulai dari persiapan spesimen yang simple dan mudah, kapabilitas tampilan yang bagus serta fleksibel. Sem digunakan pada sampel yang

tebal dan memungkinkan untuk analisis permukaan. Pancaran berkas yang jatuh pada sampel akan dipantulkan dan didifraksikan. Adanya elektron yang terdifraksi dapat diamati dalam bentuk pola – pola difraksi. Pola – pola difraksi yang tampak sangat bergantung pada bentuk dan ukuran sel satuan dari sampel. Sem juga dapat digunakan untuk menyimpulkan data – data kristalografi, sehingga hal ini dapat dikembangkan untuk menentukan elemen atau senyawa.



Gambar 2.32 *Vickers Hardness Tester*

Sumber : repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/34572/3/Chapter%20II.pdf

Prinsip kerja SEM dapat dilihat pada Gambar 2.32 Dua sinar electron digunakan secara simultan. Satu strike specimen digunakan untuk menguji dan strike yang lain adalah CRT (Cathode Ray Tube) member tampilan yang dapat dilihat oleh operator. Akibat tumbukan pada spesimen dapat dihasilkan satu jenis elektron dan emisi foton. Sinyal yang terpilih dikoleksi, dideteksi dan dikuatkan untuk memodulasi tingkat keterangan dari sinar elektron yang kedua, maka sejumlah besar sinar akan menghasilkan titik gelap. SEM menggunakan prinsip scanning, maksudnya berkas elektron diarahkan dari titik ke titik pada objek. Gerakan berkas elektron dari satu titik ke titik yang lain pada suatu daerah objek menyerupai gerakan membaca. Gerakan membaca ini disebut dengan scanning.

Energi-dispersif spektroskopi sinar-X (EDS atau EDX) adalah sebuah teknik analisis yang digunakan untuk elemen analisis atau karakterisasi kimia sampel. Ini adalah salah satu varian dari fluoresensi sinar-X spektroskopi yang bergantung

padapenyelidikan sampel melalui interaksi antara radiasi elektromagnetik dan materi, menganalisis sinar-X yang dipancarkan oleh materi dalam menanggapi pukulan dengan partikel bermuatan. Kemampuan karakterisasi karena sebagian besar prinsip dasar bahwa setiap elemen memiliki unit struktur atom yang memungkinkan sinar-X yang merupakan ciri khas dari struktur atom suatu unsure untuk didefinisikan secara unik dari satu sama lain. Untuk merangsang emisi sinar-X karakterisasi dari spesimen, sinar energi tinggi partikel bermuatan seperti elektron atau proton, atau sinar α , difokuskan ke dalam sampel yang sedang dipelajari. Pada saat istirahat, atom dalam sampel mengadung keadaan dasar (atau tereksitasi) elektron ditingkat energi diskrit atau kulit elektron terikat inti. Balok insiden dapat meningkatkan sebuah elektron dalam shell batin, mengeluarkannya dari shell sementara menciptakan lubang elektron dimana elektron itu. Elektron dari luar, energi yang lebih tinggi shell kemudian mengisi lubang, dan perbedaan energi antara energi yang lebih tinggi shell dan shell energi yang lebih rendah mungkin akan dirilis dalam bentuk sinar α . Jumlah dan energi dari sinar α dipancarkan dari spesimen dapat diukur oleh spektrometer energi disperse. Sebagai energi dari sinar α karakteristik dari perbedaan energi antara dua cangkang, dan struktur atom unsure dari mana mereka dipancarkan, ini memungkinkan komposisi unsur dari specimen yang akan diukur.

2.12 Hipotesa

Camshaft adalah komponen yang harus mampu bekerja pada temperature dan gesekan yang tinggi, sehingga material yang dipakai diduga material yang tahan terhadap gesekan dan temperature tinggi.

Dikarenakan harus tahan gesekan maka kekerasan material *camshaft* diduga berkisar antara 60 HR_A s/d 75,5 HR_A

Dengan tingkat kekerasan dalam range itu, maka mikro struktur pada produk *camshaft* motor bakar 6 tak ini diduga mempunyai mikro struktur martensit.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode (*true experimental research*) experimental nyata dan secara langsung pada objek yang dituju bertujuan untuk mengetahui kondisi kekerasan, mikro struktur, dan jenis material yang terdapat pada produk camshaft pada motor bakar 6 langkah. Disamping itu juga dilakukan pengkajian terhadap dasar teori yang ada dari sumber literatur buku dan jurnal.

3.2 Variabel Penelitian

Terdapat tiga variabel dalam penelitian ini, yaitu variable bebas, variable terikat, dan variable terkontrol.

3.2.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi terjadinya sesuatu atau variabel penyebab. Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu :

- Layer kedalaman potong : 0 mm, 1 mm, dan 2 mm
- Titik Pengujian kekerasan : Ramp Awal Pembukaan, Puncak Lobe, Ramp akhir menutupnya katup, base circle

3.2.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas, adapun variabel terikat dalam penelitian ini yaitu tingkat kekerasan, dan jenis struktur mikro dan komposisi material dari camshaft.

3.2.3 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dijaga konstan selama penelitian. Variabel yang dijaga konstan selama penelitian ini adalah putaran batu gerinda 1400 rpm. Selain itu juga tingkat kekerasan dari batu gerinda dijaga agar konstan.

3.3 Spesifikasi Alat dan Bahan Penelitian

Secara garis besar peralatan penelitian yang harus dipersiapkan adalah, mesin gerinda, beserta perlengkapannya atau aksesorisnya (jig and fixture)

3.3.1 Peralatan Penelitian

a. Peralatan Pengukuran

Dial gauge 2109S-10 *Indicator with magnetic stand* mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

- Range : 50
- Range per rev. : 1 mm
- Measuring force : 0,4 – 3 N
- Graduation : 0,01 mm
- Scale : 0-100 (100-0)
- Inch – Metric : Metric



Gambar 3.1 *Dial gauge*

Sumber : [http://mitutoyo.incony.de/web/mitutoyo/en_GB/mitutoyo/1300892940906/3058S-19/\\$catalogue/mitutoyo Data/PR/ 3058S-19/index.xhtml](http://mitutoyo.incony.de/web/mitutoyo/en_GB/mitutoyo/1300892940906/3058S-19/$catalogue/mitutoyo%20Data/PR/3058S-19/index.xhtml)

b. Peralatan Penelitian

1) Batu Gerinda



Gambar 3.2 Batu Gerinda

Spesifikasinya sebagai berikut :

- Merk : Kinik
- Tipe : A46P-P7V6N
- Bahan : Al₂O₃ (Alumunium Oxide)
- Ukuran Serbuk Abrasif : 46 (medium)
- Kekerasan Batu Gerinda : K (Soft)
- Rasio Abrasive Batu Gerinda : 48%
- Bahan Pengikat : Vitrified
- Diameter Batu Gerinda : 125 mm
- Lebar Batu Gerinda : 13 mm
- Diameter Lubang Bushing Batu Gerinda : 12,7 mm

2) Motor

Motor ini digunakan untuk menggerakkan batu gerinda.



Gambar 3.3 Motor listrik

Spesifikasinya sebagai berikut :

- Daya : ¼ HP
- Daya Listrik : 190 Watt
- Voltase : 220 V AC
- Phase : 1
- Pole : 4
- Kecepatan : 1400 rpm

3) *Digital Micro Vickers Hardness Tester*

Spesifikasi alat :

- Merk : TH712
- D. indentor : 4,8 mm
- Berat beban : 0,098N, 0,245N, 0,48N, 0,78N, 1,96N, 2,94N, 4.503N
- Perbesaran : 100 kali, 400kali, 450kali
- *Power Supply* : 110V/220V, 60/50Hz



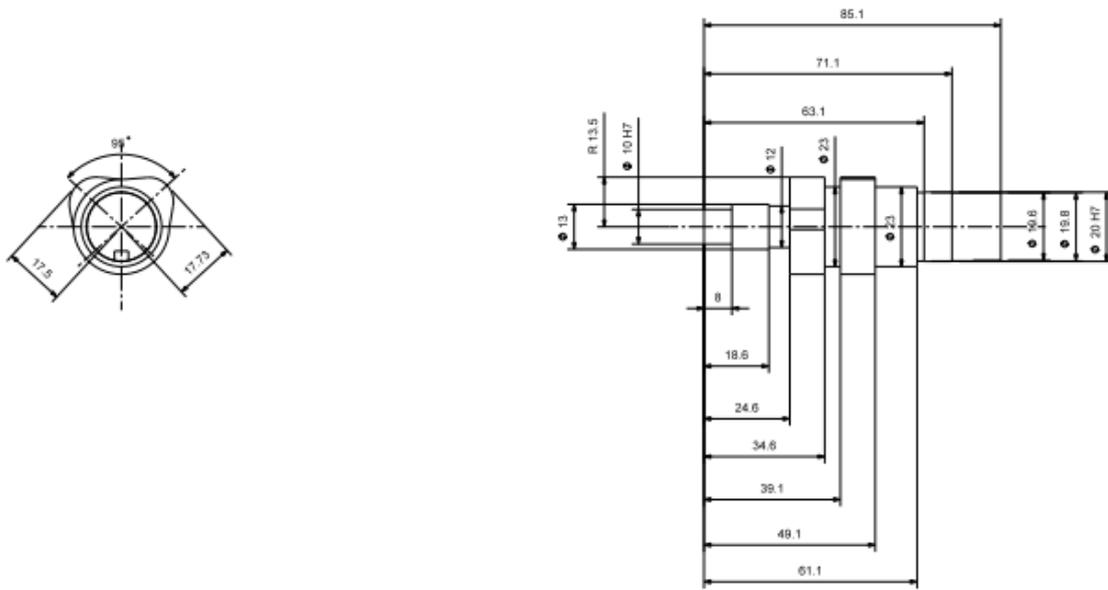
Gambar 3.3 *Digital Micro Vickers Hardness Tester*

Sumber: Laboratorium Pengujian Bahan Universitas Brawijaya (2016)

3.3.2 **Bahan Penelitian**

a. Benda kerja

Benda kerja yang digunakan adalah *Camshaft Honda New Blade 125 Fi* dengan spesifikasi sebagai berikut :



Gambar 3.4 Benda Kerja

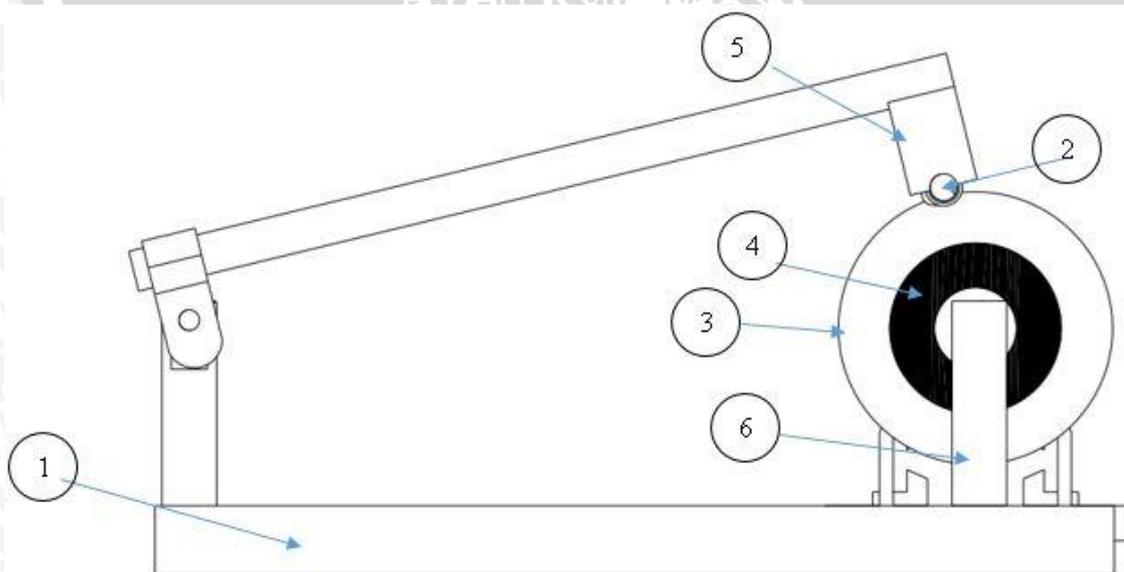
3.4 Tempat Penelitian dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan 1 November 2015 – 30 November 2015.

Tempat yang digunakan untuk penelitian yaitu:

- Laboratorium Proses Produksi, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang.
- Laboratorium Metalurgi Fisik Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.

3.5 Instalasi Penelitian



Gambar 3.5 Instalasi Penelitian

Keterangan :

1. Meja Gerinda
2. Benda Kerja
3. Motor
4. Batu Gerinda
5. Pencekam cam
6. Pengatur pemakanan

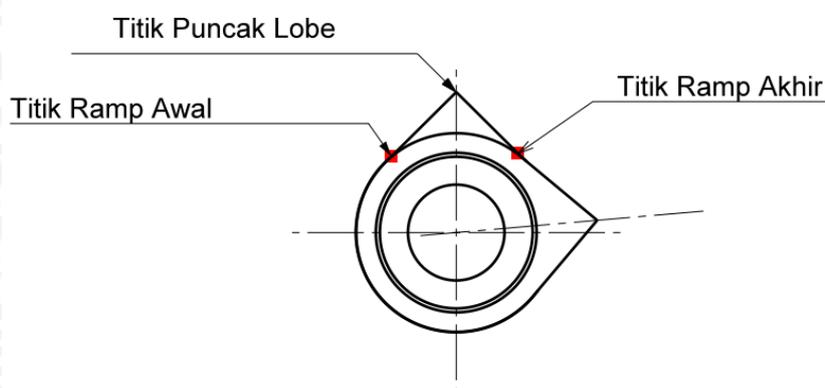
3.6 Langkah-Langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian adalah sebagai berikut:

- a. Siapkan peralatan pengukuran.
- b. Lakukan pengukuran camshaft
- c. Catat setiap informasi pengukuran yang diperlukan
- d. Siapkan alat gerinda
- e. Siapkan benda kerja yang telah diukur
- f. Pasang benda kerja pada pencekam yang tersedia pada gerinda
- g. Menyalakan motor gerinda
- h. Lakukan pemakanan sesuai dengan yang telah ditentukan
- i. Matikan motor
- j. Lakukan pengukuran
- k. Lakukan pengujian kekerasan pada benda kerja
- l. Catat hasil pengujian kekerasan

3.7 Proses Pengujian Kekerasan

Pengujian kekasaran permukaan dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Universitas Brawijaya, menggunakan Digital Micro Vickers Hardness Tester. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan dari spesimen dalam penelitian ini. Hasil dari spesimen-spesimen tersebut dibandingkan, untuk selanjutnya dianalisis lebih lanjut pengaruhnya terhadap kekuatan dan mampu bentuk.



Gambar 3.5 Titik Pengujian Kekerasan

3.8 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian digunakan untuk mencari karakteristik dari camshaft mengenai kekerasan, strktur mikro, dan komposisi kimia.

3.9 Metode Pengambilan Data

3.9.1 Analisa Data

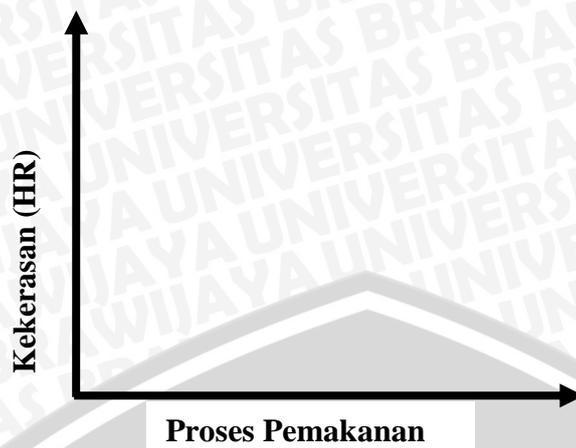
Pengujian ini meliputi uji kekerasan pada camshaft motor bakar 6 langkah. Data yang didapat akan dicatat dan diolah kemudian dimasukkan kedalam Tabel Data Hasil Kekerasan dibawah ini.

Tabel 3.2 Rancangan Data Pengujian kekerasan.

Titik Pengujian	Cam	Sebelum Proses Pemakann			Seteleah Proses Pemakanan				
					1		2		
Lobe tertnggi	In								
	Out								
Ramp awal	In								
	Out								
Ramp akhir	In								
	Out								

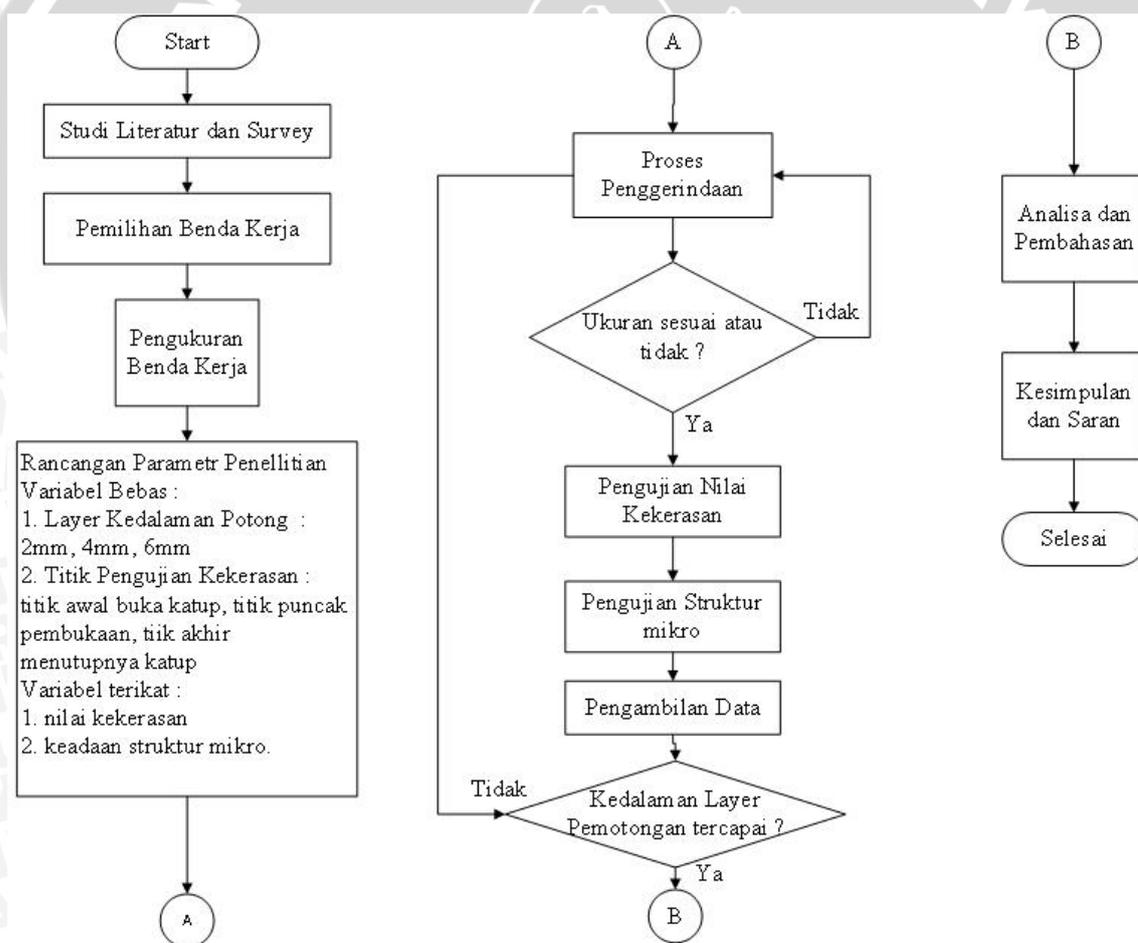
3.9.2 Analisa Grafik

Analisis grafik dilakukan dengan menggunakan bantuan software microsoft exel. Analisis grafik dilakukan dengan pengamatan perubahan *trend* data pada grafik yang diperoleh dari plotting data.



Gambar 3.9 Rancangan Grafik Hubungan Antara Kekerasan rata-rata dan kedalaman proses pemakanan.

3.10 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.10 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

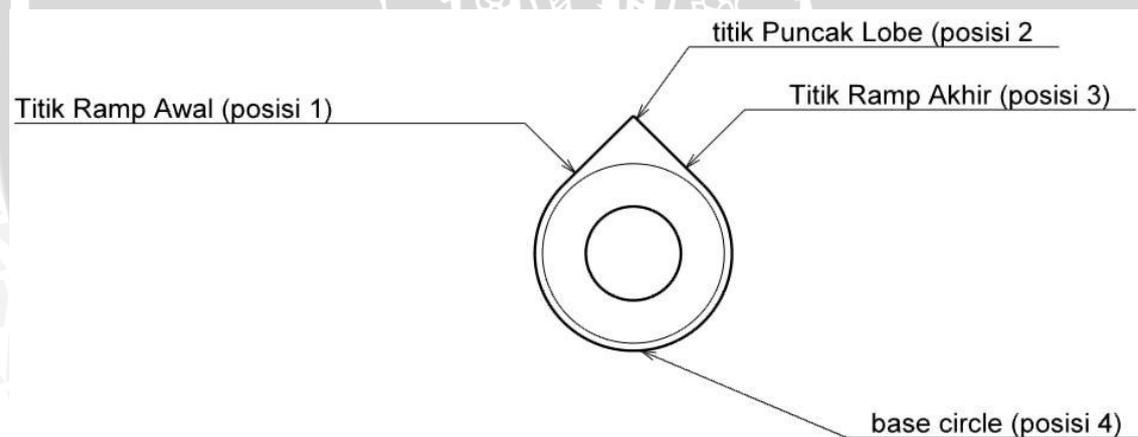
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Dalam Penelitian ini terdapat 3 macam data yang idambil, yaitu data kekerasan, data pengujian foto mikrostruktur, dan data pengujian komposisi. Berikut data yang telkah dihimpun.

4.1.1 Data Kekerasan Chamshaft

Dalam penelitian ini, dilakukan pengambilan data kekerasan dari *camshaft* layer sebelum dipotong (0 mm), layer 1 mm dan layer 2 mm. Layer yang dimaksud adalah *camshaft* dipotong dengan geometri sama dengan perbedaan ukuran penampang berkurang 1mm dan 2mm. Pengambilan data kekerasan ini menggunakan alat ukur *digital micro vickers hardness tester*. Pengambilan nilai kekerasan dilakukan pada 4 titik seperti gambar Nilai kekerasan permukaan yang didapat adalah kekerasan rata – rata.



Gambar 4.1 Titik pengambilan nilai kekerasan

Tabel 4.1 Data nilai kekerasan *chamshaft*

Layer	Katup	Nilai Kekerasan			
		Posisi			
		1	2	3	4
0 mm	in	681.2	497.2	513.7	487.7
		601.2	556.8	564.5	520.5
		572.4	490.9	553	510.3
	out	724.4	500.5	527.5	478.5
		691.6	457.9	510.3	430.7
		585.5	444	503.7	412.1
1 mm	in	376.3	279.7	360.4	332.5
		358.7	313.8	351	328.2
		349	335.8	343.1	321.9
	out	381.6	309	385.4	334
		394.3	301.2	343.1	322
		396.6	322	320.3	320.3
2 mm	in	310.2	229.3	318.7	244.9
		295.3	219.6	317	228.4
		285.4	229.1	269.7	241.9
	out	271.1	242.8	255.7	246.2
		266.7	220.2	258.2	285
		256.3	228.9	248.2	233.3

Tabel 4.2 Data nilai rata – rata kekerasan *chamshaft*

Layer	Katup	Nilai Kekerasan Rata - Rata				Nilai Kekerasan Rata - Rata (HVN)	Nilai Kekerasan Rata - Rata (HRA)
		Posisi					
		1	2	3	4		
0 mm	in	618.27	514.97	543.73	506.17	545.78	76.9
	out	667.17	467.47	513.83	440.43	522.23	76.2
1 mm	in	361.33	309.77	351.50	327.53	337.53	67.4
	out	390.83	310.73	349.60	325.43	344.15	67.8
2 mm	in	296.97	226.00	258.47	238.40	254.96	62
	out	254.70	230.63	290.70	254.83	251.05	61.7

4.1.2 Data Hasil Pengujian Foto Mikrostruktur

Data dari mikrostruktur ini diambil juga dengan memanfaatkan layer sama halnya pada pengujian kekerasan. Berikut data yang berhasil diambil dengan perbesaran 400x.



Gambar 4.2 Foto Uji Mikro layer sebelum; (a) Cam Out; (b) Cam In



Gambar 4.3 Foto Uji Mikro layer 1mm; (a) Cam Out; (b) Cam In



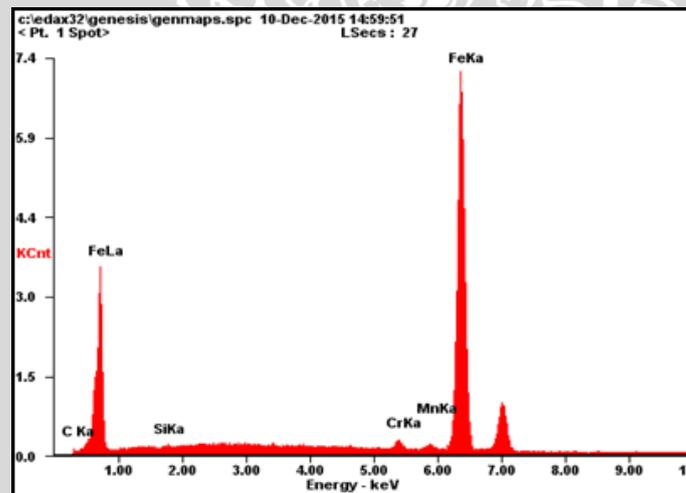
Gambar 4.4 Foto Uji Mikro layer 2mm; (a) Cam Out; (b) Cam In

Tabel 4.2 Data Persentase hitam *chamshaft*

Layer	Katup	PersentaseHitam
0 mm	in	53,67%
	out	51,3%
1 mm	in	50,4%
	out	50,2%
2 mm	in	45,7%
	out	46,4%

4.1.3 Data Hasil Pengujian Komposisi

Data hasil pengujian komposisi SAM-EDX diambil memanfaatkan alat yang berada di lab Fisika di Universitas Malang. Untuk hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut.



Gambar 4.5 Grafik Pengujian Komposisi

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Komposisi

Element	At%	Wt%
CK	02.92	03.39
SiK	01.89	02.14
CrK	01.22	01.25
MnK	01.04	01.01
FeK	92.93	92.21
Matrix	Correction	ZAF

4.2 Pengolahan Data

4.2.1 Contoh Perhitungan Kekerasan Mikrovikers dan Konversi Satuan *Vickers* kedalam Satuan *Rockwell*

Dari data tabel hasil pengujian di atas didapatkan perhitungan 4.1:

$$VHN = \frac{1,854.P}{D^2} \quad (4.1)$$

Keterangan :

- VHN : Angka kekerasan Vickers (kg/mm²)
 P : Beban yang diberikan (kg)
 D : Diameter bekas indentasi (mm)

$$VHN = \frac{1,854.200}{1,104^2}$$

$$VHN = 257$$

Setelah menghitung dan mengetahui nilai kekerasan dari masing-masing indentasi pada material kemudian di hitung kembali dengan menggunakan rumus mencari rata-rata dan mendapatkan hasil nilai kekerasan rata-rata.

Setelah diketahui nilai kekerasan, perlu dilakukannya konversi kekerasan dari satuan vickers kedalam satuan Rockwell. Untuk mengkonversi, dilakukan dengan melihat tabel dan juga interpolasi. Contoh perhitungannya sebagai berikut.

$$\frac{x_1 - x_2}{y_1 - y_2} = \frac{x - x_2}{y - y_2} \quad (4.2)$$

Keterangan :

- X₁ : Nilai di atas dari yang akan dicari pada tabel
 Y₁ : hasil dari nilai atas yang dicari pada tabel
 X₂ : Nilai di bawah dari yang akan dicari pada tabel
 Y₂ : hasil dari nilai bawah yang dicari pada tabel
 X : Nilai yang dicari interpolasi
 Y : Nilai hasil interpolasi yang dicari

Dari rumus interpolasi diatas maka dapat dikonversikan nilai vikers kedalam satuan Rockwell A dengan melihat tabel konversi nilai kekerasan seperti contoh perhitungan :

$$\frac{x_1 - x_2}{y_1 - y_2} = \frac{x - x_2}{y - y_2}$$

$$\frac{260 - 255}{62,4 - 62} = \frac{257,72 - 255}{y - 62}$$

$$\frac{5}{0,4} = \frac{2,72}{x - 62}$$

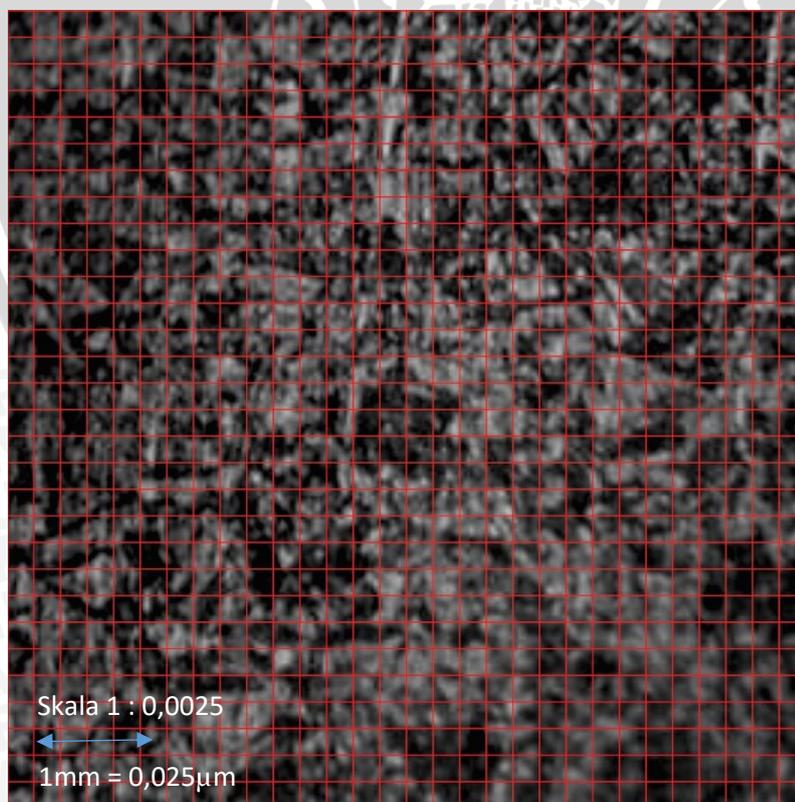
$$12,5x = \frac{777,72}{12,5}$$

$$x = 62,2176$$

Maka konversi kekerasan 257,72HVN kedalam Rockwell adalah 62,21HRA

4.2.2 Contoh Perhitungan Presentase Hitam pada Hasil Foto Mikro

Untuk menghitung presentase wana hitam pada hasil foto mikro digunakan tabel atau pembagian sehingga menjadi seperti contoh berikut :



Gambar 4.6 perhitungan persentase hitam dan putih

Setelah itu presentase dapat dihitung dengan menggunakan rumus 4.2.

$$\% \text{ hitam} = \frac{\text{Jumlah kotak hitam}}{\text{jumlah seluruh kotak}} \times 100\% \quad (4.3)$$

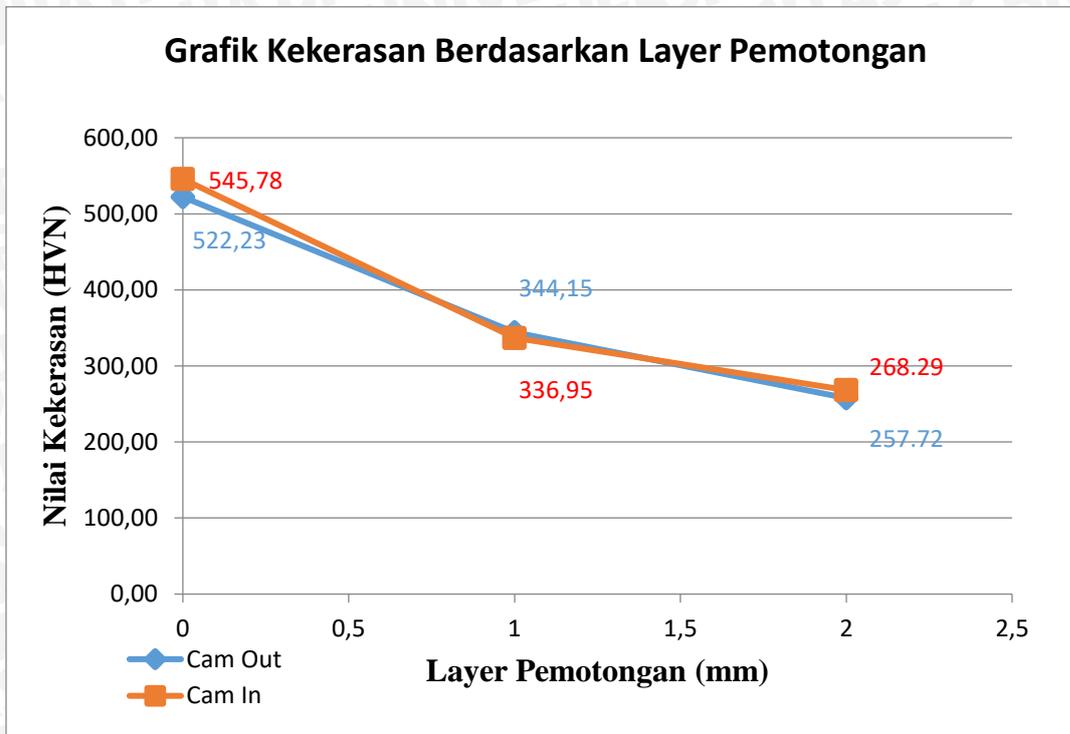
$$\% \text{ hitam} = \frac{483}{900} \times 100\%$$

$$\% \text{ hitam} = 53,67\%$$



4.3 Pembahasan

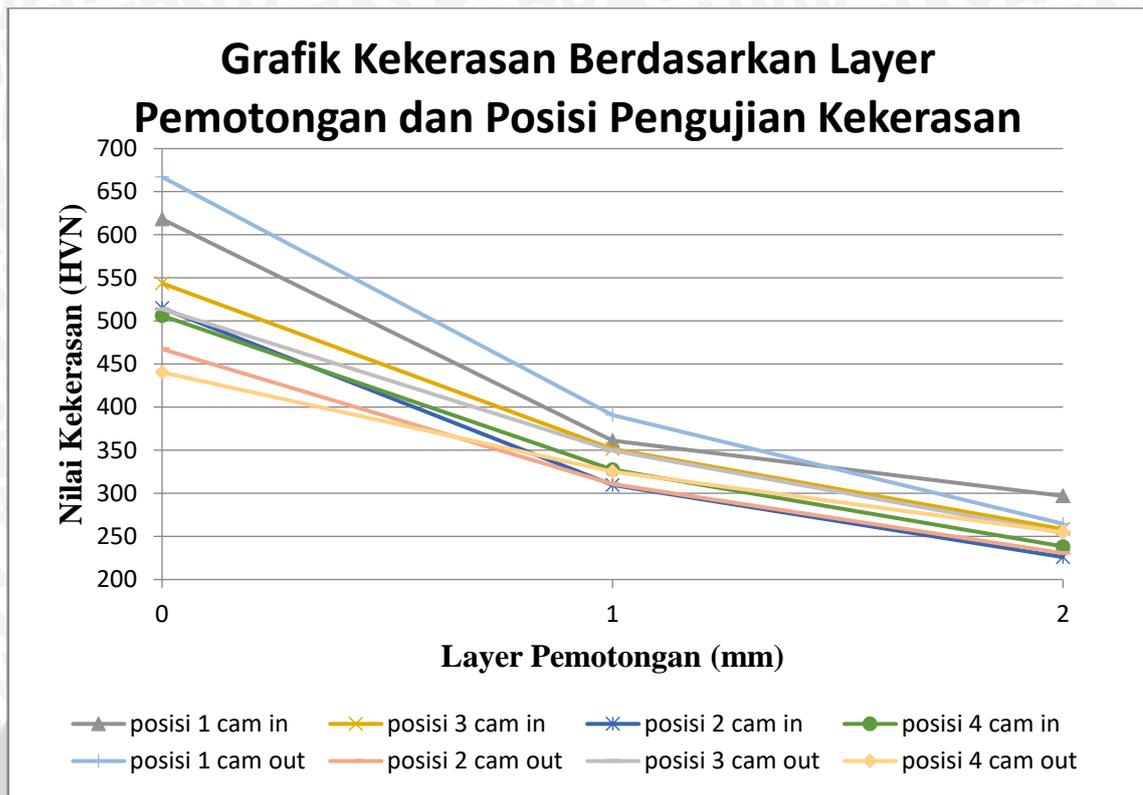
4.3.1 Tingkat Kekerasan Pada *Camshaft*



Gambar 4.7 Grafik Kekerasan Rata-Rata Berdasarkan Layer Pemotongan

Grafik di atas menunjukkan nilai kekerasan pada *camshaft* berdasarkan layer pemotongan. Dari grafik di atas memiliki kecenderungan menurun, nilai tertinggi yang dicapai terdapat pada layer 0 mm dengan nilai 545,78 HVN pada cam in dan 522,23 HVN out. Nilai terendah didapat pada layer 2 mm dengan nilai 268,29 HVN pada cam in dan 257,72 HVN pada cam out. Pada layer 0 mm mempunyai kekerasan yang paling tinggi dan menurun seiring bertambahnya layer setelahnya. Hal ini membuktikan bahwa *camshaft* tersebut dikenai perlakuan *surface hardening*, yang menyebabkan nilai kekerasannya akan tinggi pada permukaan *camshaft* saja.

Jadi dapat disimpulkan semakin banyaknya layer yang di tambahkan maka nilai kekerasannya akan semakin menurun. Namun lapisan *surface hardening* yang dikenakan pada *camshaft* tebalnya tidak lebih dari 1mm, hal ini dibuktikan dengan nilai yang menurun sangat jauh pda layer 0 mm dengan layer 1 mm. Menurut Supriyanto, et al (2011) kekerasan rata – rata yang dibutuhkan pada *camshaft* berkisar antara 60 HRA – 75,5 HRA. Dari pernyataan tersebut maka *camshaft* ini memenuhi standar untuk digunakan sebagai *camshaft*.

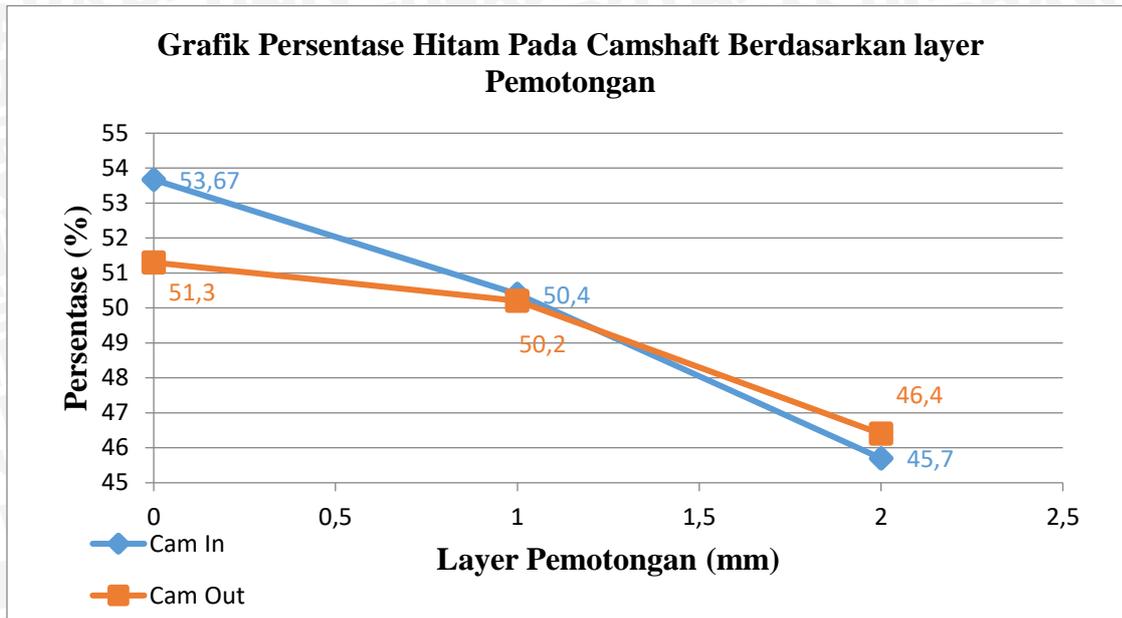


Gambar 4.8 Grafik Kekerasan Rata-Rata Berdasarkan Layer Pemotongan dan posisi pengujian kekerasan

Grafik di atas menunjukkan nilai kekerasan pada *camshaft* berdasarkan layer pemotongan dengan nilai kekerasan berdasarkan posisi titik pengujian kekerasan. Dari grafik di atas memiliki kecenderungan menurun, nilai tertinggi pada layer 0 mm pada grafik diperoleh pada posisi 1 cam out dengan nilai rata-rata kekerasan 667,17 HVN. Sedangkan nilai terendah pada layer 0 mm terdapat pada posisi 4 cam out dengan nilai 440,43 HVN. Nilai tertinggi pada layer 1 mm pada grafik diperoleh pada posisi 1 cam out dengan nilai rata-rata kekerasan 390.83 HVN. Sedangkan nilai terendah pada layer 0 mm terdapat pada posisi 2 cam in dengan nilai 309.77 HVN. Nilai tertinggi pada layer 2 mm pada grafik diperoleh pada posisi 1 cam in dengan nilai rata-rata kekerasan 296.97 HVN. Sedangkan nilai terendah pada layer 0 mm terdapat pada posisi 2 cam out dengan nilai 226 HVN.

Dari grafik di atas dapat disimpulkan bahwa nilai kekerasan tertinggi terdapat pada posisi 1 cam in dan posisi 1 cam out pada setiap layer. Hal ini dikarenakan fungsi dari posisi 1 atau disebut juga ramp awal yaitu mengangkat atau membuka katup dari posisi awal menutup, sehingga terdapat tekanan yang besar untuk mengangkat katup dari posisi awal yang ditahan dengan pegas.

4.3.2 Keadaan struktur mikro pada *Camshaft*

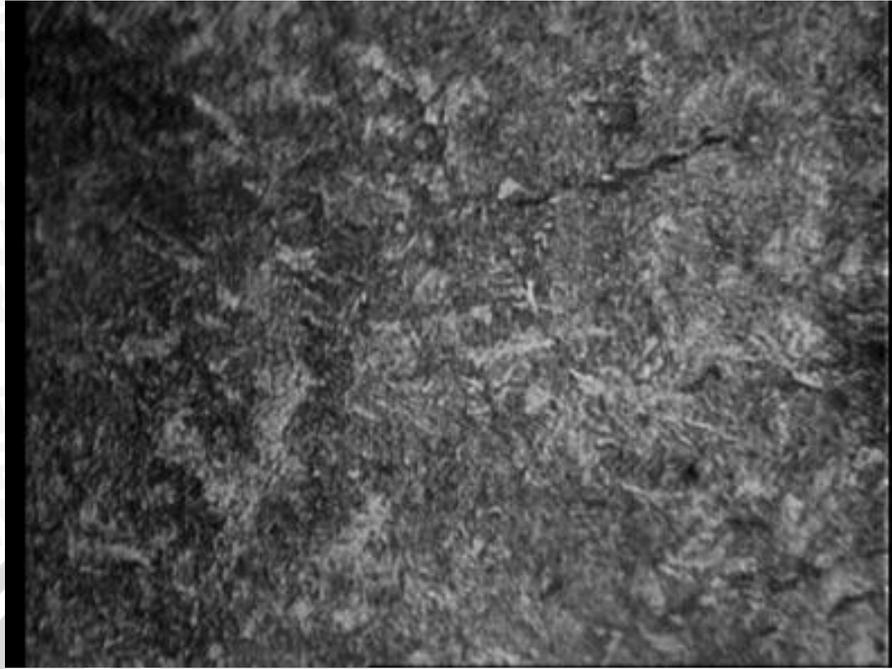


Gambar 4.9 Grafik persentase hitam pada *camshaft* berdasarkan layer pemotongan

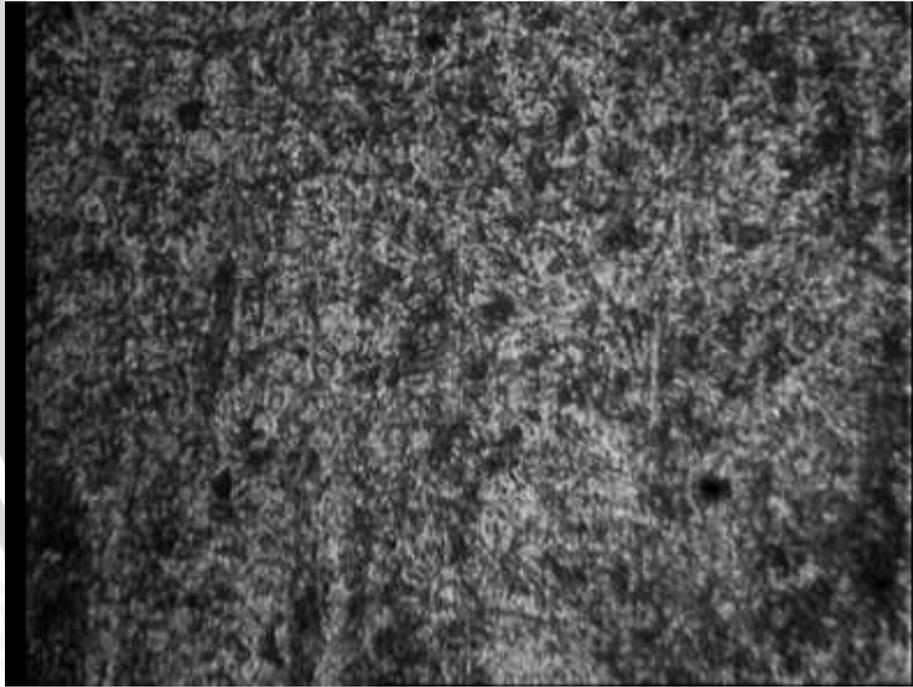
Grafik di atas menunjukkan persentase hitam (*martensite*) pada *camshaft* berdasarkan layer pemotongan. Dari grafik di atas memiliki kecenderungan menurun, nilai tertinggi yang dicapai terdapat pada layer 0mm dengan nilai 53,67% pada cam in dan 51,3% pada cam out. Sedangkan nilai terendah terdapat pada layer 2mm dengan nilai 45,7% pada cam in dan 46,4% pada cam out. Dari grafik di atas menunjukkan bahwa persentase hitam paling tinggi terdapat pada layer terluar atau layer 0mm. hal ini menunjukkan bahwa *camshaft* dikenai perlakuan *surface hardening* dengan banyaknya persentase hitam (*martensite*) yang menyebabkan kekerasannya akan bernilai tinggi seperti pada halnya ditunjukkan gambar 4.6.

Jadi semakin banyak layer yang ditambahkan maka nilai persentase hitam (*martensite*) akan semakin menurun. Nilai martensit yang menurun akan menyebabkan benda mempunyai sifat ulet yang akan menjadikan bahan tidak mudah retak. Sedangkan *camshaft* digunakan pada keadaan beban dan kecepatan yang tinggi sehingga sifat ulet ini dibutuhkan untuk ketahanan yang lama.

Pada gambar 4.7 hingga 4.12 dapat dilihat bahwa *camshaft* mempunyai struktur martensit.



Gambar 4.9 Foto Uji Mikro layer sebelum Cam Out



Gambar 4.10 Foto Uji Mikro layer sebelum Cam in



Gambar 4.11 Foto Uji Mikro layer 1mm Cam out



0

Gambar 4.12 Foto Uji Mikro layer 1mm Cam in



Gambar 4.13 Foto Uji Mikro layer 2mm Cam out



Gambar 4.14 Foto Uji Mikro layer 2mm Cam in

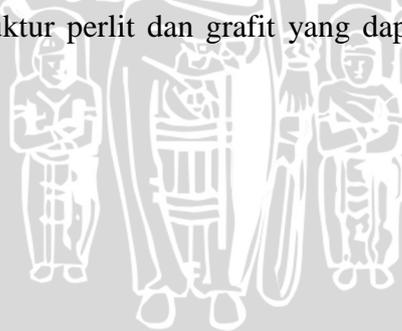


4.3.3 Komposisi Material yang digunakan pada *camshaft*

Dalam tabel 4.3 telah ditunjukkan dari nilai komposisi yang terkandung dalam material *camshaft* motor bakar 6 tak. Berdasarkan hasil pengujian komposisi yang telah dilakukan terdapat beberapa unsur yang terkandung dalam *camshaft* motor bakar 6 tak ini, diantaranya yaitu Carbon (C), Silicon (Si), Chromium (Cr), Mangan (Mn), dan Iron (Fe).

Unsur carbon (C) yang terkandung dalam *camshaft* yaitu 3,39% dapat diklarifikasikan bahwa *camshaft* ini termasuk dalam besi tuang dengan carbon yang bernilai lebih dari 2%. Dalam *camshaft* ini juga terkandung unsur silicon (Si) sebesar 2,14%. Unsur silicon dalam besi tuang dapat meningkatkan kekuatan dari ferit dan sebagai elemen deoksidasi. Dengan demikian dapat menaikkan kekuatan besi tanpa mengakibatkan penurunan terhadap keuletan (berfungsi sebagai penyetabil sementit). Selain itu unsur chromium (Cr) sebesar 1,25% menjadikan besi cor tersebut mempunyai kekuatan tarik yang lebih baik dikarenakan memberikan struktur grafit dan struktur perlit yang halus, selain itu unsur chromium juga mendapatkan agar besi cor tahan panas.

Kemudian Unsur mangan (Mn) sebesar 1,01% berfungsi sebagai deoksidasi dari besi selain itu berfungsi sebagai penyetabil sementit dan larut didalamnya. Ia membuat butir-butir halus yang perlitis dan mencegah pengendapan ferit, dengan penambahan unsur mangan akan didapatkan struktur perlit dan grafit yang dapat menguletkan dan menguatkan besi.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

- 1 Semakin banyaknya layer yang di tambahkan maka nilai kekerasannya akan semakin menurun. Namun lapisan *surface hardening* yang dikenakan pada *camshaft* tebalnya tidak lebih dari 1mm.
- 2 nilai kekerasan tertinggi terdapat pada posisi 1 cam in dan posisi 1 cam out pada setiap layer. Hal ini dikarenakan fungsi dari posisi 1 atau disebut juga ramp awal yaitu mengangkat atau membuka katup dari posisi awal menutup, sehingga terdapat tekanan yang besar untuk mengangkat katup dari posisi awal yang ditahan dengan pegas.
- 3 semakin banyak layer yang ditambahkan maka nilai persentase hitam (martensite) akan semakin menurun. Nilai *martensite* yang menurun akan menyebabkan benda mempunyai sifat ulet yang akan menjadikan bahan tidak mudah retak. Sedangkan *camshaft* digunakan pada keadaan beban dan kecepatan yang tinggi sehingga sifat ulet ini dibutuhkan untuk ketahanan yang lama.
- 4 Unsur carbon (C) yang terkandung dalam *camshaft* yaitu 3,39% dapat diklarifikasikan bahwa *camshaft* ini termasuk dalam besi tuang dengan carbon yang bernilai lebih dari 2%, unsur silicon (Si) sebesar 2,14% untuk meningkatkan kekuatan dari ferit dan sebagai elemen deoksidasi, unsur chromium (Cr) sebesar 1,25% menjadikan besi cor tersebut mempunyai kekuatan tarik yang lebih baik dikarenakan memberikan struktur grafit dan struktur perlit yang halus, selain itu unsur chromium juga mendapatkan agar besi cor tahan panas, Unsur mangan (Mn) sebesar 1,01% akan didapatkan struktur perlit dan grafit yang dapat menguletkan dan menguatkan besi.

5.2 Saran

- 1 Diperlukan penambahan variable layer pemotongan yang lebih jangkauannya agar dapat terlihat batas kekerasan yang diperlukan untuk kekerasan pada permukaan.
- 2 Dapat ditambahkan spesimen pada pengujian komposisi agar hasil yang didapat lebih akurat.

Daftar Pustaka

- Bell, Graham. 1981. *Modern Engine Tuning*. England of Haynes Publishing Group
- Hammil, Des, 1998. *How to choose camshaft and time them for maximum power*. United kingdom: veloce publishing PLC.
- Jama, Julius, Wagino. 2008. *Teknik Sepeda Motor Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Kalpakjian, Serope, Steven R. Schmid. 2009. *Manufacturing Engineering and Technology*. Pearson.
- Martin, George H. 1994. *Kinematika dan Dinamika Teknik*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Noor, Gilang Rausan Fikri. 2015. *Pengaruh Diameter Venturi Karburator Terhadap Unjuk Kerja Motor Bakar 6 Langkah 1 Silinder Kapasitas 125 cc*. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
- Palton, William J. 1974. *Machine Tool Operation*. Canada: Red River Community Collage Manitoba
- Siswanto, Eko, Nurkholis Hamidi, Mega Nur Sasongko, and Denny Widhiyanuriyawan. A *Gasoline Six-stroke Internal Combustion Engine*. Patent Invention, Malang : Unpublished, 2014
- Supriyanto, Zaini Abdillah. 2011. *Tinjauan Ketahanan Aus Hasil Modifikasi Noken As Pada Motor Balap*. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra
- Surdia, Tata, Shinroku Saito. 1992. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

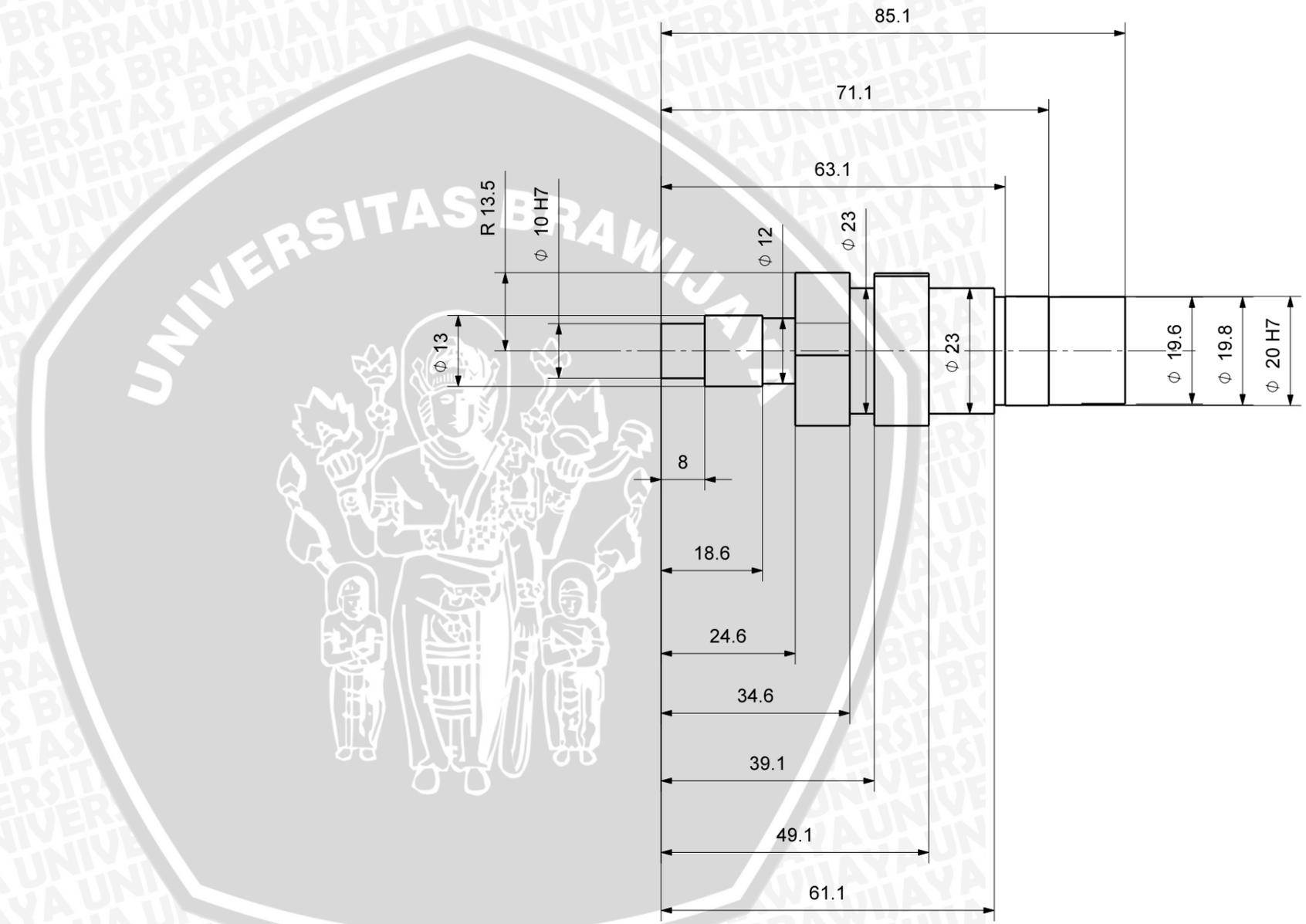
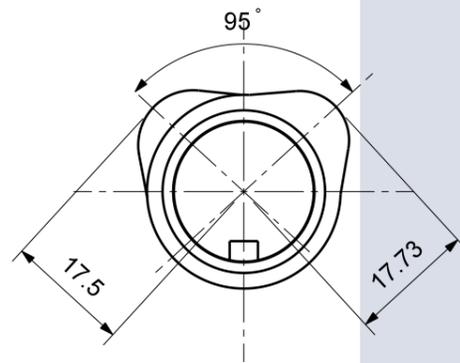
Yuniarta, I Gosa Bagus. 2012. *Pengaruh Perubahan Durasi dan LSA pada Camshaft Motor Jupiter Z 110 cc*. Jurusan Teknik Mesin Otomotif . Politeknik Madiun.





LAMPIRAN

N8 / Tol. ±0.1



	Skala 1 : 1	Digambar : Wisnu Setyo N.	PERINGATAN	
	Ukuran : mm	Dept : Mesin		
	Tanggal : 05-08-2015	Diperiksa : Eko Siswanto		
F.T. UB	Cam Shaft	001	A4	

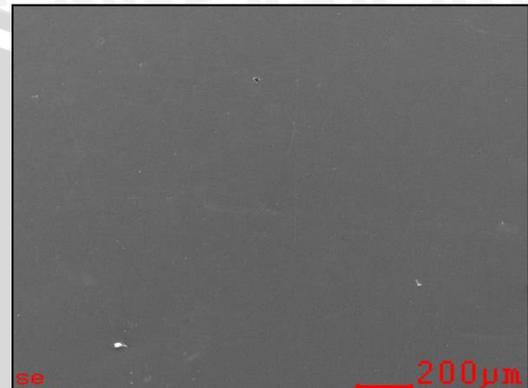
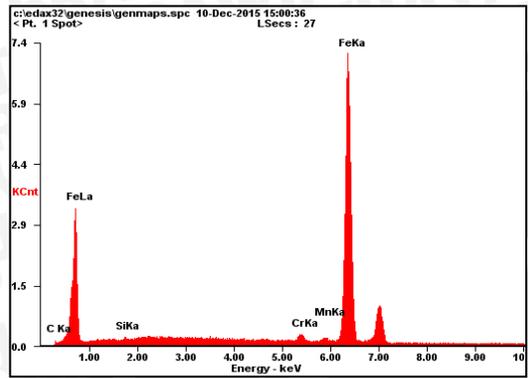
Microanalysis Report

Prepared for: Wisnu Setyo Nugroho – TM UB

Prepared by: Laboratorium Sentral FMIPA UM



12/10/2015



Element	At%	Wt%
CK	02.92	03.39
SiK	01.89	02.14
CrK	01.22	01.25
MnK	01.04	01.01
FeK	92.93	92.21
Matrix	Correction	ZAF



Lampiran

Dokumentasi



Gambar 1 benda kerja layer 0mm sebelum (kiri) dan benda layer 2mm sesudah (kanan)



Gambar 2 benda kerja layer 0mm sebelum



Gambar 3 benda layer 2mm sesudah

BRAWIJAYA

