

CARBURISING ON LOW CARBON STEEL

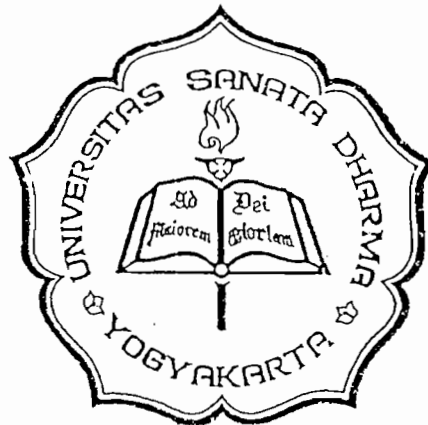
TUGAS AKHIR

No. : 277 / FT.USD / TM / OKTOBER / 2003

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat

Memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin

Program Studi Teknik Mesin



Oleh :

AG. JAROT WAHYU PUTRO

NIM : 985214084

NIRM : 980051123109120084

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANATA DHARMA
YOGYAKARTA

2003

KARBURISING PLAT BAJA KARBON RENDAH

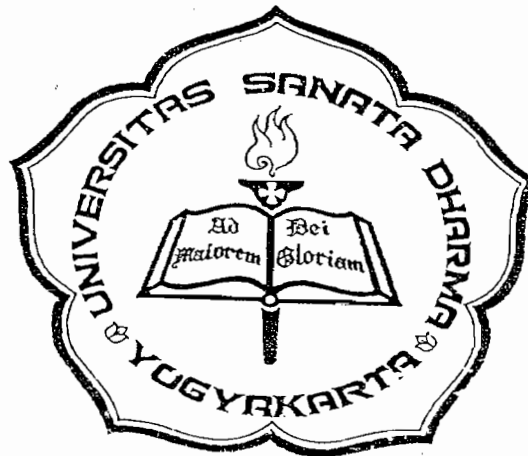
TUGAS AKHIR

No. : 277 / FT.USD / TM / OKTOBER / 2003

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat

Memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin

Program Studi Teknik Mesin



Oleh :

AG. JAROT WAHYU PUTRO

NIM : 985214084

NIRM : 980051123109120084

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SANATA DHARMA

YOGYAKARTA

2003

Halaman Persetujuan Pembimbing

TUGAS AKHIR

KARBURISING PLAT BAJA KARBON RENDAH

Oleh :

AG. JAROT WAHYU PUTRO

NIM. : 985214084

NIMR : 98005123109120084

Telah disetujui

Pembimbing utama



(Ir. SAMSUDIN)

tanggal : 17 Juni 2003

Pembimbing kedua



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

tanggal : 17 Juni 2003

**HALAMAN PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

CARBURISING ON LOW CARBON STEEL

Dipersiapkan dan ditulis oleh :

AG. JAROT WAHYU PUTRO

No. Mhs : 985214084

NIRM : 980051123109120084

Telah dipertahankan di depan Panitia Penguji
Pada tanggal
Dan dinyatakan memenuhi syarat

SUSUNAN PANITIA PENGUJI

Ir. Greg. Harjanto

I Gusti Ketut Puja, S.T.,M.T.

Ir. Samsudin

Budi Setyahandana, S.T.,M.T.

D. Dody Purwadianto, S.T.,M.T.

TANDA TANGAN

.....
.....
.....
.....
.....

Yogyakarta, 7 Juni 2003

Fakultas Teknik

Universitas Sanata Dharma

Dekan
Ir. Greg. Harjanto



TUGAS AKHIR PROGRAM S-1 JURUSAN TEKNIK MESIN

Nomor : 277 / FT_USD / TM / Oktober / 2002

Diberikan kepada :
Nama Mahasiswa : Ag. Jarot Wahyu P.
Nomor Mahasiswa : 985214084
NIRM : 980051123109120084
Jurusan : TEKNIK MESIN
Fakultas : TEKNIK
Matakuliah : Logam Fisis dan Mekanis

Judul / naskah soal :

Lakukan Proses Karbonising dengan bahan plat baja dengan kadar carbon rendah, bahan penambah carbon arang kayu dan arang tempurung kelapa dengan variasi suhu dengan waktu 3 jam.

Tanggal dimulai : 02 Oktober 2002

Dosen Pembimbing Kedua

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

Yogyakarta, 09 Oktober 2002

Dosen Pembimbing Utama

(Ir. Samsudin)



JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK - UNIVERSITAS SANATA DHARMA

Kampus III, Paingan Maguwoharjo, Sleman – Yogyakarta
Telp. (0274) 883037, 886530; Fax. (0274) 886529; Email: teknik@usd.ac.id

LEMBAR KONSULTASI TUGAS AKHIR

Nomor : 277 / FI / USD / TM / Oktober / 2003

Diberikan kepada :
 Nama Mahasiswa : Ag. Jarot Wahyu P.
 Nomor Mahasiswa : 085114084
 NIRM : 030051123109120084
 Jurusan : TEK. MESIN
 Fakultas : TEKNIK
 Mata kuliah : Logam Besi dan Mekanis
 Judul / naskah soal :

Lakukan Proses karburizing dengan bahan plat baja dengan kadar carbon rendah, bahan penambah carbon arang kayu dan arang tempurung kelapa dengan variasi suhu dengan waktu 3 jam.

Tanggal dimulai : 02 Oktober 2002
 Pembimbing Utama : Ir. Samsudin
 Pembimbing Kedua : Budi Setyandana, S.T.,M.T.

NO	TGL	URAIAN	KETERANGAN	TANDA TANGAN
1	27/02/12	- pemilihan dan pembelian jenis bj karbon dan pack karburizing	—	
2	6/03/1	- Pemotongan dan pengelasan plat @ Rendah.	—	
3	4/03/2	- Pengovenan/ karburizing dan Quenching	—	
4	25/03/2	- pengujian metalografi dan kekerasan	—	
5	4/03/3	- Analisis kekerasan dan metalografi	—	
6	1/03/4	- pengesahan Bab I - III IV - V	—	
7	28/03/4	- persetujuan laporan penelitian	—	
8	5/03/5	- Aoo naskah PBI	—	



JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK - UNIVERSITAS SANATA DHARMA

Kampus III, Paingan Maguwoharjo, Sleman - Yogyakarta
Telp. (0274) 883037, 886530; Fax. (0274) 886529; Email: teknik@usd.ac.id

LEMBAR KONSULTASI TUGAS AKHIR

Nomor : 277 / F. USD / TM / Oktober 2003

Diberikan kepada

Nama Mahasiswa

Ag. Juna Waluya P.

Nomor Mahasiswa

020310001

NIRMA

090001121100100001

Disusun

oleh DEWI DEWI

Fakultas

TEKNIK

Matakuliah

Logam Padat dan Melunir

Judul masalah soal

Analisis Proses Karbunising dengan bahan plat baja dengan kadar carbon rendah, bahan pemanasan carbon yang dapat dianalisis temperatur kelapanya dengan variasi suhu dengan waktu 3 menit.

Diujikan ditahun

2003/2004

Disusun oleh

DEWI DEWI

Disetujui oleh

DEWI DEWI (020310001)

NO	TGL	URAIAN	KETERANGAN	TANDA TANGAN
1	8/03/4	bab I - III	---	
2	11/03/4	Pengesahan I, II, III	---	
3	12/03/5	bab IV - V	---	

Tugas Akhir ini Saya Persembahkan Kepada :

1. Allah Bapa, Putra dan Roh Kudus beserta Bunda Maria.

2. Keluarga Bapak / Ibu Haratowiryono.

3. Sahabat-sahabatku.

4. Almamaterku.

5. Teman-temanku semuanya, terutama angkatan Teknik Mesin

1998.

KATA MUTIARA

HIDUP TANPA PERJUANGAN ADALAH SIA-SIA

HIDUP TANPA IMAN TIADA ARTINYA

IMAN TANPA PERBUATAN ADALAH MATI

PERBUATAN HARUS SALING MENCINTAI

MAKA CINTAILAH SESAMAMU

SEPERTI TUHAN MENCINTAI UMAT-NYA



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan Rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "PROSES KARBURISING PLAT BAJA DENGAN KADAR KARBON RENDAH". Adapun tugas ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat agar dapat menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma.

Tugas Akhir ini tidak lepas dari dukungan berbagai pihak, dengan kerendahan hati saya mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Ir. G. Harjanto, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
2. Ir. Samsudin, selaku Dosen Pembimbing I yang telah membimbing dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Budi Setyahandana, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Mas Martono dan Mas Intan, selaku pegawai Laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma yang telah membantu dalam penelitian.
5. Semua pihak khususnya teman-teman yang telah membantu saya dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Ayah dan Ibu yang tercinta yang selalu mendukung saya.

7. Semua teman-temanku yang telah banyak membantu, mendorong dan memberikan masukan yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Saran dan kritik yang bersifat membangun sangat saya harapkan dan semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Yogyakarta, Juni 2003

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
LEMBAR UJIAN PENDADARAN	iii
LEMBAR SOAL / NASKAH SOAL TUGAS AKHIR	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN	v
KATA MUTIARA	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
ABSTRAK	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. LATAR BELAKANG MASALAH	1
1.2. ALASAN PEMILIHAN JUDUL	2
1.3. TUJUAN PENULISAN DAN PENELITIAN	10
1.4. PEMBATAAN MASALAH	10
1.5. JENIS-JENIS PENGUJIAN	11
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	13
2.A KLASIFIKASI BAJA	13

2.A.1. Cara meningkatkan kualitas baja dengan “CHEMICAL HEAD TREATMENT” pada baja	14
2.A.2. Perlakuan Panas Pada Baja	16
2.1. TINJAUAN UMUM	24
2.1.1. Sifat dan penggunaan baja paduan dan baja carbon	24
2.1.2. Baja karbon rendah bentuk PLAT	25
2.1.3. Baja paduan untuk konstruksi MEKANIK	28
2.1.4. Baja Plat yang dirol panas dan baja kekuatan tinggi	29
DIAGRAM FASA BESI -- CARBON	30
A. PERUBAHAN STRUKTUR PADA PERLAKUAN PANAS	33
B. PENGARUH UNSUR PADUAN PADA BAJA	35
2.2. TINJAUAN KHUSUS	37
2.2.1. JENIS-JENIS PROSES LAKU PERMUKAAN	37
2.2.2. CARBURISING (KARBURASI)	38
2.2.3. KESETIMBANGAN KIMIA	40
2.2.4. DIFUSI	41
2.2.5. CARA PELAKSANAAN DAN PROSES KARBURASI ...	41
2.2.5.1. Menggunakan medium padat	42
2.2.5.2. Kotak Sementasi	46
2.2.5.3. Menggunakan medium cair	48
2.2.5.4. Menggunakan medium gas	50
2.2.6. SIKLUS THERMAL PROSES KARBURASI	51

2.2.7.	PROSES-PROSES YANG DITERAPKAN SETELAH KARBURASI	52
2.2.8.	BAJA MAKSUD KARBURASI	53
2.2.9.	PEMERIKSAAN DAN PENGUKURAN TEBAL LAPISAN PENGKERASAN (CARBURIZING DEPTH)	55
2.2.10.	PEMERIKSAAN DISTORSI / DEFORMASI	56
2.2.11.	PENCEGAHAN PEMBENTUKAN KARAT SETELAH PROSES KARBURASI	56
2.2.12.	PROSES KARBURASI SELEKTIF	57
2.2.13.	PENETAPAN TEBAL LAPISAN KARBURASI	58
2.3.	MACAM-MACAM PENGUJIAN BAHAN	58
2.3.1.	PENGUJIAN METALOGRAFI DENGAN MIKROSKOP OPTIS	58
2.3.2.	PENGUJIAN ANALISA STRUKTUR MIKRO	61
2.3.3.	PENGUJIAN DENGAN MERUSAK BAHAN	63
2.3.3.1.	PENGUJIAN KEKERASAN	63
2.3.3.1.1.	Kekerasan BRINELL	63
2.3.3.1.2.	Kekerasan VICKERS	66
2.3.3.1.3.	Kekerasan ROCKWELL	66
BAB III	PELAKSANAAN PENELITIAN	72
	A. Persiapan bahan	72
	B. Alat-alat yang digunakan	72

C. Pembuatan sample	72
D. Profil benda kerja untuk pengujian	73
E. Proses perlakuan panas	73
F. Tahapan perlakuan panas	74
G. Uji sample bahan	74
H. Proses pengujian bahan	74
1. Pembuatan tungku api (oven).....	77
2. Pembuatan kotak sementasi / pack karburizing	79
3.1. PENGUJIAN KEKERASAN	79
3.1.1. Prosedur Pengujian dan Pelaksanaan Karburising	79
3.1.2. Pengujian Kekerasan VICKERS MIKRO	82
3.2. ANALISA STRUKTUR MIKRO	83
3.2.1. Peralatan dan Bahan Pengujian	84
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	87
4.1. HASIL PENGUJIAN KEKERASAN	87
4.1.1. Analisis dan pembahasan uji kekerasan	87
4.1.2. Harga kekerasan Vikres (Hv)	89
4.2. HASIL PENGUJIAN STRUKTUR MIKRO	113
4.2.1. Benda uji sebelum karburizing	113
4.2.2. ARANG KAYU / 3 JAM / 850° / KARBON	114
4.2.3. ARANG KELAPA / 3 JAM / 850° / KARBON	115
4.2.4. ARANG KAYU / 3 JAM / 900° / KARBON	116

4.2.5.ARANG KELAPA / 3 JAM / 900° / KARBON	117
4.2.6.ARANG KAYU / 3 JAM / 950° / KARBON	118
4.2.7.ARANG KELAPA / 3 JAM / 950° / KARBON	119
4.2.8.ARANG KAYU / 3 JAM / 850° / DIQUENCH	120
4.2.9.ARANG KELAPA / 3 JAM / 850° / DIQUENCH	121
4.2.10. ARANG KAYU / 3 JAM / 900° / DIQUENCH	122
4.2.11. ARANG KELAPA / 3 JAM / 900° / DIQUENCH	123
4.2.12. ARANG KAYU / 3 JAM / 950° / DIQUENCH	124
4.2.13. ARANG KELAPA / 3 JAM / 950° / DIQUENCH	125
4.3.ANALISA DAN PEMBAHASAN STRUKTUR MIKRO	126
4.3.1.Pada proses carburising 850°	126
4.3.2.Pada proses carburising 900°	127
4.3.3.Pada proses carburising 950°	127
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	128
5.1. KESIMPULAN	128
5.2. SARAN	129
DAFTAR PUSTAKA	130
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

1. Tabel 2.1.	Fasa yang ada pada plat	34
2. Tabel 2.2.	Benda uji Brinel	64
3. Tabel 2.3.	Diameter penetrator benda uji	64

DAFTAR GAMBAR

1.	Gambar 1.1.	Jarak bagi normal dan panjang lintasan kontak	4
2.	Gambar 2.1.	Daerah aneling dan normalizing	17
3.	Gambar 2.2.	Diagram Karbida besi	19
4.	Gambar 2.3.	Diagram Keseimbangan besi-karbon (Fe-Fe ₃ C)	20
5.	Gambar 2.4.	Struktur mikro baja karbon	22
6.	Gambar 2.5.	Pengerolan Temper	25
7.	Gambar 2.6.	Pengaruh Temperatur penemperan pada sifat-sifat mekanik dari baja Martensit	28
8.	Gambar 2.7.	Diagram keseimbangan besi karbon	32
9.	Gambar 2.8.	Kesetimbangan kimia	40
10.	Gambar 2.9.	Tebal lapisan sebagai fungsi dari waktu dan suhu proses	45
11.	Gambar 2.10.	Hubungan antara jenis medium yang digunakan dengan dalamnya penetrasi karbon	46
12.	Gambar 2.11.	Kotak sementasi	47
13.	Gambar 2.12.	Hubungan antara tebal lapisan dengan waktu pada suhu yang berbeda-beda	53
14.	Gambar 2.13.	Ilustrasi prinsip dasar mikroskop optis	60
15.	Gambar 2.14.	Prinsip pengukuran kekerasan Rockwell	68
16.	Gambar 2.15.	Mesin uji kekerasan Rockwell	69

17.	Gambar 3.1.	Profil benda kerja untuk pengujian kekerasan	73
18.	Gambar 3.2.	Profil benda kerja untuk foto struktur mikro	73
19.	Gambar 3.3.	Profil pengujian / sketsa	75
20.	Gambar 3.4.	Perbandingan benda sebelum / sesudah diuji	76
21.	Gambar 3.5.	Tungku / Oven karburising	78
22.	Gambar 3.6.	Mesin uji kekerasan Vikres Mikro	82
23.	Gambar 3.7.	Mikroskop Metallografi	86

INTISARI

Carburising adalah proses pengerasan permukaan baja dengan karbon lewat pemanasan baja pada suhu 850 - 950° C.

Dalam tugas akhir ini penelitian yang penulis lakukan adalah pengujian terhadap plat baja karbon rendah $\pm 0,148 - 0,158$ % C. Penelitian yang dilakukan untuk meningkatkan ketahanan aus bahan terhadap gesekan dengan menaikkan kekerasan pada permukaan kulit dengan cara mengkarbon / carburising kemudian di Quenching.

Karburising plat baja dilakukan dengan tiga macam variasi suhu yaitu 850°, 900°, 950° C dengan waktu penahanan 3 jam. Pengujian yang dilakukan adalah uji kekerasan dan uji struktur mikro. Pengujian dilakukan pada benda uji sebelum karburising dan sesudah karburising, serta benda yang sudah dikarburising kemudian di Quenching.

Hasil penelitian menunjukkan terjadinya perubahan struktur mikro sejalan dengan suhu proses karburising, makin tinggi (antara 850 - 950°) proses pemanasan karburising, makin halus struktur yang terjadi. Inti butir berangsur-angsur mengecil, dan pada kulit struktur ferrit tertutup perlit sejalan dengan masuknya karbon.

ABSTRACT

Carburising is a hardening process of steel surface by cover it into carbon at 850°C - 950°C temperature.

In this research author conducted testing upon low carbon steel plate. This research was performed to increase wear resistance material by increasing hardness on its surface using carburisation than quench.

Carburising on steel plate was conducted with three-temperature variation that is 850°C, 900°C, and 950°C during 3 hours. Observation that was performed is hardness test and microstructure test. Testing was done on specimen before and after carburising, and then quenching process was performed.

The result shows that alteration occur on microstructure along the increasing carburisation temperature (between 850°C - 950°C). When the temperature higher, the finer granule occur. Granules core become smaller, and on surface ferrite are covered by perlite along with penetration of carbon.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG MASALAH

Dengan perkembangan teknologi saat ini, dunia industri dituntut untuk dapat menerapkan suatu teknologi. Karena dengan penerapan teknologi akan menghasilkan produk-produk yang lebih baik tanpa mengimport barang dari luar negeri serta dapat juga mengoptimalkan potensi sumber daya manusianya.

Banyak usaha-usaha yang dapat dilakukan untuk mencapai tujuan tersebut, salah satu usaha tersebut dengan alih teknologi yang dalam prosesnya mencakup beberapa bidang.

Proses produksi itu sendiri didefinisikan:

“Ilmu yang mempelajari bagaimana caranya mengubah / mengerjakan bahan yang disediakan oleh alam menjadi barang jadi atau setengah jadi”.¹

Banyaknya penggunaan besi / baja tidak lepas dari berbagai pertimbangan, misalnya berdasarkan pertimbangan kekuatan dan sifatnya yang cocok untuk pemikul beban, daya besar, putaran tinggi dan dapat menyangga beban yang bekerja bervariasi dari rendah sampai tinggi dan juga dalam.

¹ Ir. Samsudin, Diktat Kuliah Teknologi Mekanik I, 1992, hal 1

Guna mentransmisikan daya besar dan putaran yang tepat diperlukan elemen transmisi yang dapat memenuhi kebutuhan tersebut. Untuk itu diperlukan kedua roda yang dibuat bergerigi yang kelilingnya sehingga penerusan daya dapat dilakukan gigi-gigi kedua roda yang saling berkait. Roda gigi ini dapat berbentuk silinder atau kerucut yang kesemuanya itu terbuat dari baja.

Pemakaian roda gigi sebagai alat transmisi telah menduduki tempat terpenting di segala bidang selama 200 tahun terakhir ini. Penggunaan dimulai dari alat pengukur yang kecil dan teliti seperti jam tangan, sampai roda gigi reduksi pada turbin besar yang berdaya puluhan megawatt. Roda gigi diklasifikasikan menurut letak poros, arah putaran, dan bentuk jalur gigi. Roda gigi memindahkan momen melalui kontak luncur antara permukaan gigi yang berpasangan. Selama kontak ini, kecepatan sudut kedua roda gigi harus dapat dijaga tetap.

1.2. ALASAN PEMILIHAN JUDUL

Penggunaan besi dan baja dewasa ini yang beredar dalam perdagangan baik dalam bentuk bahan, perkakas atau mesin-mesin, telah melalui beberapa proses pembuatan yang cukup bertahap, mulai awal diambil dari dalam tanah sampai menjadi baja-baja profil, peralatan-peralatan atau mesin-mesin yang banyak dibutuhkan oleh masyarakat.

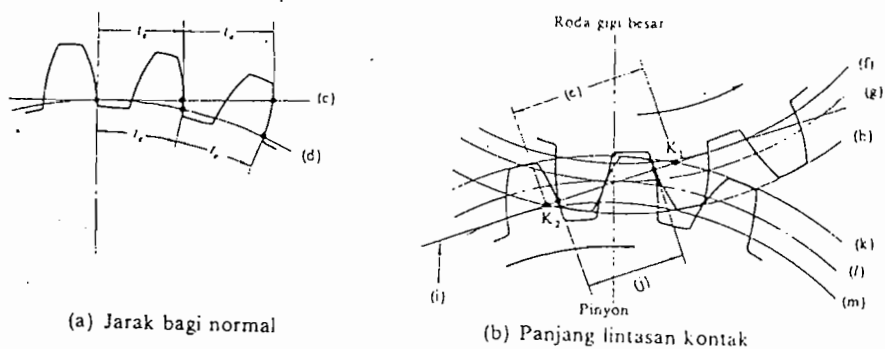
Pemakaian logam dalam hal ini mempunyai peranan penting dalam menunjang kemajuan teknologi sehingga timbul usaha untuk memperbaiki dalam

menambah sifat-sifatnya baik sifat fisik maupun sifat mekanis. Dalam hal ini kita dihadapkan oleh masalah bagaimana mendapatkan sifat-sifat mekanis logam agar sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Salah satu diantaranya kekerasan dan keuletan, dimana disamping logam dalam hal ini plat tersebut mempunyai sifat keras juga mempunyai keuletan yang baik pula.

Secara normal logam selalu tertutup oleh lapisan oksida yang hampir selalu lebih keras dari logam murni, dan mencegah saling bereaksi antar logam. Sebagai akibat tekanan kontak dan putaran yang besar itu, kulit oksida menjadi remuk, dengan demikian perlindungan ini hilang, juga pada temperatur rendah.

Lewat suatu percobaan telah ditunjukkan bahwa kalau ada logam yang telah kehilangan lapisan oksidanya dibuat saling bersinggungan dalam lingkungan yang bebas dari oksida, dengan tekanan yang ringan saja kedua logam itu memperlihatkan tahanan gesek tinggi.

Roda gigi memindahkan momen melalui kontak luncur antara permukaan gigi yang berpasangan. Selama kontak ini, kecepatan sudut kedua roda gigi harus dapat dijaga tetap, yang berarti putaran harus dapat berlangsung dengan halus dan dengan perbandingan yang tetap. Untuk memenuhi syarat ini, harus dipilih kurva yang sesuai dengan profil gigi. Profil sikloida baik jika ditinjau dari segi gesekannya yang rendah, tetapi dari segi kekuatan terhadap lenturan dan proses pembuatan kurang menguntungkan dibandingkan dengan profil involut. Agar roda gigi dapat berputar dengan halus, harus dipenuhi suatu persyaratan dimana sebelum pemasangan gigi saling melepaskan kaitannya.



Gbr. 6.11 Jarak bagi normal dan panjang lintasan kontak.

- | | |
|-----------------------------|--------------------------|
| (c) garis tekanan | (i) garis tekanan |
| (d) lingkaran dasar | (j) jarak bagi normal |
| (e) panjang lintasan kontak | (k) lingkaran kepala |
| (f) lingkaran dasar | (l) lingkaran jarak bagi |
| (g) lingkaran jarak bagi | (m) lingkaran dasar |
| (h) lingkaran kepala | |

Gambar 1.1. Jarak bagi normal dan panjang lintasan kontak

Sumber : Elemen Mesin, Sularso, 1991, hal 222

Dalam penelitian ini penulis mengambil sample jenis roda gigi lurus, merupakan roda gigi paling dasar dengan jalur gigi sejajar poros.

Mengingat bahan yang digunakan untuk penelitian disini yaitu berupa plat kecil dari bahan baja carbon maka penelitian yang akan dilaksanakan dengan pengujian kekerasan permukaan dan analisa struktur mikro saja.

Baja carbon adalah salah satu baja yang banyak digunakan dalam dunia permesinan. Dimana dalam dunia permesinan dibutuhkan suatu baja yang mempunyai kekerasan yang baik juga mempunyai sifat ulet. Oleh karena itu, apabila baja ini diberikan perlakuan panas yang tepat, maka akan didapatkan kekerasan dan keuletan yang diinginkan. Salah satu bentuk perlakuan panas yang ada Pack Carburising.

1. Baja

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

Baja dapat dibedakan atas beberapa kategori :

- **Baja karbon biasa (plain-carbon steel)**

Ini merupakan baja yang paling awal dikenal orang, baja ini mempunyai komponen utama Fe dan C.

Baja ini dengan kandungan karbon berkisar 0,05 – 0,5%.

- **Baja paduan rendah**

Mengandung unsur-unsur paduan sebagai elemen tambahan pada unsur Fe dan C. Unsur paduan tersebut dapat berupa : Mn (Mangan), Ni (Nikel), Cr (Kromium), Mo (Molibden), Si (Silikon) dll.

Umumnya kandungan masing-masing elemen paduan lebih kecil dari 5%.

Maksud penambahan unsur-unsur paduan :

- a. meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja
- b. memperbaiki sifat-sifat baja

Unsur-unsur paduan pada baja dapat digolongkan menjadi :

1. membuat baja lebih kuat dan ulet yang bereaksi dengan Fe seperti Ni, Mn, Cr dan Mo.
 2. membuat baja lebih keras yang bereaksi dengan C seperti Cr, W, Mo dan V.
- Baja tahan karat (austenitik, ferritik, martensitik)

Semua jenis baja tahan karat ini mempunyai daya tahan terhadap korosi yang berbeda tergantung pada kandungan Kromium (Cr). Baja austenitik termasuk grup baja Cr – Ni.

- Baja Cor

Mempunyai komposisi yang hampir sama dengan baja tempa (wrought steel) kecuali pada komposisi Mn dan Si, mempunyai jumlah lebih besar yang berfungsi untuk mengikat O₂ dan gas-gas lainnya.

- Baja perkakas

Biasanya mengandung unsur-unsur Cr, W, V dan Mo dengan jumlah cukup besar sehingga baja tersebut menjadi lebih keras dan tahan terhadap keausan.

Syarat-syarat baja perkakas :

1. kemampuan mempertahankan kekerasan dan kekuatan pada suhu tinggi
2. kemampuan terhadap beban kejut / impact
3. kemampuan untuk mempertahankan kondisi terhadap keausan dan gesekan

2. Besi

Besi merupakan elemen logam penyusun utama pada baja :

- a. besi murni dengan kandungan C < 0,1% dan Fe > 99,5%
- b. besi tuang / cor (*cast iron*) dengan kandungan C 1,7 – 6,67%

- Besi Murni

Pada suhu 1539° C, besi cair mulai membeku, pada pendinginan selanjutnya larutan padat menunjukkan titik henti pada 1400° C dan pada suhu ini besi mengalami perubahan susunan kristal. Besi pada suhu 1539 – 1400° C disebut besi dengan susunan δ . Besi dengan suhu 1400 - 910° C disebut dengan susunan θ . Besi dengan suhu 910 - 768° C disebut besi β . Besi dengan suhu 768 sampai suhu kamar disebut besi α .

- Besi Tuang

Bahan utama digunakan besi mentah (*pig iron*), besi tuang atau baja bekas (*scrap steel*) dan sisa-sisa saluran cetakan dan beram-beram potongan logam ferro. Bahan bakar yang digunakan adalah kokas dan ditambah batu kapur (*lime stone*) atau dolomite. Bahan tambah ini berfungsi untuk menurunkan titik cair bahan utama serta mengikat ferak cair yang timbul sehingga terpisah dari besi tuang yang terbentuk.

Besi tuang yang kita temukan dipasaran mempunyai kandungan karbon sekita 2,5 – 4%. Bila karbon naik, bahan akan semakin getas dan keliatannya menurun sehingga besi tuang tidak dapat dikerjakan dingin. Besi

tuang mempunyai tegangan tarik rendah, sedangkan tegangan tekannya cukup tinggi.

Ada 4 jenis besi tuang yaitu :

1. Besi tuang putih (*white cast iron*)

Berisi perlit (*pearlite*) di dalam matrik cementit. Besi ini sangat sulit dikerjakan dengan mesin karena sangat keras dan getas. Besi tuang ini mempunyai daya aus tinggi dan masih dapat ditingkatkan lagi dengan menambah unsur Cr dan Ni. Besi tuang ini banyak digunakan untuk cetakan.

2. Besi tuang kelabu (*gray cast iron*)

Mengandung 2,5 – 4% dan biasanya mengandung lebih dari 2% Si. Pada saat solidifikasi, cementit berada dalam keadaan tidak setimbang sehingga terbentuk austerit dan grafit karbon. Silikon yang terdapat dalam besi tersebut akan berusaha membentuk grafit, permukaan besi ini akan berwarna keabu-abuan bila mengalami fracture.

Inisial nomor 20 memberi arti bahwa tegangan tarik (*ultimate strength*) minimum bahan adalah 20.000 psi.

Besi tuang ini banyak digunakan sebagai blok dan pondasi mesin karena memiliki tegangan tekan tinggi dan mampu meredam getaran dengan baik.

3. Besi tuang Malleable diperoleh dari besi tuang putih :

- Besi tuang putih dipanaskan lambat ($50^{\circ}\text{C} / \text{jam}$) sampai temperatur berada antara 850° dan 950°C .

- Besi dibiarkan dalam dapur selama ± 40 jam pada suhu 850° dan 950°C .
- Didinginkan lambat ($25^\circ\text{C} / \text{jam}$) sampai suhu 750°C .
- Didinginkan dalam dapur sampai suhu kamar.

Rangkaian proses di atas akan menimbulkan grafit berbentuk tidak teratur dalam matrik ferritik. Dengan laju pendinginan berbeda, kita dapat memperoleh matrik perlitik atau martensitik lebih keras dan tahan aus tetapi keliatannya berkurang, ini biasa digunakan sebagai bahan blok mesin.

4. Besi tuang Nodular (*Nodular Cast iron*)

Diperoleh bila pada saat pengecoran ditambahkan 0,1% Mg sehingga mengubah total morfologi grafit terbentuk selama proses solidifikasi. Grafit yang terjadi berbentuk bulat dalam matrik ferritik atau perlitik dan dapat meningkatkan keliatan dan faktor intensitas tegangan bahan. Kekuatan besi tuang ini dapat mendekati kekuatan baja. Besi tuang ini banyak digunakan sebagai blok pompa, bahan poros, bahan roda gigi, elemen mesin yang menderita beban kejut dan tegangan dinamis dan pipa-pipa yang diproduksi dengan gaya sentrifugal.

Dari uraian di atas, maka penulis tertarik untuk melakukan suatu penelitian pengerasan permukaan untuk mengetahui sifat-sifat fisis dan sifat-sifat mekanis, baja carbon rendah pada roda gigi untuk memperoleh dan mengetahui sifat-sifat mekanis, baja carbon rendah pada

roda gigi untuk memperoleh dan mengetahui sifat-sifat yang ideal. Oleh karena itu mengingat betapa pentingnya maka dalam penelitian penulis mengambil judul .

PENGERASAN PERMUKAAN PLAT BAJA CARBON DENGAN CARBURISING

Dari hasil penelitian ini diharapkan diperoleh hasil yang optimum dan sesuai dengan aplikasinya.

1.3. TUJUAN PENULISAN DAN PENELITIAN

Tujuan dari penulisan dan penelitian ini adalah untuk melihat pengaruh perlakuan panas. Carburising pada pengerasan permukaan plat roda gigi dari baja carbon terhadap kekerasan dan struktur mikro.

1.4. PEMBATASAN MASALAH

Berkaitan dengan judul Tugas Akhir ini yaitu : Pengerasan Permukaan Plat Baja Carbon Dengan Carburising, penulis memberikan batasan-batasan agar dapat terarah dan terpusat.

Sebagai batasan masalah dalam penelitian ini diantaranya :

1. Proses perlakuan panasnya (*Heat Treatment*) adalah proses carburising dalam hal ini dispesifikasi dengan cara Pack Carburising yaitu benda baja yang akan dikarburisasi dimasukkan ke dalam tungku baja di kelilingi campuran bahan-bahan arang kayu \pm 70% berat, barium atau sodium carbonat (soda makan) 20 –

25% dan calcium carbonat 2,5 – 3,5%, kemudian dibakar pada temperatur 850, 900, 950° C dan ditahan selama 3 jam.

2. Pengujian kekerasan yang dilakukan adalah pengujian kekerasan secara Vickers Mikro.
3. Pengamatan struktur Mikro (Metallografi)

1.5. JENIS-JENIS PENGUJIAN

Penelitian laboratorium yang dilakukan meliputi pengujian kekerasan permukaan, Carburising dan Struktur Mikro.

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui harga kekerasan bahan sehingga dapat diketahui korelasi antara kekerasan dengan kekuatan dari bahan. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode pengujian Vickers Mikro dengan menggunakan penetrator piramida yaitu berupa piramida intan bersudut 136° dengan puncak yang hampir bulat, pengukuran tergantung pada panjang diagonal bekas injakan (dibantu dengan mikroskop optik).

Pengujian Carburising dilakukan untuk menambah unsur C pada permukaan baja carbon rendah, pemanasan dilaksanakan pada suhu 800 - 950° C unsur C dapat diperoleh dari arang kayu, arang tempurung kelapa. Ketebalan masuknya unsur C 0,5 – 2 mm pada permukaan baja dengan kadar karbon pada permukaan baja tersebut 0,75 – 1,2%. Cara Carburising ada 3 yaitu :

1. Pack Carburising, pemberian cairan garam

2. Liquid Carburising, pemberian cairan garam
3. Gas Carburising, , pemberian atom karbon yang dapat berasal dari gas alam, gas kota, campuran metan, dll.

Dalam penelitian ini penulis menggunakan cara Pack Carburising, pemberian C berupa bahan padat (*Solid Carburisers*) yaitu arang kayu dan arang tempurung kelapa \pm 70% berat, barium atau sodium carbonat 20 – 25% dan calcium carbonate 2,5 – 3,5%.

Analisa Struktur Mikro dilakukan untuk mengetahui keterkaitan antara sifat mekanis dan sifat fisis dari bahan dengan struktur mikro dari bahan. Jenis dan bentuk struktur mikro, kandungan fasa serta batas butir menjadi materi pokok dari analisa pengujian mikro ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.A. KLASIFIKASI BAJA

Besi dan baja paling banyak dipakai sebagai bahan industri yang merupakan sumber sangat besar, dimana sebagian ditentukan oleh nilai ekonominya, tetapi yang paling penting adalah factor kandungan logam yang terdapat pada besi atau baja tersebut. Besi dan baja mempunyai sifat-sifat yang bervariasi yaitu bahwa bahan tersebut mempunyai berbagai sifat dari paling lunak dan mudah dibuat sampai yang paling keras dan tajam untuk pisau pemotong dapat dibuat, atau apa saja dengan bentuk apapun dapat dibuat, itulah sebabnya mengapa besi dan baja disebut bahan yang kaya dengan sifat-sifat.

Kualitas baja pada umumnya dapat ditingkatkan melalui dua tahap. Tahap pertama yaitu pada saat pengolahan dalam dapur pengecoran dan tahap kedua merupakan tahap lanjutan dari tahap pertama. Tahap kedua ini dapat meliputi : *Mechanical treatments* (pengerolan, penempaan, drawing dsb), *Surface and heat treatments* (*coatings, carburising, nitriding, carbonitriding, hardening, temper, aneling*). Secara khusus perlakuan panas (*heat treatments*) dapat memberi peningkatan signifikan kualitas baja perkakas.

Perlakuan panas yang lazim digunakan adalah : proses *Aneling, Quencing* dan *Tempering*.

- Annealing dilaksanakan dengan memanaskan baja sampai suhu tertentu dan dalam jangka tertentu pula, kemudian didinginkan secara perlahan-lahan. Dengan annealing ini, baja akan lebih lunak dan liat.
- Quenching dilakukan dengan cara memanaskan baja sampai suhu austenisasi dalam jangka waktu tertentu (*holding time*) dan kemudian didinginkan cepat dalam media tertentu. Media pendinginan yang digunakan dapat berupa air, minyak, udara atau air garam. Quenching membuat baja keras dan getas. Untuk mengurangi sifat keras dan getas baja hasil quenching, maka perlu dilakukan tempering pada baja hasil quenching tersebut.

2A.1. Cara meningkatkan kualitas baja dengan *Chemical Heat Treatment* pada Baja

Chemical Heat Treatment pada baja merupakan proses pemanasan baja dengan menambahkan zat-zat tertentu saat pemanasan, kemudian didinginkan. Cara ini akan menaikkan kekerasan permukaan dan lebih tahan terhadap keausan.

Chemical Heat Treatment ini dapat berupa :

- a. Carburising
 - b. Nitriding
 - c. Cyaniding dan Carbonitriding
 - d. Diffusion Coating
- a. Carburising

Carburising adalah proses pengerasan permukaan baja dengan karbon lewat pemanasan baja pada suhu 850 – 950 C. Karbon yang digunakan dapat

berbentuk serbuk padat, cair atau gas. Tebal lapisan karbon yang terbentuk pada permukaan baja tergantung pada lama pemanasan yang dilakukan. Tebal lapisan karbon bervariasi dari 0,5 – 2 mm dengan laju pelapisan 0,1 mm/jam. Carburising ini akan menaikkan kadar karbon pada lapisan permukaan baja sekitar 0,75 – 1,20 %. Proses carburising tidak dapat dilakukan pada sembarang baja, tergantung pada kadar karbon yang terdapat di dalam baja tersebut. Biasanya carburising ini dilakukan pada baja karbon rendah. Proses carburising ini sering dilakukan untuk mengeraskan permukaan roda gigi dan bubungan (cam).

b. Nitriding

Proses pelapisan permukaan baja dengan nitrogen (N₂ diambil dari gas amoniak NH₃) lewat pemanasan baja pada suhu 480 - 650° C.



Tebal lapisan dapat mencapai 0,2 – 0,4 mm. Dengan nitriding ini, permukaan baja akan tahan aus, tegangan fatigue naik, tahan karat (dalam air, udara dan uap air). Nitriding biasanya dilakukan pada baja dengan kadar karbon sedang dan juga pada baja paduan Al, Cr, Mo. Proses nitriding ini lebih lambat dibandingkan proses carburising. Kelemahan proses nitriding adalah biaya proses lebih mahal. Nitriding biasa dilakukan pada bubungan (cam), poros bubungan (camshaft), roda gigi, pena piston, piston, poros dan katub.

c. Cyaniding

Proses pelapisan baja dengan karbon dan nitrogen secara bersamaan lewat pemanasan dalam kotak cyanide pada suhu 780 – 900° C. Tebal lapisan terbentuk berkisar 0,10 – 0,20 mm. Kotak cyanide berisi :

30 % cairan sodium cyanide (NaCN)

40 % sodium carbonate (Na₂CO₃)

30 % sodium chloride (NaCl)

d. Carbonitriding

Proses pelapisan permukaan baja dengan karbon dan nitrogen secara bersamaan pada suhu 780 – 900° C. Proses ini lebih lambat dari Cyaniding.

2.A.2 Perlakuan Panas Pada Baja

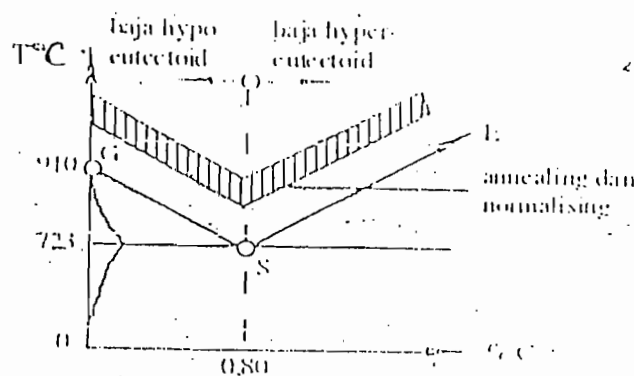
Perlakuan panas pada baja merupakan proses pemanasan baja sampai suhu tertentu dan dalam waktu tertentu serta kemudian mendinginkannya dengan cara tertentu pula. Perlakuan panas ini dimaksudkan untuk memberikan sifat-sifat lebih baik pada baja tersebut. Untuk memanaskan baja digunakan dapur-dapur yang pada umumnya berupa dapur listrik, dapur gas atau dapur minyak. Pengukuran suhu kerja harus seteliti mungkin agar sifat-sifat baja yang dihasilkan dapat sesuai keinginan.

Perlakuan panas terhadap baja dapat berupa :

- a. Annealing (memudakan),
- b. Normalising (memudakan),
- c. Hardening (menyepuh),
- d. Tempering (menyepuh).

a. Annealing

Baja dipanaskan sampai suhu tertentu dalam waktu tertentu dan kemudian mendinginkannya perlahan sampai suhu kamar. Pemanasan dilakukan sampai suhu 30 - 50° C di atas garis GSE pada diagram Fe - C. Baja hypereutectoid dipanaskan 30-50° C di atas garis GS sedang baja hypereutectoid dipanaskan 30 - 50° C di atas garis SE pada diagram Fe - C. Dengan annealing ini, baja menjadi lebih plastis dan liat.



Gambar 2.1 Daerah annealing dan normalising

Tujuan utama dari proses anil adalah pelunakan sehingga baja yang keras dapat dikerjakan melalui pemesinan atau pengerjaan dingin. Apabila logam yang telah dikeraskan dipanaskan diatas daerah kritis, maka struktur kembali menjadi austenit dan pendinginan perlahan-lahan memungkinkan terjadinya transformasi dari austenit menjadi struktur yang lebih lunak.

Suhu pemanasan proses annealing tergantung pada komposisi dan laju pemanasan ditentukan oleh bentuk dan variasi ukuran profil, harus diusahakan agar suhu merata. Apabila suhu anil telah merata maka baja didiamkan beberapa lama, biasanya diperlukan waktu 45 menit baja dengan ketebalan 25 mm pada penampang yang paling besar. Agar kekerasan minimal dan keuletan maksimal maka laju pendinginan harus lambat. Makin tinggi kadar karbon, makin lambat laju pendinginan.

b. Normalisation

Baja yang telah di “annealing” dipanaskan lagi seperti proses annealing dengan tujuan untuk menghilangkan tegangan-tegangan dalam (*internal stresses*) baja dan untuk pengkristalan kembali (*recrystallisation*).

c. Hardening

Baja dipanaskan sampai suhu tertentu dan dalam waktu tertentu, kemudian didinginkan cepat sehingga menimbulkan struktur keras. Perlakuan panas dengan cara ini bertujuan untuk membuat baja menjadi keras. Hardening ini menyebabkan susunan atom-atom teratur dari baja mengalami gangguan yang menimbulkan tegangan dalam baja.

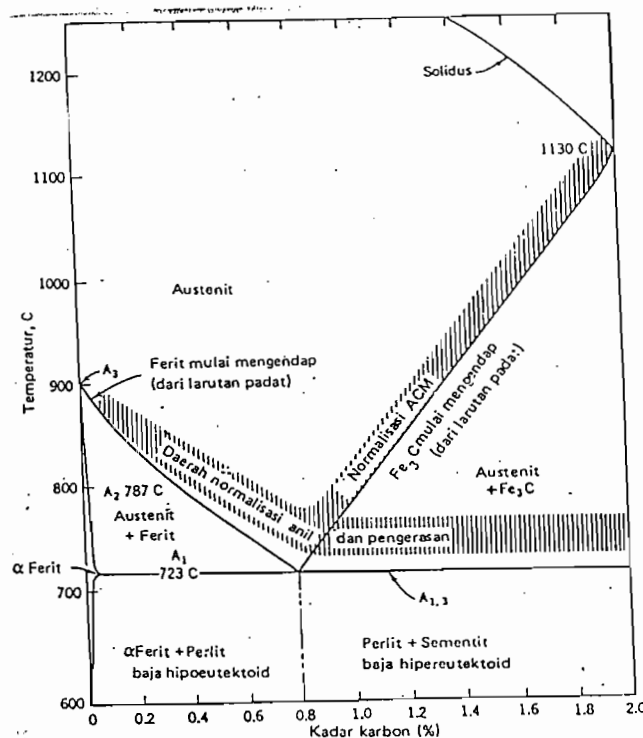
Apabila kadar karbon diketahui maka suhu pemanasannya dapat dibaca dari diagram fasa besi-karbida besi (Gambar 2.11), akan tetapi bila kadar karbonnya tidak diketahui maka diadakan percobaan untuk mengetahui daerah pemanasannya.

Pada setiap proses perlakuan panas, laju pemanasan merupakan faktor yang penting. Panas merambat dari luar ke dalam dengan kecepatan tertentu, apabila

pemanasan terlalu cepat maka bagian luar akan dari bagian dalam sehingga tidak diperoleh struktur yang merata. Makin besar potongan benda maka makin lama waktu yang diperlukan untuk memperoleh hasil yang merata.

Kekerasan yang dapat dicapai tergantung pada laju pendinginan, kadar karbon dan ukuran benda. Pada baja paduan jenis dan jumlah paduan akan mempengaruhi kemampuan pengerasan.

Pencelupan atau pendinginan untuk baja karbon rendah dan baja karbon sedang pada umumnya digunakan media air. Laju pendinginannya cukup cepat sehingga terbentuk martensit. Sedangkan untuk baja dengan kadar karbon tinggi dan baja paduan biasanya digunakan minyak sebagai media pencelupan, pendinginannya tidak secepat air.

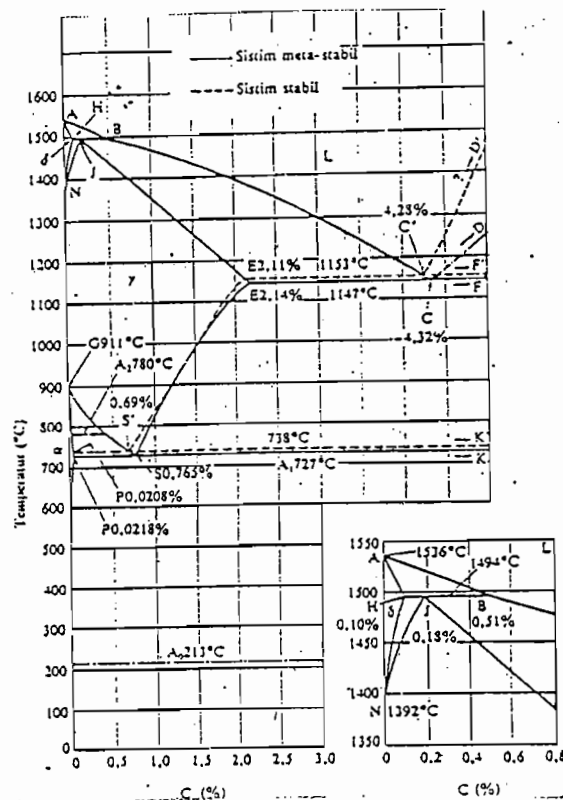


Gambar 2.2. Diagram Karbida Besi

d. Tempering

Merupakan proses hardening yang diulang pada baja dengan maksud untuk menghilangkan / mengurangi tegangan-tegangan dalam (internal stresses). Pada proses ini, baja didinginkan perlahan. Dengan tempering ini dapat juga diperoleh struktur baja lebih stabil, kekerasan berkurang tetapi ketahanan baja naik.

Pada paduan besi karbon terdapat fasa karbida yang disebut sementit dan juga grafit, grafit lebih stabil daripada sementit. Pada gambar 2.1 a dan b menunjukkan diagram keseimbangan besi-karbon atau diagram Fe-Fe₃C, sebagai dasar dari bahan yang berupa besi baja.

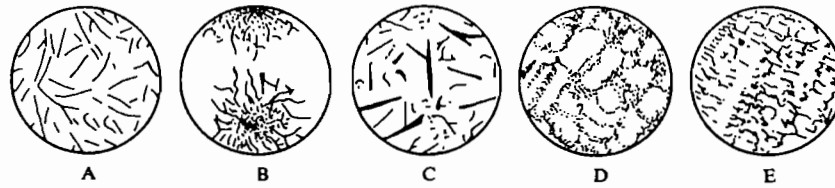


Gambar 2.1.a. Diagram Keseimbangan besi-karbon (Fe-Fe₃C)
 Sumber : Ir. Tata Surdi M.S.Met.E, Teknik Pengecoran Logam, 1985, hal. 70

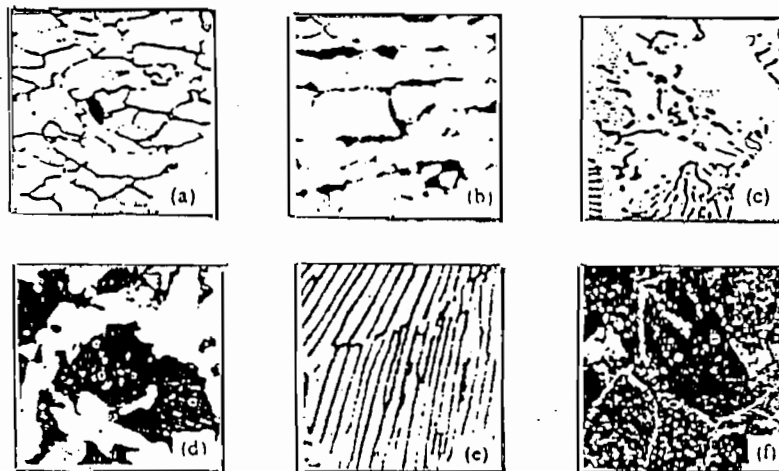
Pengubahan sifat permukaan bahan baja dengan penambahan unsur tertentu secara difusi yang dilaksanakan pada suhu tinggi dan diikuti oleh pengolahan panas tertentu. Permukaan baja juga akan mengalami perubahan komposisi kimia dan struktur sehingga kekerasan permukaan baja bertambah dan lebih tahan aus.

Baja yang berkadar karbon sama dengan komposisi eutektoid dinamakan baja eutektoid, yang berkadar karbon kurang dari komposisi eutektoid disebut baja hipoeutektoid, dan yang berkadar karbon lebih dari komposisi eutektoid disebut baja hipereutektoid. Gambar 2.3. menunjukkan struktur mikro baja apabila baja didinginkan perlahan-lahan dari 50-100° C di atas garis GS (A3) dan garis SE (Acm).

2.1 Struktur besi cor



Gb. 2.37 Penyebaran grafit serpih (AFS: ASTM, A247 (1941)).



Struktur mikro baja karbon a: 0,06%C, besar butir medium (ASTM No.7)x100; b: 0,25%C baja dinormalkan pada 930°Cx500; c: 0,30%C baja diaustenitkan pada 930°C ditransformasikan isothermal pada 700°C. ferit dan perlit kasar x 1000; d: 0,45%C baja dinormalkan pada 840°C, ferit dan perlit x 500 %; e: 0,80%C baja diaustenitkan pada 1150°C, didinginkan ditungku x: 2000; f: 1,0%C, baja dirol panas pada 1150°C, pendinginan udara, matriks perlit, sementit pada batas butir (garis putih) x 500. a: dituangkan pada 150°C, selama 30 menit. zona GP(1) 200.000 kali; b: Dituangkan selama 48 jam, zona GP (2) 200.000 kali

Gambar. 2.4. Struktur mikro baja karbon

Sumber. Ir. Tata Sardi M.S.Met.E, *Teknik Pengcoran Logam*, 1985, hal. 71.

Gambar : Struktur Mikro

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

Untuk konstruksi mesin-mesin. Dilihat dari transformasi ada tiga macam baja yaitu :

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

Satu perlakuan (treatment) yang diterapkan pada suatu logam agar diperoleh sifat-sifat tertentu : senantiasa tidak dapat dilepaskan dari tujuan yang ingin dicapai dari penerapan perlakuan tersebut.

Atas dasar hal tersebut, agar dapat dicapai hasil yang memadai pelaksanaan dari suatu perlakuan harus memperhitungkan aspek metalurgi dan peralatan yang tersedia.

Penelaahan terhadap aspek metalurgi, memungkinkan untuk memilih proses-proses perlakuan yang sesuai untuk suatu maksud tertentu dengan ekonomis : sedangkan penelaahan terhadap peralatan yang tersedia memungkinkan antara lain untuk dapat menentukan tingkat kualitas yang akan dihasilkan.

Dalam metode proses produksi yang modern, perlakuan (treatment) yang diterapkan pada suatu logam melibatkan perlakuan logam dalam keadaan cair (liquid treatment) dan perlakuan logam dalam keadaan padat (solid treatment).

Proses perlakuan panas yang diterapkan untuk mengubah sifat pada seluruh bagian logam dikenal dengan nama proses perlakuan panas (laku panas / heat treatment). Sedangkan proses perlakuan panas diterapkan untuk mengubah

sifat/karakteristik logam pada permukaannya (bagian permukaan logam) disebut proses perlakuan permukaan (laku permukaan / surface treatment).

Laku permukaan ditujukan antara lain untuk :

- Meningkatkan ketahanan aus dengan jalan memperlakukan (atau memberikan lapisan yang keras) pada permukaan logam.
- Meningkatkan ketahanan korosi tanpa merubah karakteristik sifat-sifat logam yang permukaannya diberi laku permukaan.
- Meningkatkan “performance” (unjuk rupa) logam dari suatu komponen untuk maksud-maksud fabrikasi.

Beberapa komponen mesin mempunyai permasalahan bukan hanya dalam soal keuletan tetapi juga dalam kelelahan yang disebabkan keausan permukaan tegangan yang bolak-balik seperti pada roda gigi. Untuk mengatasi kesukaran tersebut perlu memberikan kekerasan yang lebih tinggi pada permukaan. Dengan jalan pengerasan kulit hal tersebut dapat diatasi, yaitu dengan pengkarbonan, penitridan, pengerasan permukaan dengan arus frekuensi tinggi atau dengan nyala api dan sebagainya.

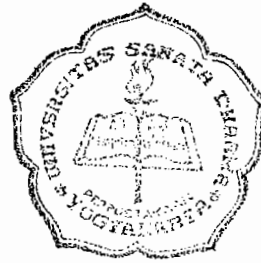
2.1. TINJAUAN UMUM

2.1.1. Sifat dan Penggunaan Baja Paduan dan Baja Karbon

Karbon merupakan unsur pengeras besi yang efektif dan murah, oleh karena itu umumnya sebagian besar baja komersial hanya mengandung karbon dengan sedikit unsur paduan lain.

Baja karbon dapat dibagi dalam kelompok :

- Baja karbon rendah dengan kadar $C < 0,3\%$
- Baja karbon sedang dengan kadar $0,3\% < C < 0,7\%$



- Baja karbon tinggi dengan kadar $0,7\% < C < 1,7\%$

Baja karbon rendah memiliki kekuatan sedang dengan keuletan yang baik. Biasanya digunakan dalam kondisi anil atau normalisasi untuk keperluan konstruksi jembatan, bangunan, kendaraan dan kapal laut.

Di sekitar 0,2% baja karbon ini keuletannya sudah tak memadai untuk keperluan lenyuk dalam (deep drawing), dan perpatahan rapuh yang terjadi pada potongan tebal setelah pengelasan mengurangi daya guna baja karbon tersebut.

Baja karbon sedang dapat ditingkatkan ketangguhan disamping kekuatan yang telah dimilikinya dengan dicelup untuk membentuk *martensit* disusul dengan penemperan. Temper pada daerah yang agak tinggi, yaitu sekitar $350 - 550^{\circ} C$ akan menghasilkan karbida bulat yang dapat meningkatkan ketangguhan baja. Bisa digunakan sebagai bahan poros, as, roda gigi dan rel.

Sedangkan baja karbon tinggi biasanya dicelup agar keras disusul dengan penemperan pada $250^{\circ} C$ sehingga dapat dicapai kekuatan yang memadai dengan keuletan yang memenuhi. Biasanya dipakai untuk per, die dan perkakas potong. Keterbatasan jenis baja ini terletak pada kemampuan pengerasan yang kurang baik dan sudut kekerasannya bila ditemper pada temperatur sedang.

Baja paduan rendah atau sedang mengandung paduan hingga 5% kandungan paduan ditentukan oleh persyaratan kemampuan pengerasan dan temper.

2.1.2. Baja karbon rendah bentuk plat

Baja karbon rendah merupakan produk utama dalam produksi besi dan baja, plat tipis di buat melalui macam-macam cara sebagai bahan peralatan dapur. Sedangkan plat tebal dipakai untuk jembatan dan konstruksi.

Penggunaan utama baja plat tipis yang dirol panas, dilunakkan, dirol dingin dan dilunakkan adalah untuk benda yang dibentuk dengan pres. Pembentukan dengan

pres terdiri dari pengguntingan dan pembentukan, dimana pengepresan merupakan proses yang utama.

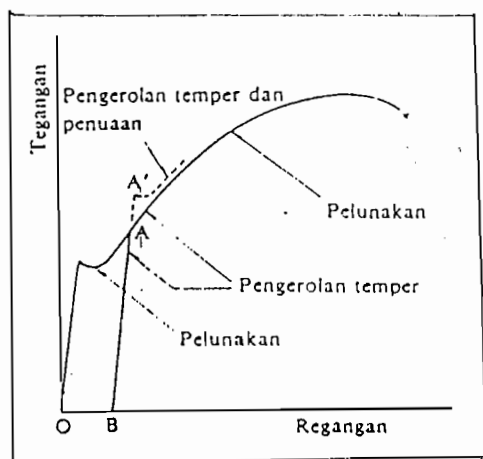
Pada penarikan dalam plat baja tipis, menghasilkan titik mulur berbentuk pola tertentu yang disebut regangan pembentang, jadi plat baja tipis bagi proses penarikan diolah lebih dahulu dengan pengerolan ringan setelah pelunakan, yang disebut pengerolan temper. Gambaran skematik keadaan tersebut pada pengujian tarik ditunjukkan pada gambar 2.3. Keadaan pengerolan temper yang serupa dengan titik A yaitu titik B. Kalau bahan B diuji tarik, terjadi pemuluran pada titik A tanpa menyebabkan perpanjangan pada titik mulur, jadi jangan khawatir akan terjadi regangan. Tetapi kalau bahan tersebut dibiarkan bertahan untuk jangka waktu yang lama maka terjadi suatu fenomena yang disebut pengerasan presitipasi karena regangan, dan karena kekuatan mulur A' meningkat dan juga terjadi perpanjangan. Hal ini tidak pernah terjadi pada baja yang dimatikan oleh aluminium dan titanium. Harga r dan n sangat dipengaruhi oleh pengerolan temper ini.

Disamping kekuatan mulur, sifat-sifat lainpun penting yaitu regangan pada titik mulur, kekuatan tarik, regangan uniform dan regangan setempat yang didapat dari pengujian tarik biasa, eksponen pengerasan regangan(n) dan perbandingan regangan plastis r . Makin besar n berarti makin baik mampu bentuknya. Pada baja plat dirol dingin umumnya $n = 0,18 - 0,25$.

Dalam pemilihan plat baja tipis dengan mampu bentuk baik, ukuran butirnya memberikan pengaruh yang jelas pada harga regangan plastis. Sesuai dengan hasil pengujian, maka makin kecil nomor ukuran butir makin besar butir kristal sehingga

harga regangan plastis makin tinggi sesuai dengan ukuran butir yang makin besar. Akan tetapi semakin besar ukuran butir makin kecil kekuatan mulurnya.

Maksud dari pengerolan temper ini bukan hanya untuk meniadakan perpanjangan pada titik mulur tetapi juga untuk meluruskan bentuk dari lembaran setelah dilunakkan dan menghaluskan permukaan produk.



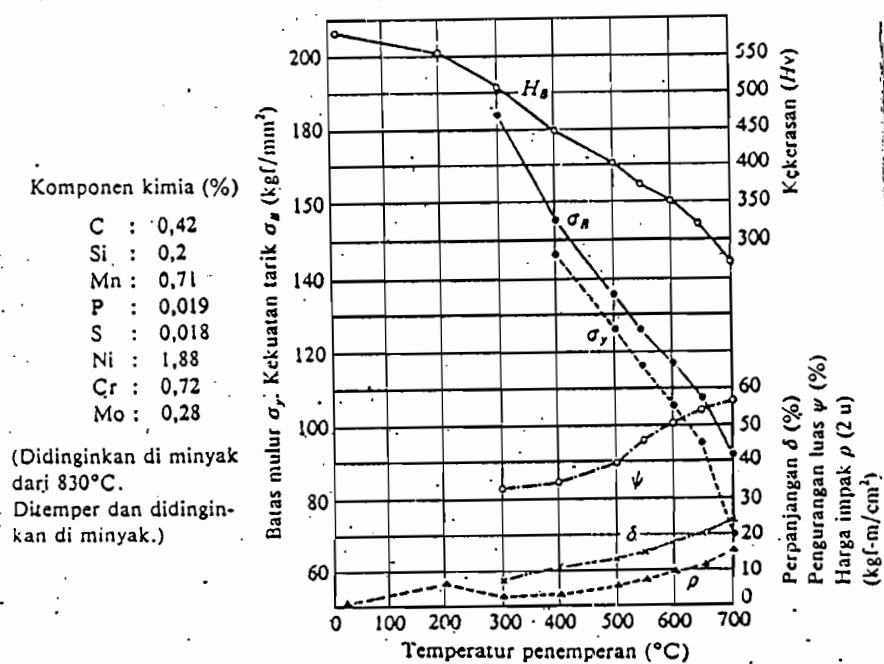
Gambar 2.5. Pengerolan Temper
Sumber : Tata Surdi, 1992, hal. 75

Lembaran baja tipis dapat dibentuk secara baik bila maksimum mengandung 0,18 % karbon, tapi karena kadar karbon membuat harga regangan plastis (r) menurun, maka kadar karbon diturunkan sampai kira-kira 0,03 %. Kekuatan tarik dipertahankan sampai tertinggi 40 kgf/mm², contohnya adalah lembaran baja untuk pembuatan mobil dibuat lebih kuat agar menjadi kuat dan lebih ringan untuk menghemat bahan bakar.

2.1.3 Baja paduan untuk konstruksi mekanik

Merupakan baja yang penggunaannya melihat sifat dari kekuatan dan keuletannya. Dengan paduan yang dipergunakan adalah Ni-Cr, Ni-Cr-Mo, Cr-Mo-Mn dan Mn-Cr akan mempunyai kelebihan yaitu :

1. Mempunyai mampu keras yang baik meskipun berukuran besar dapat dikeraskan sampai ke dalam, jadi dengan penemperan dapat diperoleh struktur yang lebih uniform. Disamping itu kekuatan yang lebih tinggi dan keuletan yang lebih baik dapat diperoleh.
2. Karena mempunyai mampu keras yang lebih baik tidak perlu pendinginan yang lebih cepat pada pengerasannya, hal ini menyebabkan rendahnya tegangan sisa.



Gambar 2.6. Pengaruh Temperatur Penemperan pada sifat-sifat mekanik dari baja Martensit yang ditemper

Sumber : Tata Surdi, Pengetahuan Bahan

Dari gambar di atas terjadi perubahan sifat mekanik untuk baja yang ditemper dan dikeraskan. Kekerasan, kekuatan tarik dan kekuatan mulur menurun kalau temperatur tempering meningkat dan harga impak meningkat kecuali di daerah 200 sampai 300° C. Komponen umumnya yang dibuat adalah : poros roda gigi, baut, mur, batang torak dan sebagainya.

Baja Ni-Cr-Mo sangat baik kekuatan dan keuletannya, tapi Ni mahal sehingga sekarang dicoba digantikan dengan baja Cr-Mo atau baja Cr. Untuk itu baja Cr dipakai karena pengaruhnya dapat memperbaiki mampu keras dengan penambahan yang sedikit saja.

2.1.4 Baja plat yang dirol panas dan baja kekuatan tinggi

Lembaran baja yang dirol panas mempunyai sifat-sifat yang mudah dibentuk dan dilas. Dilihat dari pembuatan baja, pengerolan plat adalah proses yang sangat efisien dan sangat ekonomis, oleh karena itu ada suatu kecenderungan bahwa lambat laun struktur, konstruksi baja dibuat dari plat yang dirol dengan mempergunakan teknik pengelasan. Ada berbagai macam bahan seperti baja untuk cetakan, pipa-pipa dsb, dapat juga dibuat dengan jalan yang sama.

Penggunaan baja yang paling utama, bagi baja yang telah dirol panas ditambah proses celup dingin dan di temper, adalah untuk konstruksi baja yang memerlukan suhu yang tinggi pada temperatur kamar atau temperatur yang lebih rendah.

Karbon adalah unsur yang paling utama untuk menguatkan baja, sehingga baja harus mengandung karbon sampai kadar tertentu.

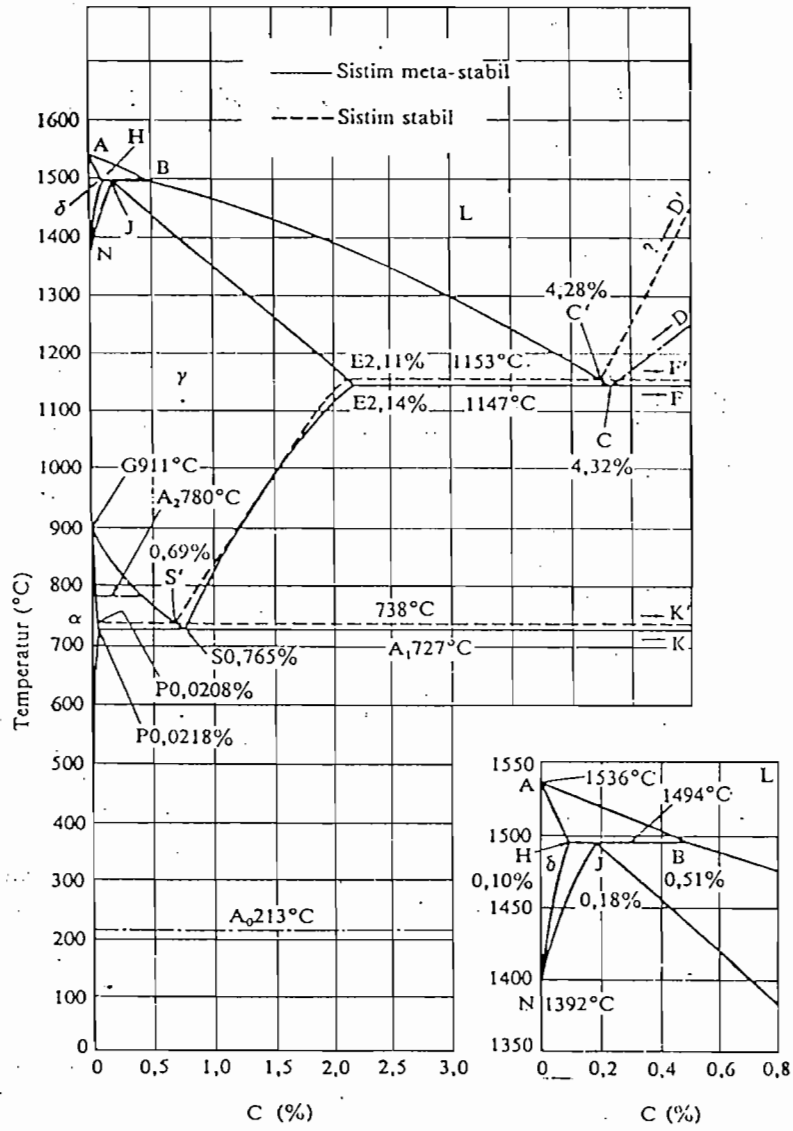
Diagram Fasa Besi – Karbon

Gambar 2.4 menunjukkan diagram keseimbangan besi karbon sebagai dasar bahan yang berupa besi baja. Selain karbon besi dan baja terkandung kira-kira 0,25% Si; 0,3 – 1,5% Mn, dan unsure pengotor lain seperti P, S, dsb. Karena unsur-unsur ini tidak memberikan pengaruh utama kepada diagram fasa, maka diagram fasa tersebut dapat dipergunakan tanpa menghiraukan unsur-unsur tersebut.

Pada paduan besi karbon terdapat fasa karbida yang disebut sementit dan juga grafit, grafit lebih stabil daripada sementit. Pada besi cor kestabilan tersebut merupakan pertanyaan, hal ini akan dibahas kemudian, yang dibahas disini adalah fasa diagram Fe-Fe₃C. Titik-titik penting pada diagram ini adalah :

- A : Titik cair besi.
- B : Titik cairan yang ada hubungannya dengan reaksi peritektik.
- H : Larutan pada δ yang ada hubungannya 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 dari besi δ dari dan ke besi γ , titik transformasi A4 dari besi murni.

- C : Titik autektik, selama pendinginan fasa γ dengan komposisi E dan sementit pada posisi F (6,67% C) terbentuk dari cairan pada komposisi C. Fasa autektik ini disebut ini disebut ledeburit.
- E : Titik yang menyatakan fasa γ , ada hubungan dengan fasa autektik. Kelarutan maksimum dari karbon 2,14%. Paduan besi karbon sampai komposisi ini disebut baja.
- G : Titik transformasi besi γ dari dan ke 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 terbentuk simultan dari austenit pada komposisi S. Reaksi eutektoid ini dinamakan reaksi A_1 dan fasa eutektoid ini disebut perlit.
- GS : Garis yang menyatakan hubungan antara temperatur dengan komposisi, dimana mulai terbentuk ferit dari austenit. Garis ini disebut garis A_3 .
- ES : Garis yang menyatakan hubungan temperatur dengan komposisi, dimana 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 2.7. Diagram Keseimbangan Besi-Karbon

Baja yang berkadar karbon sama dengan komposisi eutektoid dinamakan baja eutektoid, yang berkadar karbon kurang dari komposisi eutektoid disebut baja hipoeutektoid, dan yang berkadar karbon lebih dari komposisi eutektoid disebut baja hipereutektoid. Gambar 2.5. menunjukkan struktur mikro baja apabila baja didinginkan perlahan-lahan sampai suhu $50^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$ diatas garis GS dan garis SE pada gambar 2.4 pada baja eutektoid transformasi terjadi pada titik tetap S, menjadi struktur yang disebut perlit. Pada baja hipoeutektoid terbentuk fasa ferit mendekati besi murni yang komposisinya sama dengan P pada perlit sedangkan pada hipereutektoid terbentuk perlit dan sementit pada batas butir.

A. Perubahan struktur pada perlakuan panas

Besi dan baja diharapkan mempunyai kekuatan statik dan dinamik, ulet, mudah diolah, tahan korosi dan mempunyai sifat elektromagnetik agar dapat dipakai sebagai alat untuk konstruksi dan mesin. Dilihat dari transformasi ada tiga macam baja :

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 , dibawah temperatur kamar, berupa austenit pada temperatur kamar.
3. Baja dengan daerah austenit yang kecil, berupa ferrit sampai temperatur tinggi pada daerah pada komposisi tertentu.

Baja dengan golongan 1) berupa ferit pada temperatur kamar, dapat diproses menjadi berbagai macam stuktur dengan jalan perlakuan panas, struktur tersebut diiktisarkan pada table 2.1 fasa-fasa tersebut mempunyai sifat yang khas.

Tabel 2.1. Fasa yang ada pada plat

	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		Sorbit adalah perlit halus dan trostit adalah bainit. Nama ini tidak banyak dipakai.
	Trostit		

Catatan: *fcc*=face centered cubic
bcc=body centered cubic
bct=body centered tetragonal.

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

B. Pengaruh Unsur Paduan Dalam Baja

1. Unsur Paduan Sulfur (S) dan Phosfor (P).

Semua baja mengandung unsur S dan P. Unsur-unsur S dan P ini sebagian berasal dari kotoran terbawa bijih besi sebelum diolah dalam dapur tinggi. Kadar S dan P harus dibuat sekecil mungkin karena unsur S dan P akan menurunkan kualitas dari baja. Kadar S dalam jumlah banyak menjadikan baja rapuh pada suhu tinggi (panas) sedangkan unsur P menjadikan baja rapuh pada suhu rendah (dingin). Kadang-kadang unsur P perlu ditambahkan pada baja agar mudah dikerjakan dengan mesin perkakas dan juga untuk mendapatkan ukuran tatal lebih kecil ketika dikerjakan dengan mesin otomatis.

2. Unsur Paduan Mangan (Mn).

Semua baja mengandung mangan, karena mangan sangat diperlukan dalam pembuatan baja. Kadar mangan lebih kecil dari 0,6% tidak dianggap sebagai unsur paduan karena tidak mempengaruhi sifat baja secara mencolok. Unsur mangan dalam proses pembuatan baja berfungsi sebagai deosider (pengikat O₂) sehingga proses peleburan dapat berlangsung secara baik. Kadar mangan rendah dapat juga menurunkan kecepatan pendinginan kritis.

3. Unsur Paduan Nikel (Ni)

Unsur nikel memberi pengaruh yang sama, yaitu menurunkan suhu kritis dan kecepatan pendinginan kritis. Apabila kadar Ni cukup banyak maka akan menjadikan baja austenit pada suhu kamar. Ni membuat struktur butiran halus dan menaikkan keuletan baja.

4. Unsur Paduan Silikon (Si)

Unsur silikon selalu terdapat dalam baja. Unsur silikon menurunkan laju perkembangan gas sehingga mengurangi sifat berpori baja. Silikon akan menaikkan tegangan tarik, menurunkan kecepatan pendinginan kritis. Unsur silikon harus selalu ada dalam baja walaupun dalam jumlah yang sangat kecil hal ini dikarenakan akan memberikan sifat mampu las dan mampu tempa pada baja.

5. Unsur Paduan Chromium (Cr)

Unsur Cr dapat memindahkan titik eutektik ke kiri. Chromium dan Carbon akan membentuk carbide yang akan menaikkan kekerasan baja. Cr akan meningkatkan kemampuan potong dan daya tahan alat perkakas, tetapi menurunkan keuletan. Cr akan menurunkan kecepatan pendinginan kritis dan menaikkan suhu kritis baja.

6. Unsur Paduan Cobalt (Co)

Pada umumnya unsur Cobalt digunakan bersama-sama dengan unsur paduan lainnya. Cobalt menaikkan daya tahan aus dan menghalangi pertumbuhan butiran.

7. Unsur Paduan Tungsten (W), Molibden (Mo), dan Vanadium (V)

Seperti Cr, unsur-unsur ini akan membentuk carbide dalam baja yang akan menaikkan kekerasan, kemampuan potong dan daya tahan aus baja. Unsur-unsur ini juga memberikandaya tahan panas pada alat perkakas yang bekerja dengan kecepatan tinggi. Unsur-unsur ini tidak begitu mempengaruhi kecepatan

pendinginan baja tetapi menaikkan titik eutektik baja. Unsur paduan ini terutama digunakan pada pahat baja HSS (*High Speed Steel*).

8. Karbon (C)

Karbon merupakan unsur utama pada baja. Dengan Fe maka akan membentuk Fe_3C (Sementit). Peningkatan kadar karbon akan menambah kekerasan dan kekuatan tarik baja. Di atas 0,83% C kekuatan baja akan turun, meskipun kekerasan dari baja bertambah.

2.2. TINJAUAN KHUSUS

2.2.1. Jenis-jenis Proses Laku Permukaan

Proses-proses untuk memperkeras permukaan logam antara lain :

1. Proses perlakuan termokimia (*Thermochemical treatment*) :
 - Carburising (Cementation, Sementasi, Karburasi) dengan media padat, cair atau gas
 - Nitriding dengan media cair dan gas
 - Ionitriding
 - Cyaniding (*Carbonitriding, Chapmanizing*)
 - Nitrocarburising (*Nitroc*)
2. Proses pengerasan permukaan (*Surface hardening*) :
 - Induction hardening
 - Flame hardening

3. Metal Sparying
4. Pelapis logam (Metal Planting) melalui pengendapan elektrolitik unsur-unsur keras.
5. Proses fusi (Fusion process) antara lain : Overlay process atau substitusi.

Proses-proses untuk meningkatkan “unjuk rupa (performance)” permukaan logam.

- | | |
|---------------------------|-------------------|
| 1. Polishing | 4. Honing |
| 2. Abrasive belt grinding | 5. Lapping |
| 3. Barrel tumbling | 6. Superfinishing |

Disamping proses tersebut, ke dalam jenis proses ini termasuk pula :

7. Electroplating
8. Metal spraying
9. Pelapisan inorganik
10. Parkerizing
11. Anodizing
12. Sheradizing

2.2.2. Carburizing (Karburasi)

Carburizing (Karburasi) bertujuan untuk :

1. Meningkatkan ketahanan aus dengan jalan mempertinggi kekerasan permukaan logam (dalam hal ini baja).
2. Meningkatkan ketahanan terhadap pembebanan yang tiba-tiba. Ini berarti, logam yang diperkeras permukaannya harus memiliki harga impact yang

tinggi (harga impak yang tinggi dapat dicapai karena bagian dalam dari logam tetap lunak).

3. Meningkatkan karakteristik fatik dari logam.

Dalam proses ini yang patut dipertimbangkan dalam penerapan proses ini adalah bahwa proses karburasi menghasilkan kemungkinan deformasi yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan proses pengerasan yang diperoleh melalui penyepuhan (Quenching).

Proses karburasi adalah proses perlakuan termokimia. Pada umumnya diterapkan pada jenis baja yang tidak mudah dikeraskan. Dengan demikian agar baja tersebut dapat dikeraskan permukaannya, perlu dilakukan perubahan komposisi dari baja yang bersangkutan. Perubahan komposisi baja terjadi dengan jalan melarutkan karbon pada permukaan baja. Dengan cara seperti itu, komposisi pada permukaan baja akan berkisar antara 0,3 sampai 0,9% C. Di atas 0,9% C harus dihindari karena dapat menimbulkan penggetasan dan bahkan pengelupasan.

Proses karburasi dilaksanakan pada suhu sekitar 825° C dan 925° C. Sedangkan pelaksanaan pengerasannya dilakukan dengan cara :

- Meng-*quenching* (menyepuh) langsung dari suhu karburasi
- Pertama-tama mendinginkan benda kerja dari suhu karburasi, kemudian diikuti dengan austenisasi dan penyepuhan (Single Quenching).
- Double quenching : yaitu menyepuh langsung dari suhu karburasi diikuti dengan austenisasi kembali dan di-quench.

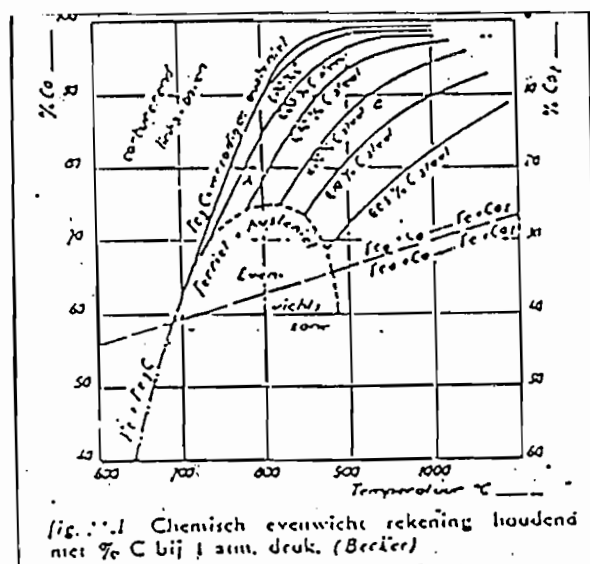
Keseluruhan proses karburasi ditentukan oleh dua factor utama yaitu : kesetimbangan kimia dan difusi.

2.2.3. Kesetimbangan kimia

Karbon yang dibutuhkan untuk proses ini dipasok dari medium yang dapat berbentuk padat, cair atau gas. Bagaimanapun bentuk pemasok, transport karbon ke permukaan logam senantiasa dalam bentuk gas yaitu dalam bentuk gas CO. Gas CO ini akan bereaksi dengan permukaan logam sebagai berikut :



Dari gambar 2.3. terlihat bahwa laju reaksi menurun dengan meningkatnya kadar karbon dari baja. Disamping itu terlihat pula bahwa proses ini tergantung dari komposisi gas. Ini berarti bahwa perbandingan antara CO₂ dengan CO yang tertentu pada suhu tertentu dapat memberikan kadar karbon yang tertentu pula.



Gambar 2.3. Kesetimbangan Kimia

Sumber : Rochim Duratman, Panduan Proses Perlakuan Panas, 1994, hal. 132.

Jadi jika proses karburasi dilakukan pada suhu yang relatif tinggi, maka perbandingan CO_2 / CO harus kecil dan ini berarti membutuhkan gas CO yang banyak.

2.2.3. Difusi

Faktor yang sangat penting dalam proses karburasi adalah difusi, dan yang berpengaruh adalah suhu dan waktu. Makin tinggi suhu karburasi, makin tebal lapisan karburasi karena kecepatan difusi makin besar. Proses karburasi yang baik adalah yang menghasilkan adanya gradien komposisi dari luar ke dalam. Dengan adanya gradien komposisi, maka pengelupasan dapat dicegah. Agar gradien komposisi dari karbon dapat diperoleh, perlu dipertimbangkan suatu periode difusi dimana pada saat tersebut pemasokan karbon sudah dihentikan, tetapi benda kerja untuk beberapa saat masih tetap pada temperatur karburasi untuk “menyempurnakan” difusi dari karbon.

Dari uraian tersebut terlihat bahwa tebal lapisan karburasi (depth of carburization) yang berarti jarak dari permukaan logam ke suatu konsentrasi karbon tertentu sangat tergantung pada suhu proses, konsentrasi karbon medium yang digunakan dan kadar karbon yang dimiliki oleh baja yang diproses. Dalam praktik, konsentrasi karbon medium dikenal dengan sebutan potensial karbon (carbon potential). Untuk struktur kubus *f.c.c.* menggunakan rumus $b = a / \sqrt{2}$ dan $D = 1/12 va^2$, *b.c.c.* $D = 1/24 va^2$ dan untuk koefisien difusi $D = 1/36 (a^2 / \tau)$.

2.2.5 Cara Pelaksanaan dan Proses Karburasi

Proses karburasi menggunakan beberapa medium diantaranya :

- a. Menggunakan Medium Padat

- b. Menggunakan medium gas
- c. Menggunakan medium cair

2.2.5.1 Menggunakan medium padat

Proses karburasi dengan menggunakan medium karburasi yang padat disebut juga dengan pack carburising .

Pada waktu pemanasan , oksigen dari udara bereaksi dengan karbon dari medium membentuk CO, CO₂ ini kemudian bereaksi dengan karbon dari medium menurut reaksi sebagai :



Pada saat suhu proses bertambah tinggi , kesetimbangan reaksi bergeser ke sebelah kanan, sehingga kadar gas CO bertambah banyak pada permukaan baja, CO mengurangi sebagai berikut :



Atom karbon yang dihasilkan dari reaksi di atas kemudian larut dalam fasa austenit dan berdifusi. Sedangkan CO₂ yang dihasilkan dari reaksi di atas bereaksi kembali dengan karbon yang terdapat pada medium diikuti kembali dengan penguraian CO pada permukaan logam dan seterusnya.

Tetapi proses pembentukan gas CO₂ dan CO seperti diuraikan di atas berlangsung sangat lambat. Untuk mengatasi hal tersebut di atas, kedalaman medium ditambahkan suatu katalisator. Katalisator

dapat digunakan untuk proses ini adalah : BaCO_3 , BaCl , BaO , CaO , K_2CO_3 , Na_2CO_3 , K_2SO_4 , dan $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$.

Dalam praktik, *energizer* yang umum digunakan adalah BaCO_3 , dan $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$, sedangkan bahan medium adalah arang kayu (Charcoal / houtskool).

Komposisi arang kayu dengan energizer yang utama sebagai berikut :

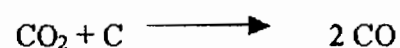
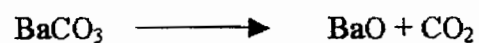
a. Komposisi 1 :

- 60% arang kayu
- 40% barium karbonat

b. Komposisi 2 :

- 45% arang kayu
- 50% barium karbonat
- 5% kalium ferrosianid

Pada suhu proses yang tinggi : energizer berfungsi untuk membentuk / mempercepat pembentukan gas CO seperti ditunjukkan oleh contoh berikut :



Gas CO yang terjadi kemudian larut ke dalam fasa austenit atau bereaksi dengan Fe sebagai berikut :



Gas CO₂ yang terbentuk dari reaksi di atas kemudian bereaksi dengan BaO dan membentuk BaCO₃. Dengan demikian BaCO₃ senantiasa ada selama proses sehingga reaksi-reaksi dapat berjalan terus.

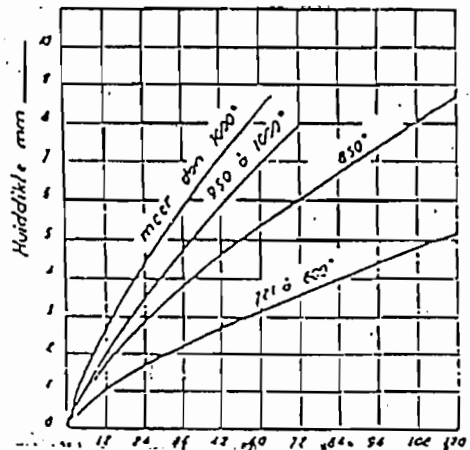
Penambahan K₄Fe (CN)₆ dapat memperbaiki hasil karburasi seperti ditunjukkan pada gambar 2.6.

Jika medium untuk karburasi akan dibuat sendiri, perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

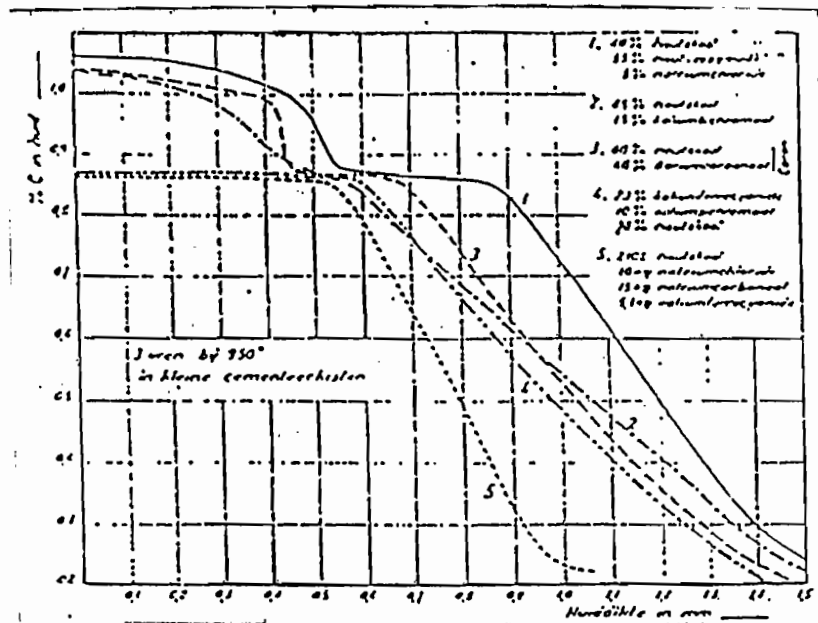
- Medium harus memiliki daya hantar panas yang baik agar distribusi temperatur yang baik mudah diperoleh dalam tempo yang relatif singkat.
- Perubahan volume (jika terjadi) harus sekecil mungkin sehingga benda kerja senantiasa diselaputi oleh medium selama proses berlangsung.
- Memiliki mampu regenerasi yang baik
- Relatif kering

- Diameter medium (arang kayu) harus sesuai dengan bentuk dan ukuran benda kerja. pada umumnya ukuran butir medium harus mampu “menutupi “ permukaan benda kerja dengan sempurna. Umumnya ukuran butir medium berkisar antara 1,5 sampai 6 mm.

Setiap jenis medium dan energizer yang digunakan akan memberikan hasil yang berbeda-beda. Gambar 2.7. memperlihatkan hubungan antara jenis medium yang digunakan dengan dalamnya penetrasi karbon untuk suatu waktu dan suhu proses yang sama .



Gambar : 2.9. Tebal lapisan sebagai fungsi dari waktu dan suhu proses
 Sumber : Rochim Suratman, Panduan Proses Perlakuan Panas, 1994, hal. 136



Gambar : 2.10 Hubungan antara jenis medium yang digunakan dengan dalamnya penetrasi karbon

Sumber : Rochim Suratman, Panduan Proses Perlakuan Panas, 1994, hal. 137

Dari gambar 2.7. terlihat bahwa hasil yang baik ditunjukkan oleh kurva nomor 4 dan 5, karena kadar karbon yang dicapai pada permukaan tidak melampaui 0,9%. Dipasaran, medium yang dijual (misalnya: Eternite buatan ICI) memiliki potensial karbon sekitar 0,8 - 0,9 %.

2.2.5.2. Kotak sementasi

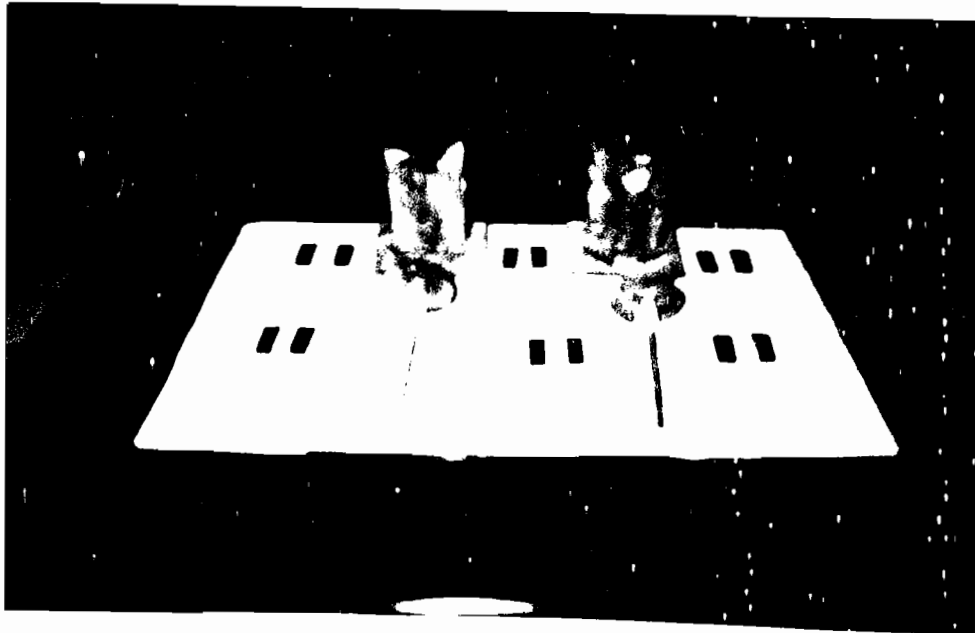
Benda kerja yang akan diproses dengan padat, diletakkan \ disusun dalam kotak sementasi. Kotak sementasi harus memiliki karakteristik sebagai berikut :

- Harus rapat sehingga tidak memungkinkan adanya kebocoran dari gas yang terbentuk.

- Tahan suhu tinggi untuk waktu yang relatif lama.
- Memiliki sifat mekanik yang memadai sehingga tidak terjadi perubahan bentuk pada saat mengalami pemanasan pada waktu yang cukup lama.
- Relatif ringan.

Untuk itu biasanya kotak sementasi dibuat dari:

- Baja Cr-Ni
- Bahan ini harganya relatif mahal, tetapi bahan ini sangat stabil pada suhu yang tinggi serta relatif ringan
- Baja lunak, murah tetapi masa pakainya singkat
- Besi cor, relatif tebal (rata-rata di atas 10 mm) agar masa pakainya menjadi panjang



Gambar : 2.11 Kotak Sementasi

2.2.5.3. Menggunakan Medium Cair

Medium cair yang digunakan adalah berbentuk garam yang mengandung karbon. Penggunaan medium cair dalam proses karburasi memberikan banyak keuntungan baik dari aspek kualitatif maupun ekonomi. Cara ini sangat cocok diterapkan pada benda kerja relatif kecil. Pemanasannya berlangsung homogen dan selama proses karburasi, oksidasi dan dekarburasi dapat dicegah.

Jenis garam yang digunakan umumnya adalah yang banyak mengandung NaCN atau KCN. Garam ini kemudian dicampur dengan bahan activator seperti: NaCl, BaCl, KCl atau Na₂CO₃. Penambahan activator ini, selain sebagai mempercepat reaksi, juga berfungsi untuk menurunkan titik cair garam.

Dalam praktek, garam NaCN lebih umum digunakan dibandingkan dengan garam KCN. Alasannya adalah:

- NaCN lebih murah
- Mengandung banyak karbon. Lihat perhitungan berikut :

Na	C	N	K
23	12	14	39

Dengan demikian kadar karbon dalam NaCN :

$$\frac{12 \cdot 100}{23 + 12 + 14} = 24,5\%$$

$$\text{dalam KCN} = 18,5\%$$

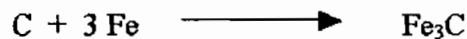
Hal ini mengakibatkan : untuk suhu dan waktu proses yang sama NaCN dapat memberikan lapisan yang lebih tebal.

Titik cair NaCN relatif rendah (NaCN mulai mencair mulai suhu 500° C)

Jika garam NaCN dipanaskan pada suhu proses, garam ini akan mengurai menjadi :



Sedangkan unsur C yang terbentuk akan larut ke dalam fasa austenit atau bereaksi dengan Fe menjadi :



Untuk waktu dan suhu proses yang sama, penetrasi karbon pada proses karburasi dengan menggunakan medium padat.

Komposisi garam NaCN yang digunakan umumnya terdiri dari : 45% NaCN, 18% NaCl dan 37% Na₂CO₃. Kadar NaCN yang diijinkan untuk proses ini berkisar antara 25% sampai 50%. Gambar 2.5. menunjukkan hubungan antara tebal lapisan dengan waktu pada suhu proses yang berbeda-beda.

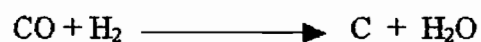
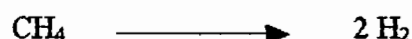
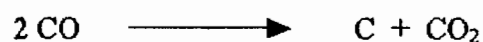
Komposisi campuran garam sangat berpengaruh terhadap sifat permukaan yang akan diperoleh. Oleh sebab itu perlu penelaahan yang dalam sebelum memilih garam yang akan digunakan untuk proses karburasi tersebut. Perlu pula diperhatikan bahwa selama proses berlangsung, kontak antara oksigen dari udara dengan cairan garam harus dicegah, dan disamping itu agar asap yang timbul selama proses berlangsung dapat diperkecil serta efisiensi panas dapat ditingkatkan, maka sebaiknya permukaan garam cair perlu ditutupi dengan serbuk grafit.

Benda kerja yang akan diproses harus mengalami pemanasan awal pada suhu sekitar 100 sampai 400° C. Gunanya adalah untuk menghilangkan kemungkinan adanya uap air serta untuk meningkatkan efisiensi proses.

Tebal lapisan yang diterapkan umumnya tidak lebih dari 0,5 mm, makin tipis tebal lapisan, karakteristik proses menjadi lebih ekonomis karena laju pemanasan sangat tinggi. Jika tebal lapisan direncanakan lebih dari 0,5 mm maka suhu proses yang ekonomis berkisar antara 900 – 925°C. Jika dari suhu ini hasil penyepuhan membuahkan kekerasan yang relatif rendah, maka perlu dilakukan proses *single quenching*.

2.2.5.4. Menggunakan Medium Gas

Dalam hal ini, benda kerja diletakkan pada suatu jenis tungku tertentu (biasanya tungku retort) dimana proses karburasi berlangsung dengan jalan mengalirkan gas ke medium. Gas yang digunakan adalah gas CO dan gas hidrokarbon. Reaksi yang timbul adalah sebagai berikut :



Dari reaksi di atas, komposisi dari gas untuk proses karburasi dapat dianalisa sehingga potensial karbonnya dapat diperkirakan. Disamping itu, kadar kelembaban sangat mempengaruhi harga potensial karbon. Berdasarkan hal tersebut, pengukuran potensial karbon dapat ditentukan dengan jalan menentukan titik embun (*dew point*) dari gas tersebut.



Gas untuk proses karburasi dapat diperoleh dengan cara :

- Mengalirkan cairan karburasi ke dalam tungku. Cairan ini kemudian diteteskan pada suatu plat dalam tungku sehingga cairan tersebut berubah menjadi uap. Potensial karbon dalam hal ini sangat tergantung pada besar / kecilnya cairan yang dialirkan ke dalam tungku.
- Mengalirkan gas yang dibuat dalam suatu generator
- Mengalirkan gas hidrokarbon dan udara secara langsung ke dalam tungku
- Melaksanakan proses karburasi dalam tungku vakum dengan cara mengalirkan gas hidrokarbon ke dalam tungku. Dengan cara ini, pelaksanaan proses dapat dilakukan pada suhu yang lebih tinggi sehingga waktu proses menjadi lebih singkat.

2.2.6. Siklus Thermal Proses Karburasi

a. *Pemanasan*

- Suhu untuk proses berkisar antara 850 - 950° C, tergantung pada jenis baja yang diproses (masuk ke daerah austenit).

Pemanasan di atas suhu tersebut dapat mempercepat proses karburasi, tetapi kemungkinan untuk timbulnya butir austenit yang kasar.

- Lamanya proses tergantung pada : tebal lapisan yang diinginkan, suhu proses dan jenis medium yang digunakan.

b. *Pendinginan*

Pendinginan dilakukan jika tidak diterapkan proses penyepuhan langsung (*direct quench*)

2.2.7. Proses-proses yang diterapkan setelah pelaksanaan Karburasi

a. *Normalizing*

- Latar belakang

Pemanasan pada temperatur tinggi untuk jangka waktu yang relatif lama menyebabkan ukuran butir membesar. Ini berarti butir-butir ferit dibagian dalam dan butir-butir perlit pada permukaan menjadi kasar.

Keadaan ini menyebabkan harga impak dari benda kerja menjadi rendah.

- Solusi

Untuk mengatasi hal tersebut di atas biasanya diterapkan double normalizing yang pelaksanaannya adalah sebagai berikut :

Normalizing untuk bagian tengah dari logam (suhu proses relatif tinggi), setelah itu diikuti dengan penormalan untuk bagian permukaan logam (suhu proses lebih rendah).

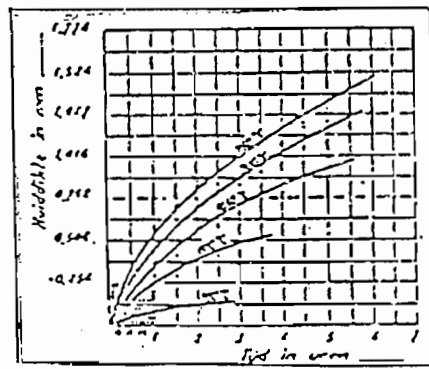
b. *Pengerasan*

Metode yang diterapkan dapat berupa : *Direct quench*, *Single quench* atau *Double quench*.

c. *Penemperan*

Meskipun sudah diterapkan proses *double quench*, kadang-kadang pada beberapa jenis baja masih dapat terjadi pengelupasan. Hal ini sebagai akibat timbulnya tegangan sisa yang cukup besar pada bagian permukaan setelah

mengalami proses penyepuhan. Untuk mengatasi hal tersebut dapat dilakukan proses penemperan pada suhu yang relatif rendah sehingga tidak terjadi penurunan kekerasan dipermukaan yang besar. Dengan demikian tujuan dari penemperan adalah untuk menghilangkan tegangan sisa.



Gambar 2.12. Hubungan antara tebal lapisan dengan waktu pada suhu yang berbeda-beda

Sumber : Rochim Suratman, Panduan Proses Perlakuan Panas, 1994, hal. 144.

2.2.8. Baja Karburasi

Proses karburasi dapat diterapkan pada :

- a. *Baja karbon lunak* : yaitu baja dengan kandungan karbon maksimum 0,2%.

Jika baja ini diproses, hal-hal berikut kemungkinan besar terjadi yaitu :

- adanya kecenderungan butir tumbuh membesar, sehingga dapat menurunkan harga impak.
- kecepatan difusi sangat lambat sehingga biaya proses menjadi mahal.
- *gradien* komposisi sulit terbentuk sehingga kemungkinan timbulnya penelupasan menjadi besar.

b. Baja Karburasi (*Carburizing Steel*).

Adalah baja dengan komposisi tertentu sehingga kemungkinan-kemungkinan seperti terdapat pada baja karbon lunak dapat dihindari.

Beberapa jenis baja karburasi antara lain adalah :

a. Baja karburasi nikel (*Ni-carburizing steel*)

- Kemungkinan tumbuhnya butir sangat kecil, sehingga harga impak setelah proses tetap tinggi.
- Kecepatan difusi relatif besar, sehingga proses karburasi dapat lebih ekonomis.
- Mudah menghasilkan *gradien* komposisi sehingga kemungkinan timbulnya pengelupasan menjadi kecil (relatif tidak ada).
- Jenis baja ini tidak memerlukan penemperan.

b. Baja karburasi krom-nikel (*Cr-Ni carburizing steel*)

Dengan adanya karbida krom, ketahanan aus baja ini menjadi lebih besar.

c. Baja karburasi krom-nikel dan mangan

Baja ini memiliki kekuatan, ketangguhan dan ketahanan terhadap fatik yang relatif tinggi. Adapun kadar mangan yang cukup, memungkinkan proses penyepuhan dalam oli.

d. Baja karburasi krom-nikel dan molibden

Karbida yang terbentuk memungkinkan pertumbuhan butir dapat dicegah. Kadang-kadang baja ini mengandung sejumlah kecil vanadium untuk menaikkan ketangguhannya.

2.2.9. **Pemeriksaan dan Pengukuran Tebal Lapisan Pengerasan (Carburizing Depth)**

1. *Pemeriksaan Makroskopik*

Pemeriksaan makroskopik dilakukan terhadap test coupon yang diproses bersama-sama benda kerja. Tebal lapisan diperiksa dengan jalan melakukan etsa makro atau memeriksa permukaan patah.

2. *Pemeriksaan Mikroskopik*

Pemeriksaan mikroskopik dapat dilakukan terhadap benda kerja sebelum dan sesudah benda kerja tersebut diproses. Pemeriksaan ini dapat pula dilakukan terhadap test coupon.

3. *Pengukuran Kekerasan*

Pengukuran tebal lapisan dapat dilakukan dengan jalan mengukur kekerasan lapisan. Karena tebal lapisan relatif kecil, maka pengukuran kekerasan dilakukan dengan alat pengukuran kekerasan mikro.

Pengukuran dilakukan dari sisi luar ke bagian dalam dari benda kerja. Menurut ISO No. 2639-1973, tebal lapisan didefinisikan sebagai jarak dari sisi luar. Jadi menurut ISO, pengukuran kekerasan dilakukan dengan metode Vikcers dengan pembebanan sebesar 1 Kpa.

2.2.10. Pemeriksaan Distorsi / Deformasi

Setelah proses karburasi dan pengerasan, benda kerja akan mengalami *distorsi / deformasi*. Besarnya distorsi yang terjadi merupakan fungsi dari perbandingan D/d dimana D adalah diameter bagian yang tidak mengalami pengerasan sedangkan d adalah tebal lapisan pengerasan yang diukur menurut standart ISO.

Distorsi terjadi sebagai akibat adanya variasi struktur mikro mulai dari bagian permukaan sampai ke bagian tengah benda kerja sehingga pada saat proses pengerasan timbul variasi tegangan.

Untuk dapat harga D/d yang tertentu, pencegahan distorsi dapat dilakukan dengan cara :

- penerapan suhu proses yang relatif rendah
- mengupayakan pemanasan benda kerja sehomogen mungkin
- memilih jenis baja dan jenis medium sedemikian proses pengerasannya dapat dilakukan ke dalam oli.

2.2.11. Pencegahan Pembentukan Karat Setelah Proses Karburasi

Pembentukan karat senantiasa menjadi masalah dalam proses karburasi yang menggunakan medium cair. Setelah penyepuhan dalam air, biasanya sebagian besar dari garam medium dapat dihilangkan. Tetapi sisa garam yang masih menempel (sifat garam sangat hidroskopik) dapat merupakan tempat terjadinya oksidasi.

Untuk mengatasi hal ini ada beberapa cara yang sederhana yaitu :

- melakukan proses pencucian dalam air yang mendidih segera setelah proses pengerasan (penyepuhan) dilakukan.
- Untuk meningkatkan ketahanan korosi, ada baiknya pada air yang mendidih ditambahkan sekitar 10 – 20% oli yang mudah melarut dalam air.

2.2.12. Proses Karburasi Selektif

Dalam praktik, ada kalanya beberapa bagian dari benda kerja tidak memerlukan pelapisan. Untuk itu perlu direncanakan suatu lapisan yang dapat mencegah berlangsungnya proses karburasi.

Cara ini sangat cocok diterapkan pada proses karburasi dengan media padat dan gas.

Dengan media cair biasanya lapisan pencegah mudah rusak. Media yang umum digunakan sebagai bahan lapis lindungan adalah :

- Tanah liat, efektif bila ketebalannya lebih dari 20 mm
- Campuran Natrium Silikat dengan talk, daya rekatnya relatif baik dan mudah dibersihkan setelah proses pengerasan berlangsung
- Pasta pelindung ini biasanya berupa campuran serbuk tembaga dengan jenis vernis. Daya rekatnya baik, tetapi tidak cocok untuk digunakan pada medium gas dan cair.
- Pelapisan tembaga dengan proses elektrolisa (electrolitic copper plating)

Cara ini sangat baik tetapi memerlukan penyiapan pelapisan yang cermat dan hasil pelapisan tembaga harus bebas pori. Tebal lapisan tembaga tergantung pada lama proses karburasi, sebagai contoh :

- a. untuk lama proses karburasi = 6 jam, maka tebal lapisan min = 0,005 mm
- b. untuk lama proses karburasi = 48 jam, maka tebal lapisan min = 0,02 mm

2.2.13. Penetapan Tebal Lapisan Karburasi

Penetapan tebal lapisan karburasi (lapisan yang diperkeras), tergantung pada:

- Fungsi benda kerja, yaitu dengan memperhitungkan besarnya tekanan yang akan dialami, besarnya harga keausan yang diijinkan dan bentuk benda kerja.
- Jenis baja yang diproses, untuk tekanan permukaan yang sama, ukuran ketebalan lapisan yang diperkeras dapat menjadi lebih kecil jika digunakan jenis baja yang memiliki ketahanan yang lebih besar.
- Besarnya lapisan yang akan dihilangkan melalui proses permesinan.

2.3. Macam-macam Pengujian Bahan

2.3.1. Pengujian Metalografi dengan Mikroskop Optis

a. Mikroskop Optis

Mikroskop optis merupakan susunan lensa-lensa objektif maupun okuler yang dipasang pada suatu rangka baja tahan karat atau komposit sehingga dapat dipakai untuk pemeriksaan zarah hidup maupun mati sampai perbesaran 2000x. Di atas perbesaran ini mikroskop optis tidak bisa dipakai dan sebagai gantinya dipakai mikroskop elektron yang dapat mencapai perbesaran sampai 200.000x. Berikut ini

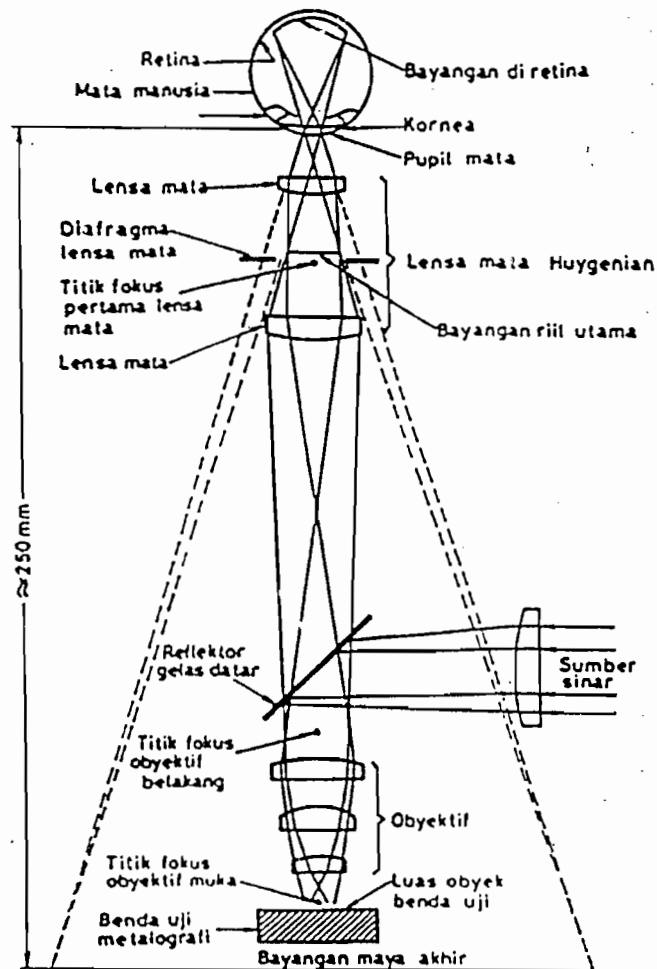
hanya akan diterangkan sedikit mikroskop optis dan pemakaiannya untuk pemeriksaan struktur mikro material logam.

Gambar 3.1. ditunjukkan prinsip susunan mikroskop optis dan cara kerjanya dapat diterangkan sebagai berikut.

Sumber cahaya dari arah horizontal dipantulkan dengan reflektor lensa datar ke bawah melalui lensa objektif sampai di atas permukaan benda uji. Beberapa sinar datang ini dipantulkan dari permukaan benda uji yang akan dibesarkan lagi oleh sistem lensa bagian atas (okuler). Bila kombinasi lensa objektif dan lensa okuler menggunakan panjang pipa yang sebenarnya, maka perbesaran total sama dengan hasil kali perbesaran lensa objektif dan okuler.

b. Pemeriksaan Metalografi

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk mengetahui sifat fisik suatu logam dan panduannya dengan cara mempelajari gambar struktur mikronya. Alat yang dipergunakan *mikroskop*. Alat ini memungkinkan untuk menentukan sifat fisik logam, antara lain mengenai ukuran butir, bentuk serta distribusi bermacam-macam fase, dan cacat mikro.



Gambar 2.13 Ilustrasi prinsip dasar mikroskop optis

Berhasilnya pemeriksaan metalografi tergantung pada cara mempersiapkan benda uji. Seorang metalografer harus dapat memilih dengan baik bagian-bagian yang akan diambil untuk dijadikan benda uji. Misal suatu material yang baru saja mengalami proses pengerolan, apakah bagian-bagian yang dipilihnya itu adalah yang tegak lurus terhadap arah pengerolan atau yang sejajar dengan arah pengerolan. Perlu diperhatikan bahwa dalam proses memotong harus dicegah kemungkinan deformasi dan panas yang berlebihan.

Jika benda uji terlalu kecil, maka benda uji harus dipasang bingkai. Penyiapan benda uji meliputi hal-hal sebagai berikut :

1. Pemilihan sample

Jika benda uji terlalu kecil, maka benda uji harus dipasang bingkai. Penyiapan benda uji meliputi hal-hal sebagai berikut :

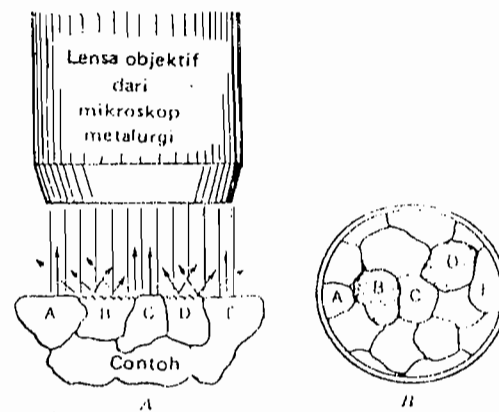
1. Pemilihan sampel
2. Penggerindaan / pengampelasan
3. Pemolesan mekanis
4. Pemolesan elektrolitis dan kimia
5. Pengetsaan

2.3.2. Pengujian Analisa Struktur Mikro

Sebelum benda uji diamati dengan mikroskop logam, benda uji pada bagian permukaan yang diamati harus benar-benar rata agar dapat memantulkan sinar dengan baik. Benda uji dilakukan pengampelasan kemudian dipoles setelah itu dietsa (dikikis bagian permukaannya dengan bahan kimia).

Tujuan etsa adalah mengikis selaput deformasi pada permukaan benda uji, benda menjadi buram, sebagian batas butir akan tampak dan komponen-komponen tertentu (fasa-fasa) akan tampak. Zat etsa yang digunakan terhadap logam akan berbeda-beda tergantung dari jenis logamnya. Untuk baja karbon dan besi cor biasanya digunakan zat etsa Nital yaitu campuran asam nitrat (HNO_3) dan Alkohol, dengan perbandingan 1 – 5 ml HNO_3 pekat dengan 99 – 95 ml Alkohol. Sketsa pengamatan struktur mikro dapat dilihat pada gambar di bawah ini. Foto-foto fasa struktur mikro dari baja dengan pengaruh kadar karbon dapat dilihat pada lampiran.

Mengetahui berbagai fasa pada baja dengan mengamati struktur mikronya selain itu untuk mengetahui perubahan struktur mikro akibat proses perlakuan panas.



Pemeriksaan contoh E yang sudah dietsa.

A. contoh yang dietsa sedang diperiksa dengan mikroskop. B. Penampilan contoh melalui mikroskop.

Pemeriksaan contoh A yang sudah dietsa.

A. Contoh yang dietsa sedang diperiksa dengan mikroskop.

B. Penampilan contoh melalui mikroskop.

Gambar. Pengamatan struktur mikro dengan mikroskop logam

2.3.3. Pengujian Dengan Merusak Bahan

2.3.3.1. Pengujian Kekerasan

2.3.3.1.1. *Pengujian Kekerasan Brinell*

Sebagai dasar pengujian kekerasan digunakan deformasi yang terjadi oleh penetrator ke dalam benda uji. Dalam hal ini digunakan penetrator bola baja yang telah dikeraskan dan ditekan dalam benda uji dengan beban dan waktu tertentu.

Kekerasan Brinell yang disingkat HB atau BHN (Brinell Harness Number) yang besarnya dapat dihitung berdasarkan rumus :

$$\text{BHN} = \frac{P}{0,5 \pi D (D - (\sqrt{D^2 - d^2}))}$$

Keterangan : P = Beban (Kg)

D = Diameter bola baja (mm)

d = Diameter jejak (mm)

Besar beban yang bekerja pada penetrator tergantung pada :

- a. Diameter penetrator
- b. Jenis logam benda uji

Diameter penetrator yang digunakan tergantung pada tabel benda uji dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.2 Benda Uji

Tebal benda uji (mm)	Diameter penetrator (mm)
1-3	D = 2,5
3-6	D = 5
>6	D = 10

HB rata rata	$\frac{P}{D^2}$	Bahan
160	30	Baja, Besi cor
160-80	10	Kuningan, Logam campur Cu
80-20	5	Aluminium, tembaga

Tabel 2.3. Diameter penetrator benda uji

Diameter penetrator D (mm)	$\frac{P}{D^2} = 5$	$\frac{P}{D^2} = 10$	$\frac{P}{D^2} = 30$
	Gaya (kg)		
2,5	31,25	62,5	187,5
5	125	250	750
10	500	1000	3000

Kekurangan dari pengujian Brinell :

- a. Bila bola baja kurang keras, maka pengujian kurang tepat.
- b. Bekas injakan kadang-kadang terlalu besar.
- c. Disekitar bekas penekanan terjadi kenaikan permukaan benda uji sehingga mengurangi ketelitian pengukuran bekas injakan.

Pada metoda Brinell, sebuah peluru baja yang dikeraskan ditekan pada permukaan benda uji yang licin dengan suatu gaya tertentu. Benda uji itu harus didukung secara merata oleh bidang pendukung yang cukup tebal.

Sebagai dasar pengukuran kekerasan maka digunakan deformasi yang terjadi oleh penetrator keadaan benda uji. Dalam hal ini digunakan Penetrator bola baja yang telah dikeraskan dan ditekan ke dalam benda uji dengan beban dan waktu tertentu.

Urutan proses pengujian kekerasan Brinell adalah sebagai berikut :

- a. Memotong melintang benda uji menjadi 3 potongan yang sama.
- b. Permukaan benda uji diratakan dengan kertas amplas dari ukuran 240, 600, 800, 1000 dan kemudian dilakukan pemolesan dengan menggunakan autosol sampai permukaan benda uji halus.
- c. Benda uji yang sudah rata dan halus diletakkan sejajar dengan alat uji kemudian dilakukan penekanan dengan cara memutar handle penekan, beban yang dipergunakan adalah 187,5 kg dan penetrator (diameter bola baja) yang dipakai dalam penelitian ini adalah 2,5 mm.

- d. Setelah selesai melakukan penekanan kemudian benda uji dipindahkan dari alat uji dan amati atau ukur diameter bekas penekanan dengan loop berskala atau mikroskop.
- e. Catat data yang ada dan hitung nilai kekerasannya.

2.3.3.1.2. Pengujian Vikcers

Pengujian dengan menggunakan metode Vikcers adalah pengujian dengan piramida intan. Kekerasan dengan benda uji Vikcers ini tergantung pada panjang diagonal bekas injakan. Diagonal bekas injakan biasanya diukur dengan bantuan mikroskop optik. Sudut antara dua bidang sisi piramida adalah 136° .

Pengujian dengan metode Vikcers menggunakan rumus :

$$\text{Kekerasan Vikcers} = H = \frac{1,854 F}{D^2} \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$$

$$\text{Atau VHN} = 1,854 \frac{P}{d^2} \left(\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right)$$

Keterangan :

F = beban yang bekerja pada penetrator

P = beban (kg)

D = diameter bekas injakan

d = panjang diagonal rata-rata (mm)

2.3.3.1.3. Pengujian Rockwell

Sebagai penetrator digunakan :

- a. Bola baja dikeraskan dengan diameter 1/16 inchi, yang dinyatakan dengan skala B (ball) yang lebih dikenal dengan kekerasan R.B.

- b. Kerucut intan dengan sudut puncak 120° dengan pembulatan pada ujungnya dengan radius pembulatan 0,2 mm selanjutnya dinyatakan dengan skala C (corner).

Yang dilakukan dalam pengujian Rockwell adalah :

1. Mengukur dalamnya penetrator masuk ke dalam benda uji (bukan laas penampang injakan).
2. Menggunakan beban awal dan beban utama, maka kekerasan benda uji dimulai saat penggunaan beban utama.
3. Pengujian terhadap beban yang lunak, penetrator masuk lebih dalam dibandingkan dengan bahan keras.

Keuntungan dari penggunaan pengujian Rockwell adalah :

- a. Bekas injakan lebih kecil, demikian dengan beban yang digunakan.
- b. Pembacaan harga kekerasan lebih tepat.
- c. Dapat digunakan untuk pengujian logam-logam keras.

Kelemahan dari uji Rockwell adalah :

- a. Penunjukan harga kekerasan benda uji kurang tepat karena adanya sedikit debu antara benda uji dengan penetrator.
- b. Ukuran bekas injakan relatif kecil, karena itu perlu diketahui terlebih dahulu berapa kira-kira kekerasan bahan yang akan diuji untuk memilih dengan tepat penetrator yang akan digunakan.

Kekerasan Rockwell dapat dinyatakan dengan :

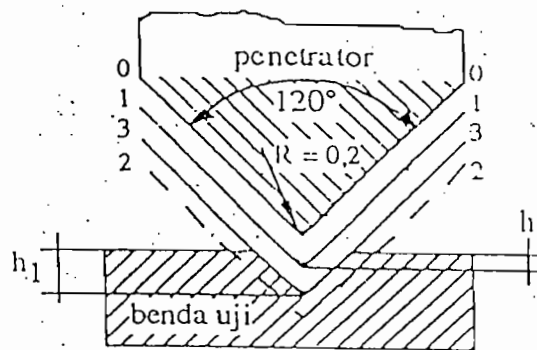
Keterangan K = Konstanta (0,26 untuk penetrator bola baja)

0,20 untuk penetrator kerucut intan

C = Harga penunjukan pembagian skala dial indikator untuk

Penekanan penetrator (0,002 mm).

Prinsip pengujian kekerasan Rockwell dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



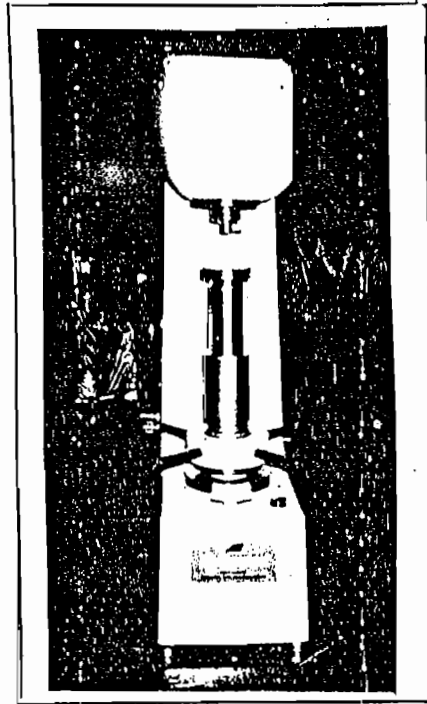
Gambar 2.14. Prinsip pengukuran kekerasan Rockwell

Pada pengujian kekerasan Rockwell ini nilai kekerasan dapat langsung diketahui dari dial skala pembaca harga kekerasan di mesin Rockwell yang dipakai.

Dalam pengujian ini penulis menggunakan :

- Bola baja (d) : 1/6 inchi (d : 1,588 mm)
- Beban penekanan (load) (P) : 150 Kg

- Waktu pembebanan (Time in load) : 5 detik
- Speed Control : 7



Gambar : 2 ~~15~~ Mesin Uji Kekerasan Rockwell

2.3.3.1.3.1. Prosedur Pengujian

Untuk benda uji yang akan diuji, setelah dilakukan pengerjaan awal, dapat diteruskan dengan langkah-langkah berikut :

1. Permukaan benda uji dihaluskan, menggunakan amplas tahan air, dengan cara menggosokkan permukaan tersebut, sambil dialiri air, jadi selama penggosokan amplas terendam air. Amplas tahan air yang digunakan

pertama adalah yang kasar (240 C – 800 C), selanjutnya dengan yang lebih halus (1000 – 1500), sampai tingkat kehalusan tinggi (seri 2000).

2. Permukaan yang dihaluskan adalah dua sisi atas dan bawah.
3. Benda uji dibersihkan atau dikeringkan dengan pengering (Hair Dryer).
4. Siapkan mesin uji kekerasan Rockwell, hubungkan dengan sumber listrik.
5. Pasang indenter brale (Diamond Cone), selanjutnya pilih beban pada handle beban sebesar 150 Kg, sesuai dengan penekanan untuk skala C. Set lamanya penekanan (time in load) pada kedudukan titik 5 dan speed control pada titik 7. Selanjutnya pastikan mesin uji Rockwell dalam kondisi siap dioperasikan (ON).
6. Letakkan benda uji pada anvil dengan permukaan yang akan diuji kekerasannya tegak lurus terhadap indenter. Selanjutnya naikkan anvil dengan memutar handle pengatur kedudukan anvil sehingga jarum kecil pada skala dial pengujian tepat berada dititik merah, selanjutnya atur skala kekerasan sehingga jarum panjang berimpit dengan titik 0 pada skala kekerasan dengan warna hitam.
7. Tekan tombol start pengujian dan tunggu sampai lampu pada indikator pengujian padam (5 detik, sesuai dengan set time in load). Catat harga kekerasan sesuai dengan harga yang ditunjukkan oleh jarum panjang. Masukkan data harga kekerasan yang diperoleh dari pengujian ke lembar data.

8. Turunkan anvil dengan memutar handle pengatur kedudukan anvil berlawanan dengan arah jarum jam, sampai benda uji bebas.
9. Geser letak benda uji untuk titik pengujian berikutnya, lakukan pengujian seperti langkah 6 sampai titik pengujian lengkap diuji.
10. Lakukan pengujian yang sama untuk semua benda uji.

BAB III

PELAKSANAAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan ketahanan aus dengan jalan mempertinggi kekerasan permukaan pada plat baja serta perubahan sifat fisis dan mekanis permukaan plat baja dari baja carbon secara karburising.

1. a. Persiapan Bahan

Bahan yang digunakan adalah plat baja lunak dengan ukuran 20 x 20 x 2 mm.

Sampel didapat dari Toko Besi.

b. Alat-alat yang digunakan

Alat-alat yang dipergunakan dalam penelitian ini berupa :

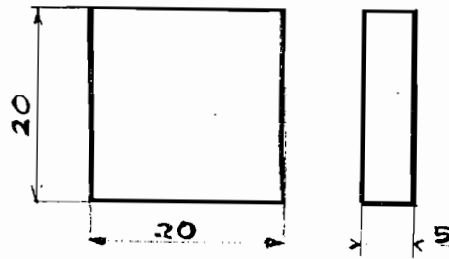
- a. Mesin Uji Kekerasan Vickers Mikro
- b. Mesin Uji Komposisi Kimia
- c. Foto Struktur Mikro
- d. Mesin Gergaji yang digunakan untuk membentuk sampel pengujian.
- e. Kertas amplas, kaca, kikir dan autosol,

c. Pembuatan Sampel

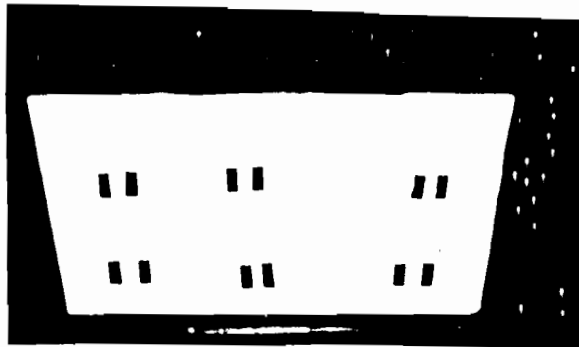
Sampel baja lunak ini adalah dalam bentuk plat dengan ukuran panjang 20 mm, lebar 20 mm dan tebal 5 mm, ukuran sampel sama untuk 12 jenis pengujian. Pemotongan bahan uji dilakukan di laboratorium Teknologi Mekanik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta, terdiri dari pengujian sebelum perlakuan panas 1 sampel, pengujian setelah perlakuan panas untuk

850° dan didinginkan 1 malam 2 sampel, 900° dan didinginkan 1 malam 2 sampel dan suhu 950° C dan didinginkan 1 malam 2 sampel.

d. Profil Benda kerja untuk pengujian



Gambar 3.1. Profil benda kerja untuk pengujian kekerasan



Gambar 3.2. Profil benda kerja untuk pengujian foto struktur mikro

e. Proses Perlakuan Panas

Proses perlakuan panas dilakukan di Laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma Yogyakarta. Proses perlakuan panas ini dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu :

1. Proses pemanasan.
2. Proses pendinginan kejut dengan menggunakan media air.

3. Proses pendinginan dengan udara setelah dilakukan pemanasan.

f. Tahapan perlakuan panas

Proses pemanasan dengan suhu 850°C selama 3 jam. Pada proses karburizing ini pemanasan dilakukan sampai suhu 850°C . Setelah mencapai suhu 850°C maka dilakukan penahanan temperatur selama 3 jam. Demikian juga pada suhu 900°C dan 950°C juga ditahan pada temperatur selama 3 jam. Pemanasan dilakukan di Laboratorium Logam Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

g. Pengujian Bahan

h. Proses pengujian bahan

Dalam penelitian ini pengujian menggunakan tiga pengujian bahan, yaitu :

1. Pengujian Komposisi Kimia
2. Pengujian Kekerasan Vickers Mikro
3. Pengujian Struktur Mikro

Permukaan plat sebagai bahan roda gigi dalam hal ini yang diteliti profil dari plat berbentuk kotak atau ukuran (2 x 2) cm. Mata roda gigi yang sering dipakai dan dalam pemakaiannya sering menimbulkan gesekan dan beban yang mengakibatkan terjadinya *keausan*. Plat baja dipotong profil plat sebanyak yang 3 specimen yang diuji kekerasan dan struktur mikro.

Benda uji pada profil plat kotak dikelompokkan dalam 3 variasi suhu perlakuan permukaan dengan waktu pemanasan yang sama, yaitu :

1. Perlakuan panas (karburasi) dengan temperatur : $\pm 850^{\circ}\text{C}$

Jumlah benda uji : 2 benda uji

Waktu pemanasan : 3 jam

2. Perlakuan panas (karburasi) dengan temperatur : $\pm 900^{\circ}\text{C}$

Jumlah benda uji : 2 benda uji

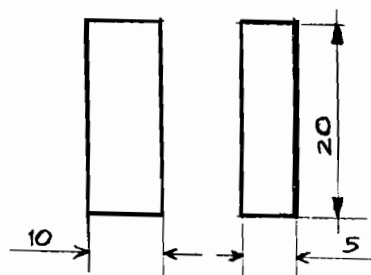
Waktu pemanasan : 3 jam

3. Perlakuan panas (karburasi) dengan temperatur : $\pm 950^{\circ}\text{C}$

Jumlah benda uji : 2 benda uji

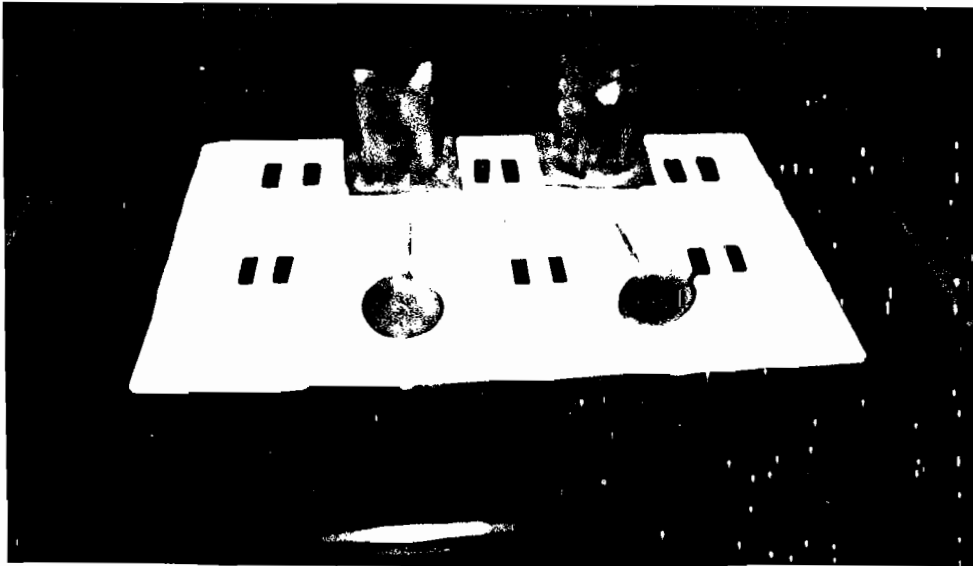
Waktu pemanasan : 3 jam

Jumlah keseluruhan dari benda uji yang mengalami proses perlakuan panas (karburasi) adalah 6 benda uji dan ditambah pada proses yang sama tetapi diquench sebanyak 6 benda uji, jumlah keseluruhan 12 benda uji (10 x 20 x 5 mm).



Gambar : 3.3.





Gambar : 3.4.

Sebagai bahan perbandingan, maka perlu adanya pengujian awal sebelum carburizing sehingga setelah dilakukan carburizing, kita dapat mengetahui penambahan kekerasan dan perubahan struktur mikro yang terjadi.

Perlu diketahui, bahwa temperatur yang digunakan adalah $\pm (850,900,950^{\circ} C)$. Temperatur pemanasan diasumsikan dari lamanya benda uji itu dikarburising dan Melihat kondisi dari kotak sementasi yang kondisinya sudah mencapai suhu besi yang dibakar berwarna merah $\pm 850^{\circ} C$.

Sedangkan metode pendinginan dalam proses ini, menggunakan pendinginan langsung dari suhu karburasi pada kotak sementasi.

Penelitian pengaruh perlakuan karburasi terhadap harga kekerasan dan struktur mikro pada profil plat baja ini ada 2 macam :

1. *Pengujian Kekerasan*, menggunakan mesin uji Vikcers Mikro, dengan penetrator piramida INTAN sudut antara dua bidang sisi piramida 136° , pengukuran tergantung pada panjang diagonal bekas injakan (dibantu dengan mikroskop optik).

2. *Analisis Struktur Mikro*, menggunakan cairan etsa HNO₃ dan Alkohol, dengan perbandingan 5% : 95%.

Untuk melaksanakan penelitian tersebut, plat baja terlebih dahulu dilakukan pengerjaan awal, yaitu sebagai berikut :

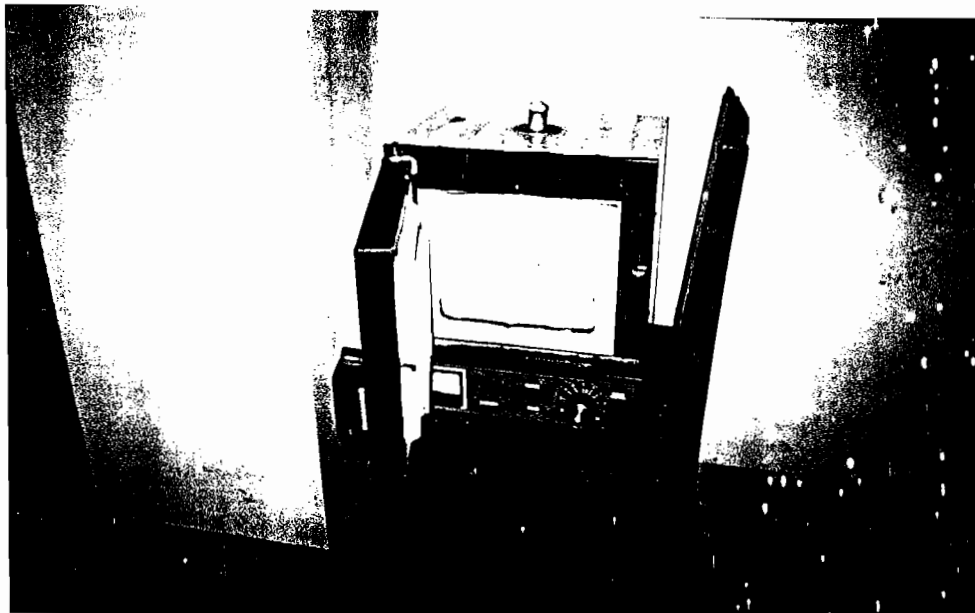
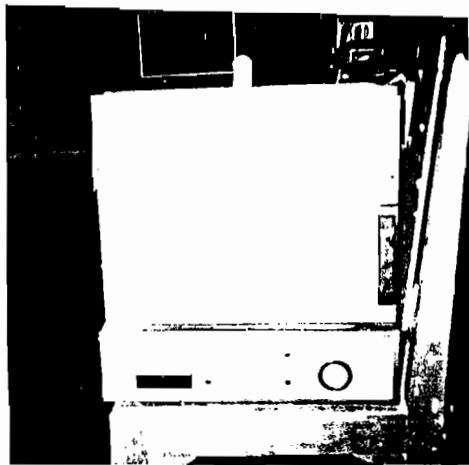
1. Benda uji berbentuk plat baja batangan. Kemudian dipotong (2 x 2) cm sebanyak 6 buah benda uji.
2. Setelah terbentuk potongan, kemudian satu plat baja dipotong profil kotak dengan ukuran (2 x 1) cm diambil 6 buah, sisa dari potongan plat dipakai untuk uji kekerasan dan struktur mikro proses karburising dan setelah diquench.

Untuk dapat menentukan tingkat kualitas yang dihasilkan, perlu adanya penelaahan terhadap bahan dan persiapan peralatan yang memudahkan pada penelitian, antara lain :

1. *Pembuatan tungku api / oven*

Oven kita pakai oven pemanas yang telah tersedia di laboratorium yang ada di Universitas Sanata Dharma, mengingat biaya pembuatan tungku api secara tradisional malah lebih mahal / boros.

Tutup atas dan bawah dari plat baja dudukant tungku diberi lobang di tengah untuk pemasangan pipa saluran udara yang dilas mati dengan tungku . dan udara ditiupkan dari blower lewat pipa udara yang masuk dari bawah tungku (jika pelaksanaan tersebut memakai tungku api tradisional).



Gambar : 3.5. Tungku / Oven Carburizing

2. Pembuatan Kotak Sementasi / Pack Carburizing

Pembuatan kotak sementasi disesuaikan dengan benda uji dengan menggunakan bahan dari pipa baja :

Tebal dinding	: 3 mm
Diameter tabung bagian dalam	: 40 mm
Tinggi tabung	: 70 mm

Tutup atas dan bawah disesuaikan dengan diameter tabung, tutup bawah dilas mati (gbr. 2.8).

Tebal plat	: 3 mm
------------	--------

3.1. PENGUJIAN KEKERASAN

3.1.1. Proses Pelaksanaan Karburizing dan Prosedur Pengujian

Tujuan pokok penelitian ini adalah meningkatkan ketahanan aus dengan mempertinggi kekerasan permukaan logam dengan cara *Carburizing*. Dalam penelitian ini proses karburasi dilakukan dengan menggunakan medium karburasi yang padat / "*Pack Carburizing*". Proses-prosesnya adalah sebagai berikut :

1. Peralatan disiapkan berupa :
 - a. Oven / tungku api dilengkapi blower
 - b. Arang kayu, arang tempurung kelapa
 - c. Tang / Penjapit untuk memasukkan dan mengangkat pack karburasi yang berisi benda uji
 - d. Air untuk mengquench

e. Kotak sementasi / *Pack Karburizing*

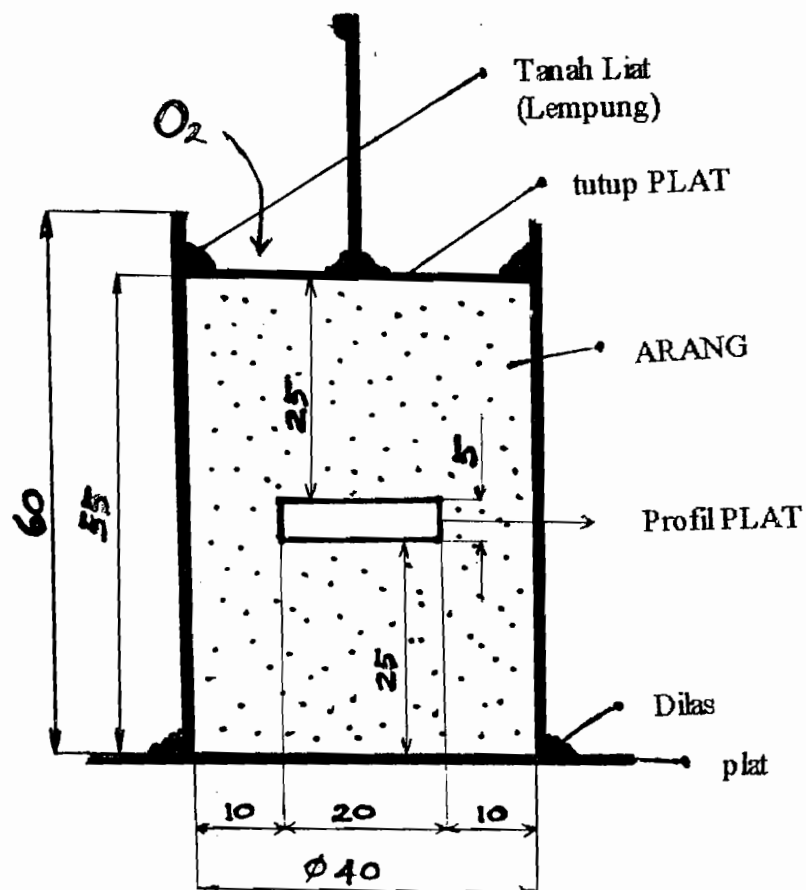
f. Bahan pemberi C berupa bahan padat, yaitu :

- Arang kayu, arang tempurung kelapa
- Batu kapur / *calcium carbonat*
- Soda makan / *sodium carbonat*

g. Stop Watch / jam

2. Benda uji yang telah dilakukan pengujian awal, dibersihkan / digosok kembali dengan kertas amplas sampai permukaan halus dan bersil betul, untuk mempermudah proses *difusi*.
3. Bahan medium, arang kayu dihaluskan dengan besar butir berkisar antara 1,5 – 6 mm, kemudian dicampur dengan komposisi :
 - Arang 70%
 - Sodium carbonat 25%
 - Calsium carbonat 5%
4. Benda uji dimasukkan ke dalam pack karburasi dikelilingi campuran bahan-bahan tersebut di atas jarak seperti gambar 3.4.
5. *Pack Karburizing* dimasukkan ke dalam tungku api / oven untuk dibakar secara konstan.
6. Waktu pembakaran, start dimulai saat kotak sementasi / pack karburizing sudah berwarna merah. Ini berlaku untuk semua benda uji, sesuai dengan lamanya waktu yang diminta / ditentukan.

7. Benda uji yang dibakar apabila telah mencapai waktu yang ditentukan maka benda uji tersebut diangkat dari oven / tungku api kemudian sesegeranya dikeluarkan dari tungku dan langsung *diquench* (dicelup dalam air).
8. Benda uji dibersihkan untuk selanjutnya penelitian sesuai prosedur pengujian yang telah diuraikan di atas.



Gambar : 3.5. Lapisan Campuran pada Pack Karburizing

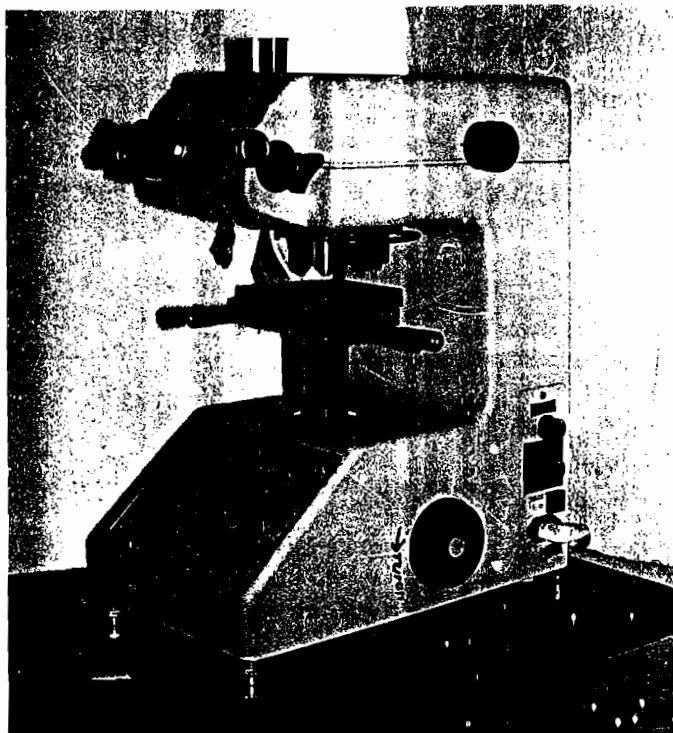
3.1.2. Pengujian Kekerasan Vickers Mikro

Prosesnya :

1. Letakkan benda di atas meja mesin; tentukan besar beban (1 kg), waktu penekanan 10 detik.
2. Fokus permukaan benda, pasang penetrator di atas benda, tekan tombol beban, tunggu 10 detik.
3. Putar penetrator, diganti dengan lensa pengamat.
4. Ukur diagonal bekas penekanan pada arah vertical dan horizontal (satuan diagonal bekas penekanan) mikro meter (μm)
(Horisontal dulu baru vertical)

Pelaksanaan penelitian yang digunakan pada pemakaian ini memakai pengujian kekerasan Vickers.

Pengujian dengan piramida intan, tergantung pada panjang diagonal bekas injakan (dibantu dengan mikroskop optik), sudut antara dua bidang sisi piramida 136° .



Hal-hal yang perlu diperhatikan pada waktu pengujian adalah :

- a. Permukaan material uji harus dibuat sehalus mungkin (dipoles), agar pengukuran jarak diagonal bekas penekanan mudah.
- b. Tebal minimum benda uji harus 1,5 x jarak diagonal bekas penekanan (d).
- c. Jarak penekanan dari tepi material uji dan jarak antara tiap titik pengukuran minimum 3 x jarak diagonal bekas penekanan (d).
- d. Pada waktu mengukur diagonal bekas penekanan (d) harus menggunakan mikroskop yang pembesarannya sedemikian rupa sehingga jarak sebesar 2 mm dapat diukur dengan jelas.

Daerah pemakaian sistem Vickers :

1. Dapat digunakan untuk mengukur kekerasan material yang sangat keras.
2. Dapat digunakan untuk mengukur kekerasan material yang tipis dan keras.

Dalam hal ini beban harus dipilih sedemikian rupa sehingga persyaratan tebal material uji minimum 1,5 x panjang diagonal bekas penekanan terpenuhi.

3.2. Analisis Struktur Mikro

Proses dari pengujian struktur mikro adalah sebagai berikut :

1. Memotong bahan dengan ukuran 20 x 10 x 5 mm, untuk pengujian sebelum perlakuan panas dan setelah perlakuan panas jumlah sampel yang diuji adalah 1 sampel.
2. Amplas permukaan logam yang telah dibentuk mulai dari ukuran amplas yang paling kasar sampai dengan amplas yang paling halus.

3. Apabila permukaan specimen telah halus maka dioles dengan menggunakan autosol sampai goresan akibat pengamplasan hilang dan mengkilap.
4. Lakukan pengetasan dengan nital, dengan memasukkan ke dalam cairan nital selama 30 detik sambil digoyang-goyangkan dan masukkan dalam cairan alkohol.
5. Amati permukaan yang telah dietsa dibawah mikroskop logam dan lakukan pemotretan dengan pembesaran 50, 100, 200 dan 500 kali.
6. Photo hasil pemotretan diidentifikasi dan dilakukan perhitungan besaran butir.

Pengujian komposisi kimia dari sampel baja lunak dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur-unsur dari specimen. Pengujian ini telah dilakukan di PT ITOKOH CEPERINDO KLATEN.

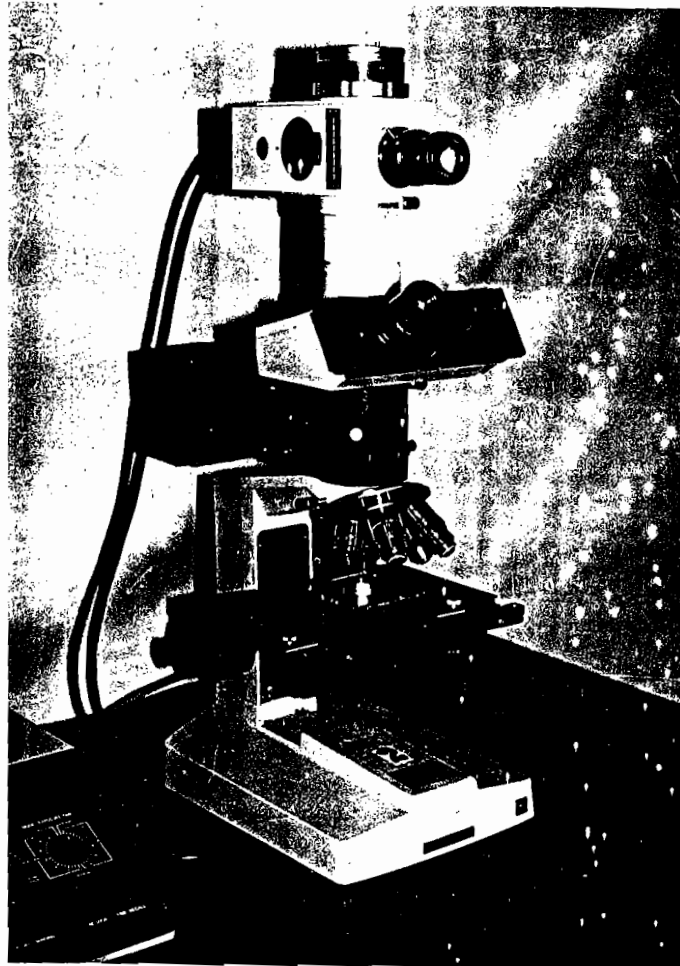
Tujuan dari penelitian Metallografi ini adalah untuk mengetahui relevansi (hubungan) antara struktur mikro yang diperoleh dari pengujian dengan komposisi kimia dari bahan pepadu.

3.2.1. Peralatan dan Bahan Pengujian

Dalam pengujian Metallografi ini peralatan dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut :

- a. Plat baja yang telah dipotong (seperti yang digunakan untuk pengujian kekerasan)

- b. Amplas waterproof dengan grade 240, 280, 800, 1000, 1200, 1500 dan 2000.
- c. Benda kerja dikeringkan dengan Hair Dryer.
- d. Alat etsa : - cawan gelas
- cairan etsa
- cairan alkohol
- e. Cairan pertama diisi dengan etsa, dan cawan kedua diisi dengan alkohol.
- f. Salah satu benda uji ditetes bagian permukaan yang telah dihaluskan dengan cairan etsa selama 30 detik.
- g. Benda uji dipindah untuk dicuci dengan alkohol lalu angkat dan siram dengan air.
- h. Permukaan benda uji dikeringkan dengan Hair Dryer.
- i. Permukaan dibersihkan dengan menggosok memakai kain katun agar tidak ada sisa kotoran yang menempel pada permukaan benda uji.
- j. Mikroskop yang diperlengkapi dengan kamera beserta 1 roll film 35 mm.
- k. Benda uji yang telah siap, diletakkan pada anvil tegak lurus lensa.
- l. Pembesaran yang dipakai 100 X dan 200 X.
- m. Anvil digerakkan ke atas dan posisi benda uji diatur, selanjutnya gambar struktur difokuskan, setelah fokus siap difoto.
- n. Pemotretan dilakukan pada dua tempat yang berbeda pada suatu permukaan.



Gambar : 3.7 Mikroskop Metallografi

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Kekerasan

LOGAM INDUK / BAHAN AWAL

1.	111,8	2.	112,1	3.	112,8	4.	113,1	5.	111,5
	111,5		111,8		110,7		110,3		112,1
6.	112,0	7.	111,3	8.	110,2	9.	110,8	10.	111,8
	111,3		112,5		113,3		112,3		111,5

Harga kekerasan plat sebelum proses karborizing

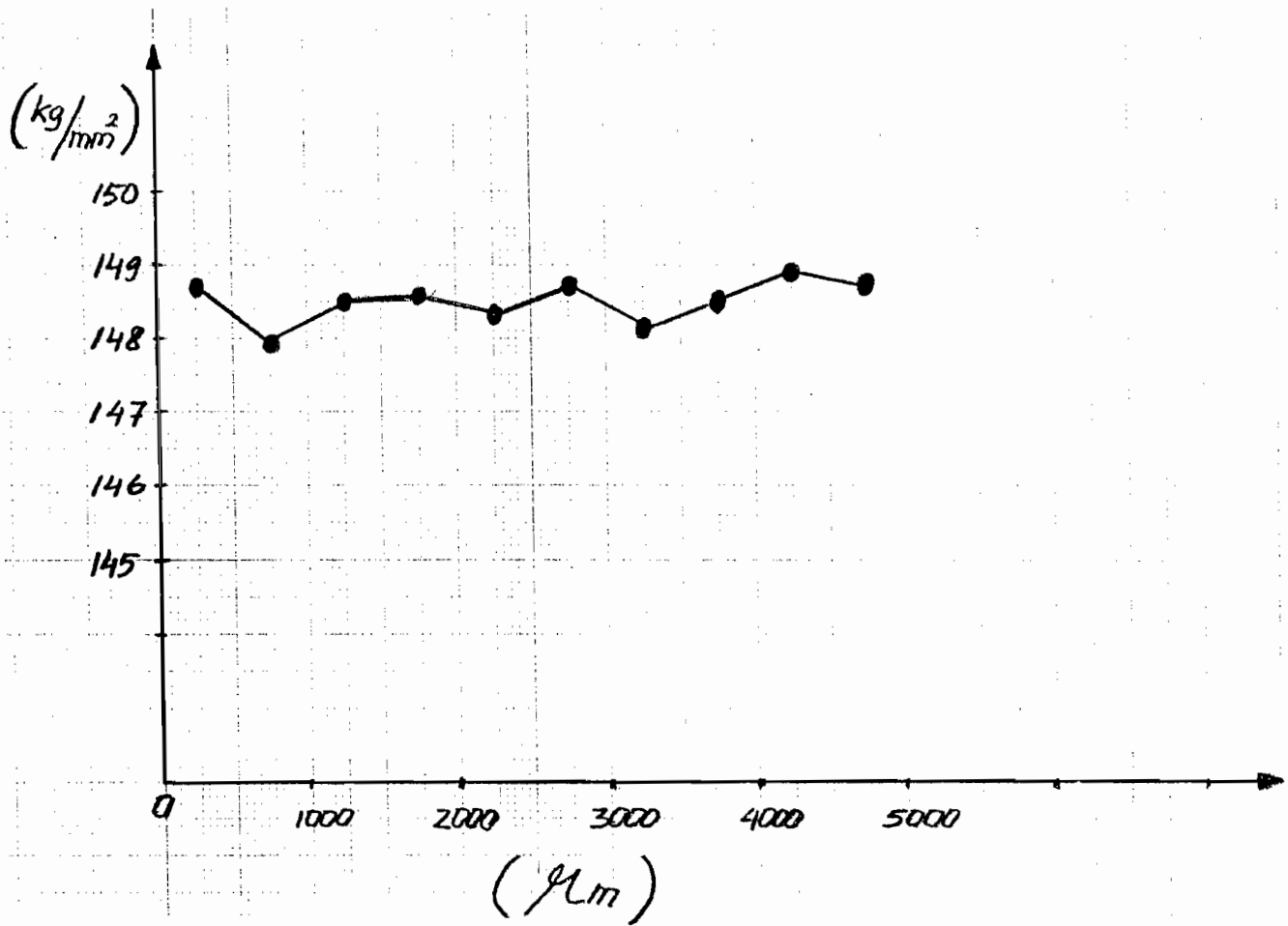
NO	JARAK UJI (μm)	Hv (kg/mm^2)
1	200	148,727
2	500	147,931
3	500	148,461
4	500	148,594
5	500	148,329
6	500	148,727
7	500	148,064
8	500	148,461
9	500	148,994
10	500	148,880
	200	

Harga kekerasan Rata-rata = $148,516 \text{ kg/mm}^2$

4.1.1. Analisis dan Pembahasan Uji Kekerasan

Dari pengujian kekerasan, diperoleh standart deviasi dari tiap-tiap bahan dengan menggunakan vickers micro, beban yang digunakan 1 kg dengan Time of Load 10 detik. Ukur pada arah horizontal dan vertical dalam micrometer.

BENDA AWAL



4.1.2 Harga Kekerasan Vickers (HV)

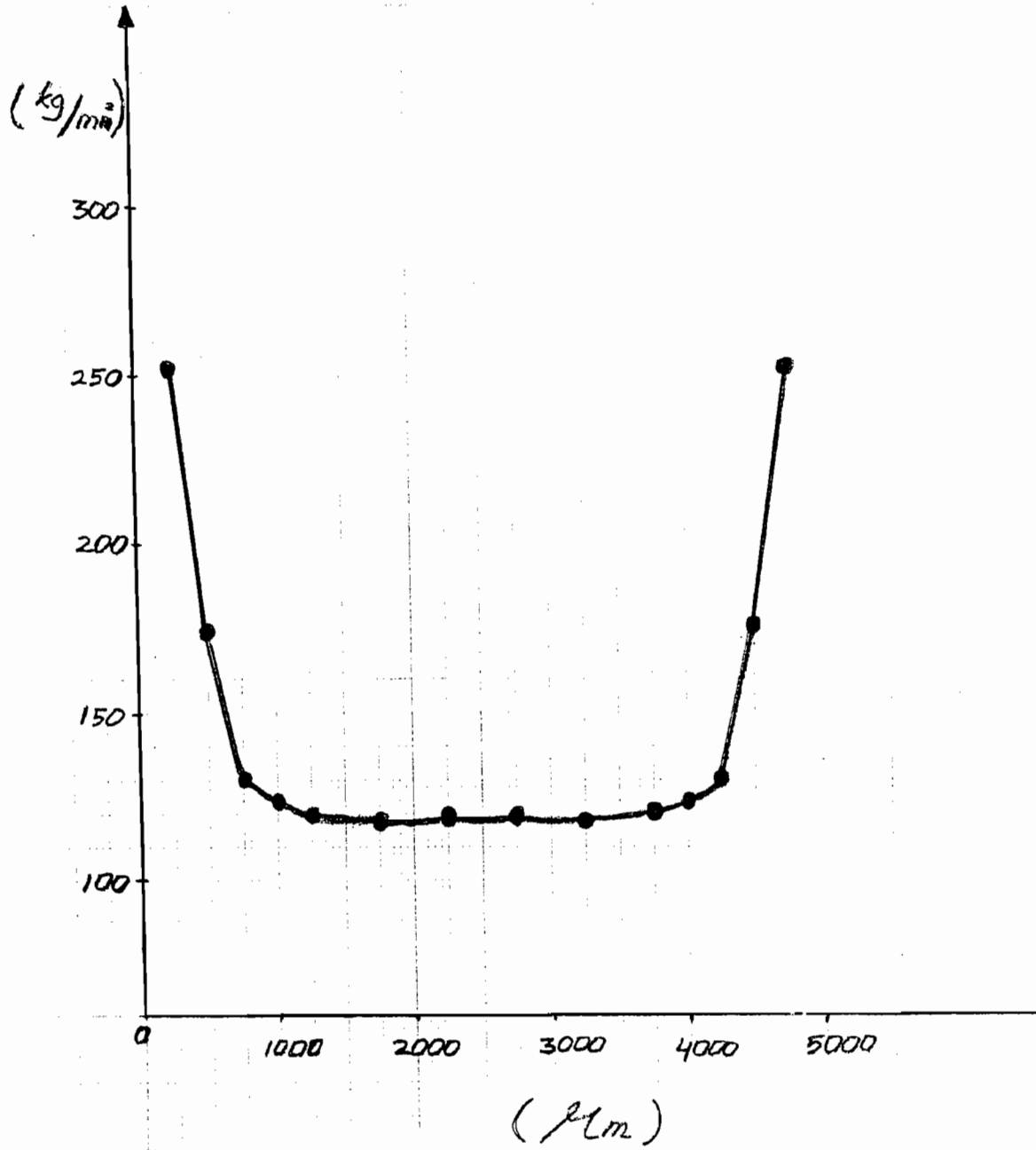
ARANG KAYU / 3 JAM / 850°C

1. 85,3	2. 102,9	3. 119,9	4. 121,9	5. 123,8	6. 124,3
85,9	103,6	118,1	122,0	124,1	124,5
7. 124,1	8. 124,8	9. 124,1	10. 124,3	11. 122,4	12. 119,2
124,3	123,9	124,8	124,1	121,8	119,3
13. 102,1	14. 84,9				
102,9	85,8				

NO	JARAK UJI (mm)	Hv (kg/mm ²)
1	200	253,024
2	250	173,912
3	250	130,922
4	250	124,665
5	250	120,674
6	500	119,803
7	500	120,189
8	500	119,899
9	500	119,707
10	500	120,189
11	250	124,359
12	250	130,374
13	250	176,466
14	250	254,508
	200	

Harga kekerasan Rata-rata = 149,191 kg/mm²

ARANG KAYU / 850° / 3 JAM / DIKARBURISING



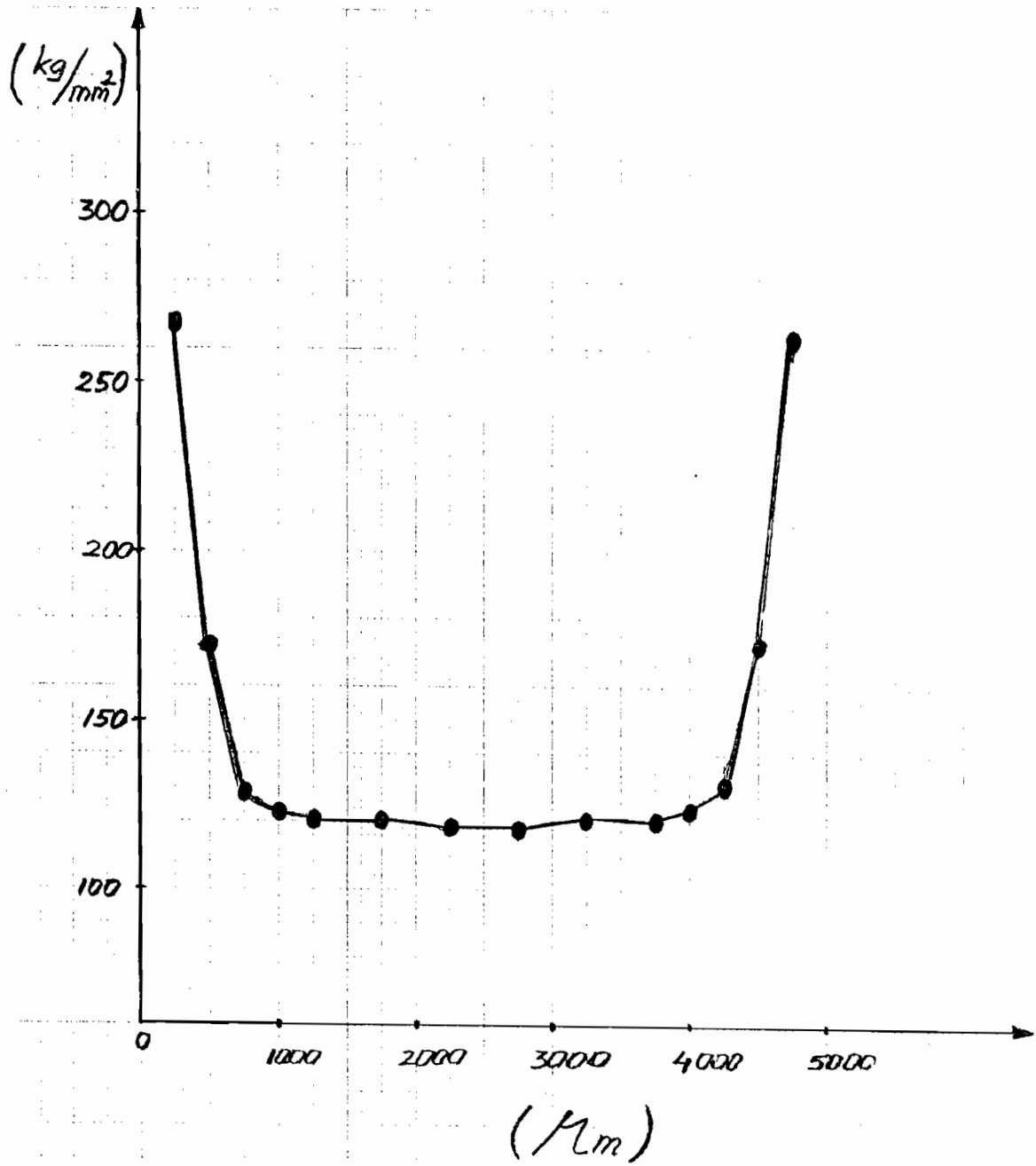
ARANG KELAPA / 3 JAM / 850⁰C

1. 83,1	2. 104,1	3. 119,1	4. 122,9	5. 124	6. 123,4
82,8	103,8	120,3	122,8	123,1	123,8
7. 124,5	8. 124,7	9. 123,5	10. 124,3	11. 122,1	12. 119,8
124,1	124,2	124,1	123,8	122,7	119,9
13. 103,7	14. 83,4				
103,9	83,1				

NO	JARAK UJI (<i>μm</i>)	Hv (kg/mm ²)
1	200	269,449
2	250	171,577
3	250	129,396
4	250	122,845
5	250	121,457
6	500	121,359
7	500	119,996
8	500	119,707
9	500	120,967
10	500	120,480
11	250	123,750
12	250	129,072
13	250	172,073
14	250	267,510
	200	

Harga kekerasan Rata-rata = 150,686 kg/mm²

ARANG KELAPA / 850° / 3 JAM / DIKARBURISING



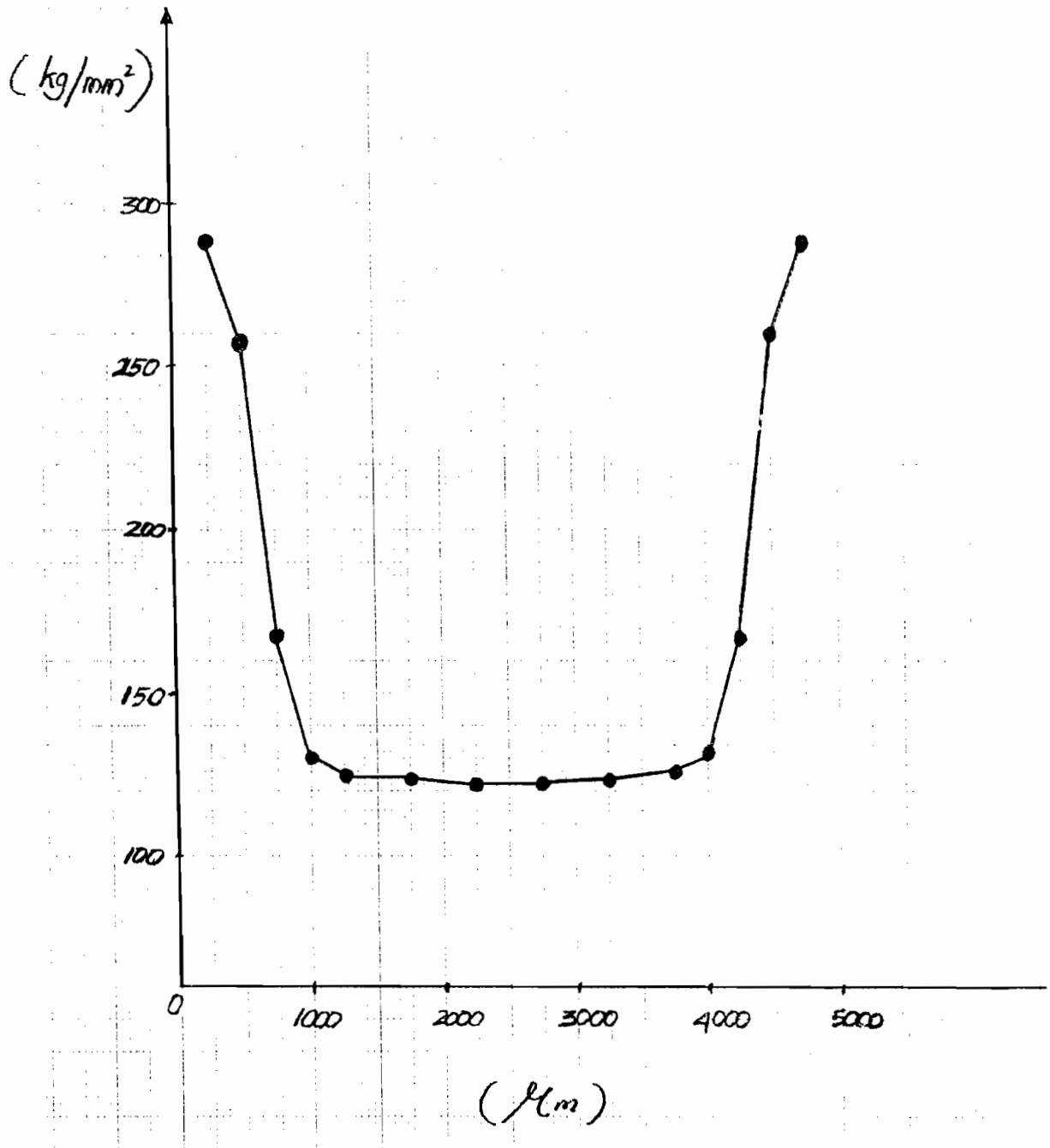
ARANG KAYU / 3 JAM / 900°C

1. 80,3	2. 84,8	3. 105,1	4. 118,2	5. 121,5	6. 122,1
80,2	84,5	104,9	119,8	121,3	122,2
7. 122,3	8. 122,5	9. 122,3	10. 121,1	11. 118,7	12. 105,3
123,8	123,7	121,9	121,9	118,9	105,5
13. 84,1	14. 80,5				
84,7	80,1				

NO	JARAK UJI (μm)	Hv (kg /mm ²)
1	200	287,885
2	250	258,735
3	250	168,163
4	250	130,922
5	250	125,797
6	500	124,257
7	500	122,446
8	500	122,347
9	500	124,359
10	500	125,590
11	250	131,364
12	250	166,889
13	250	260,270
14	250	287,527
	200	

Harga kekerasan Rata-rata = 174,039 kg /mm²

ARANG KAYU / 900° / 3 JAM / DIKARBURISING



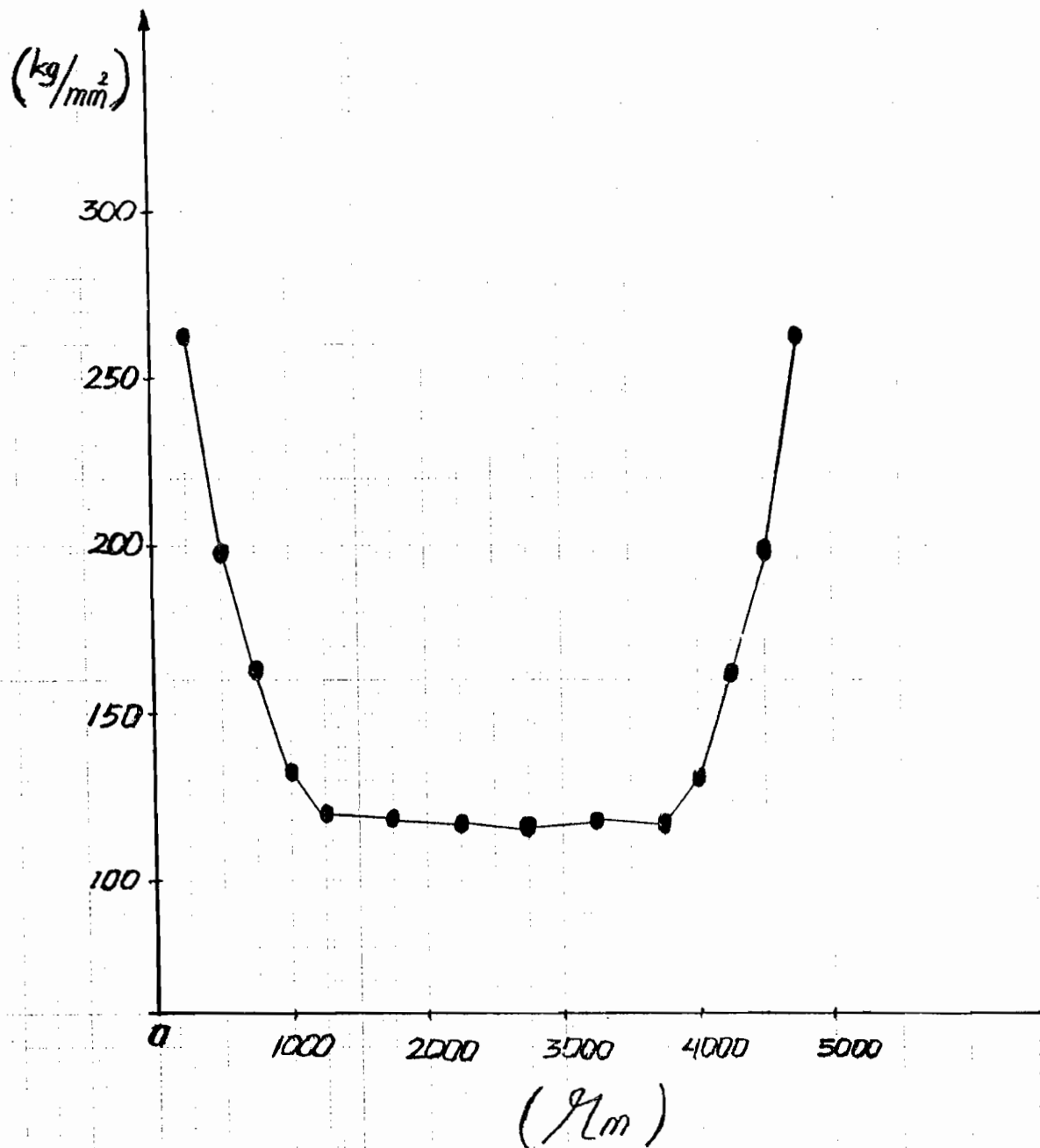
ARANG KELAPA / 3 JAM / 900⁰C

1. 84,3	2. 98,1	3. 106,3	4. 118,6	5. 124,1	6. 124,8
84,5	98,5	107,1	119,4	124,9	125,3
7. 125,1	8. 125,9	9. 124,5	10. 125,4	11. 118,8	12. 107,4
125,9	125,8	124,9	123,91	118,9	106,8
13. 98,5	14. 83,9				
97,9	84,8				

NO	JARAK UJI (mm)	Hv (kg/mm ²)
1	200	260,270
2	250	191,868
3	250	162,847
4	250	130,922
5	250	119,610
6	500	118,561
7	500	117,712
8	500	117,058
9	500	119,227
10	500	119,323
11	250	131,253
12	250	161,633
13	250	192,259
14	250	260,579
	200	

Harga kekerasan Rata-rata = 157,365 kg/mm²

ARANG KELAPA / 900° / 3 JAM / DIKARBURISING



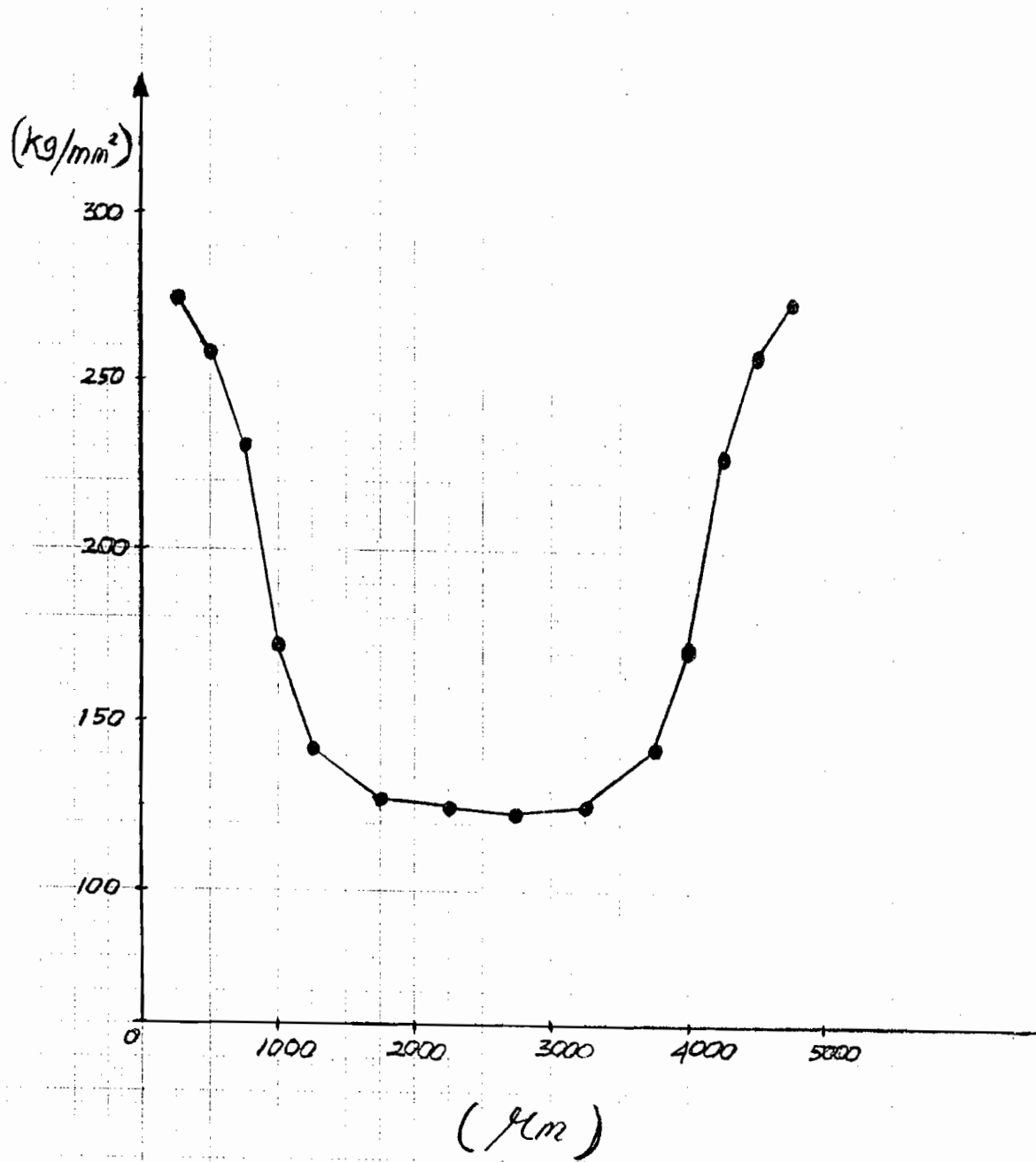
ARANG KAYU / 3 JAM / 950⁰C

1. 81,7	2. 86,8	3. 89,3	4. 103,3	5. 113,3	6. 120,5
82,5	82,3	90,1	104,3	115,8	120,3
7. 122,3	8. 122,1	9. 121,1	10. 113,8	11. 103,9	12. 89,8
121,9	122,7	120,9	114,7	103,8	90,3
13. 84,3	14. 82,1				
84,9	81,9				

NO	JARAK UJI (μm)	Hv (kg /mm ²)
1	200	275,057
2	250	259,347
3	250	230,422
4	250	172,073
5	250	141,792
6	500	127,895
7	500	124,359
8	500	123,750
9	500	126,630
10	500	142,035
11	250	171,908
12	250	228,634
13	250	259,041
14	250	275,728
	200	

Harga kekerasan Rata-rata = 189,905 kg /mm²

ARANG KAYU / 950° / 3 JAM / DIKARBURISING



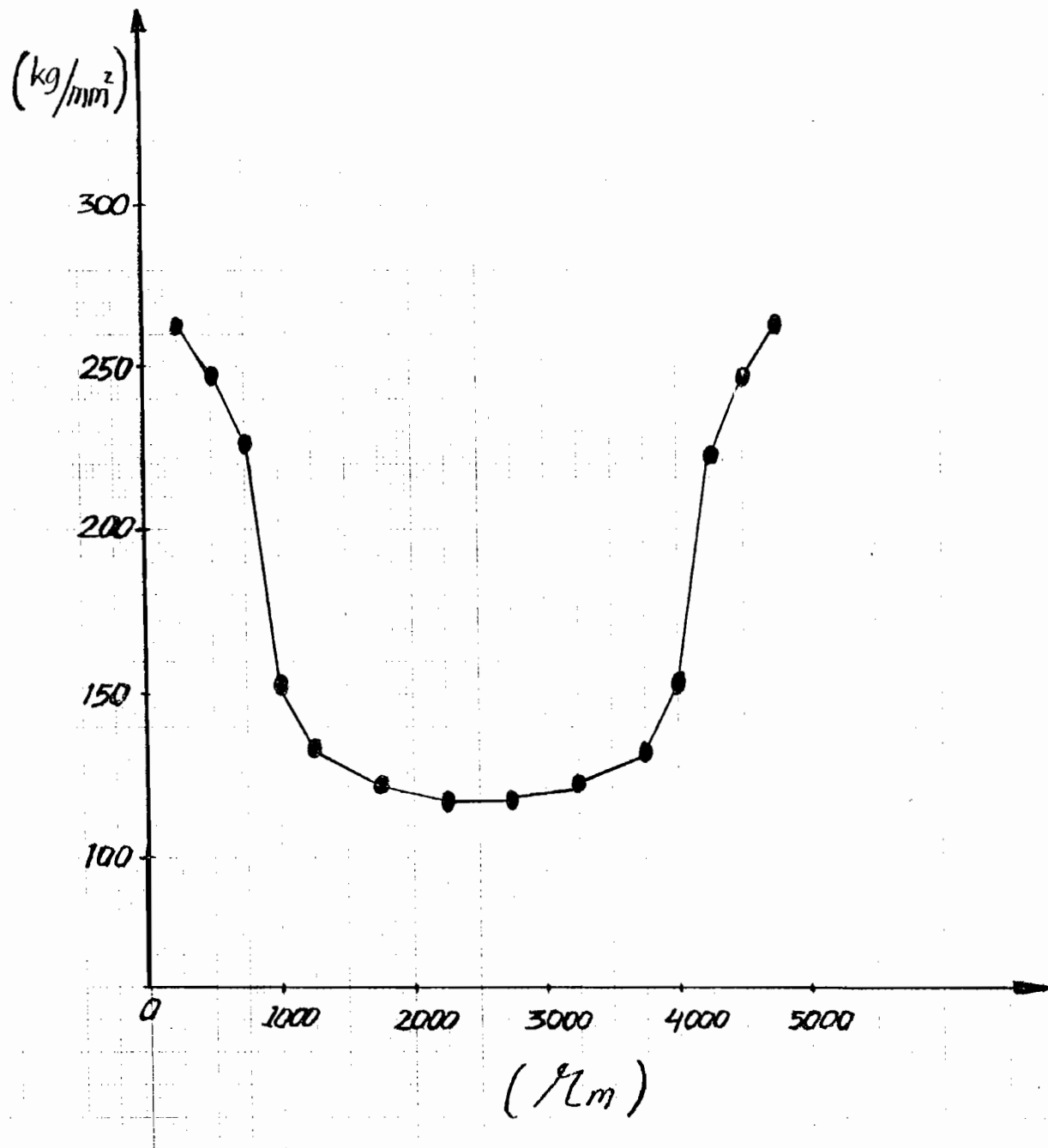
ARANG KELAPA / 3 JAM / 950⁰C

1.	83,3	2. 88,3	3. 90,3	4. 109,3	5. 117,8	6. 122,2
	83,5	88,9	90,8	110,8	117,3	122,7
7.	124,3	8. 124,5	9. 122,3	10. 116,9	11. 110,5	12. 90,5
	124,9	124,6	123,1	117,8	110,1	91,4
13.	88,4	14. 83,1				
	88,8	83,9				

NO	JARAK UJI (μm)	Hv (kg /mm ²)
1	200	266,549
2	250	247,214
3	250	226,116
4	250	153,083
5	250	134,172
6	500	123,649
7	500	119,419
8	500	119,514
9	500	123,146
10	500	134,630
11	250	152,390
12	250	224,132
13	250	247,214
14	250	265,911
	200	

Harga kekerasan Rata-rata = 181,295 kg /mm²

ARANG KELAPA / 950° / 3 JAM / DIKARBURISING



ARANG KAYU / 3 JAM / 850⁰C / QUENCH

1. 56,2 2. 59,3 3. 60,1 4. 64,3 5. 73,5 6. 81,8
 55,8 58,9 60,5 65,2 73,8 81,1

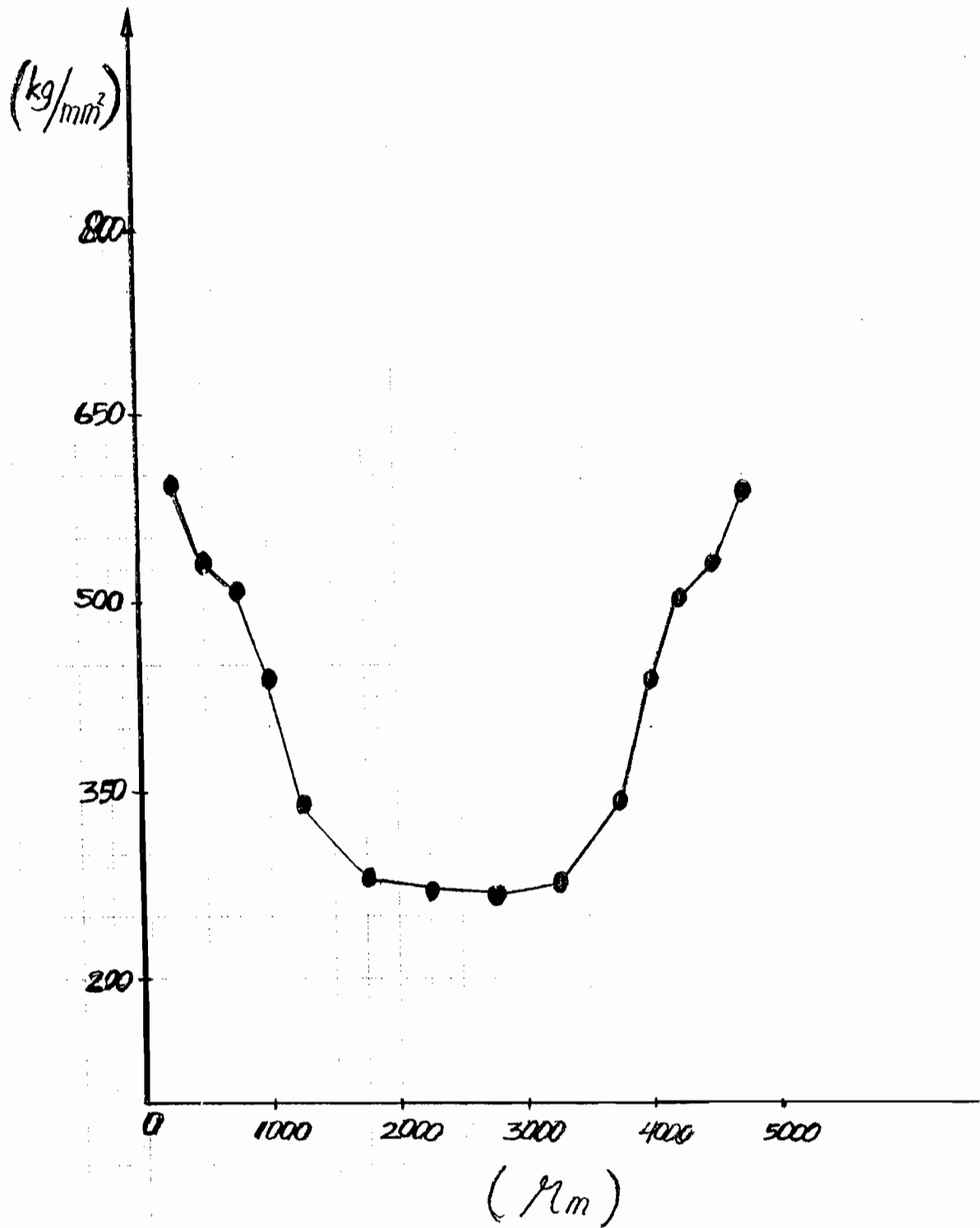
7. 83,4 8. 83,3 9. 81,5 10. 73,1 11. 64,7 12. 60,5
 82,9 83,5 81,9 73,5 65,3 60,9

13. 58,3 14. 55,5
 59,7 56,8

NO	JARAK UJI (μm)	Hv (kg /mm ²)
1	200	591,198
2	250	530,804
3	250	509,888
4	250	442,211
5	250	341,793
6	500	279,465
7	500	268,154
8	500	266,549
9	500	277,757
10	500	345,065
11	250	438,816
12	250	503,190
13	250	532,605
14	250	588,044
	200	

Harga kekerasan Rata-rata = 422,538 kg /mm²

ARANG KAYU / 850° / 3 JAM / DIQUENCHING



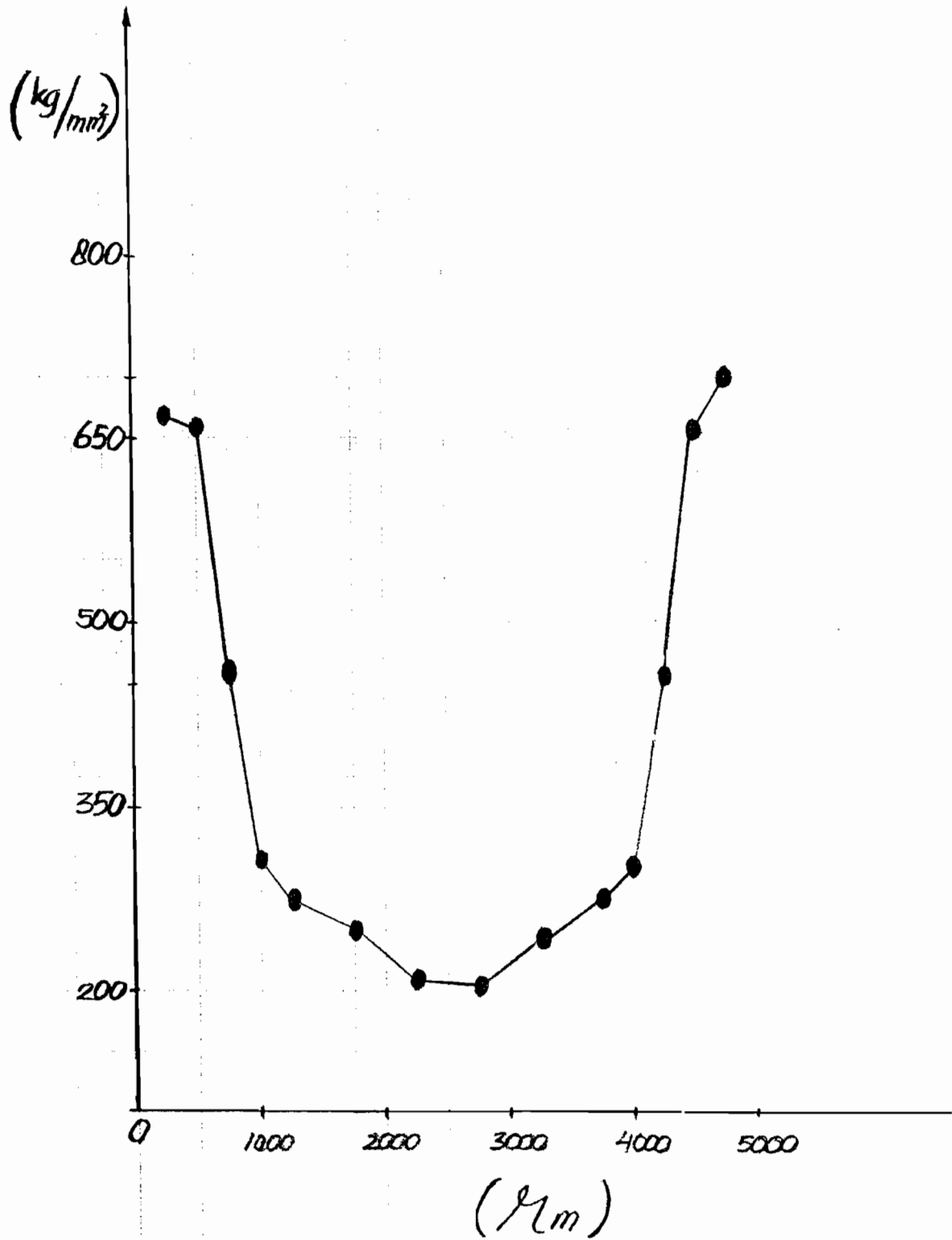
ARANG KELAPA / 3 JAM / 850⁰C /QUENCH

1. 52,9	2. 53,2	3. 63,2	4. 77,4	5. 81,9	6. 86,5
51,9	52,9	63,9	78,1	81,3	85,3
7. 94,8	8. 93,7	9. 86,7	10. 81,5	11. 78,3	12. 63,7
92,4	93,9	86,1	82,7	77,9	63,8
13. 53,5	14. 52,3				
53,1	52,5				

NO	JARAK UJI (<i>Km</i>)	Hv (kg /mm ²)
1	200	675,222
2	250	658,777
3	250	459,069
4	250	305,124
5	250	278,438
6	500	251,260
7	500	211,620
8	500	210,719
9	500	248,360
10	500	275,057
11	250	303,953
12	250	456,193
13	250	652,612
14	250	705,865
	200	

Harga kekerasan Rata-rata = 406,590 kg /mm²

ARANG KELAPA / 850° / 3 JAM / DIQUENCHING



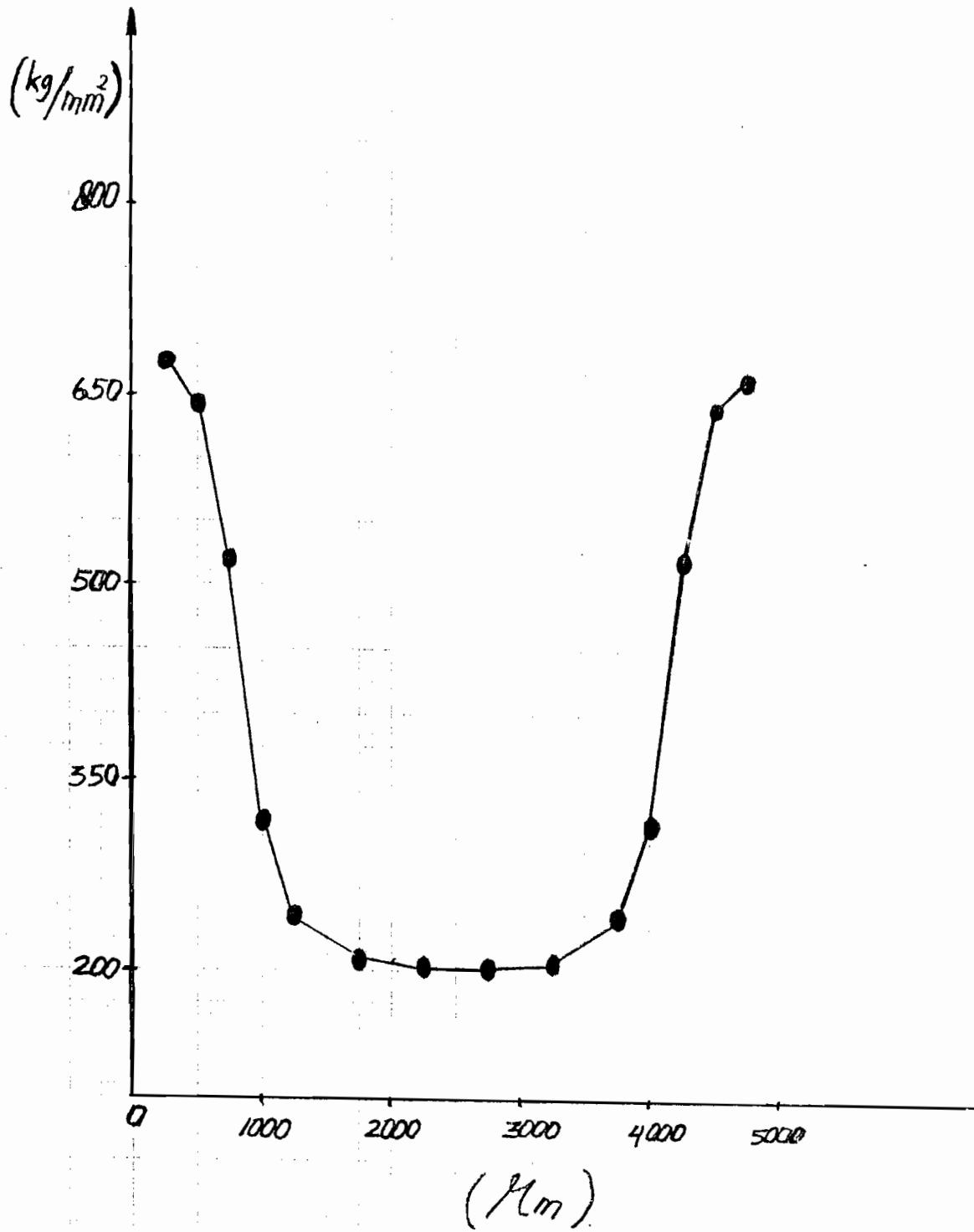
ARANG KAYU / 3 JAM / 900⁰C / QUENCH

1. 52,7	2. 53,4	3. 59,1	4. 76,4	5. 86,3	6. 94,3
52,1	53,6	59,8	75,8	87,1	93,7
7. 95,3	8. 95,5	9. 94,5	10. 86,5	11. 76,1	12. 59,3
96,2	95,9	94,1	87,1	76,7	59,7
13. 53,5	14. 52,7				
53,9	52,8				

NO	JARAK UJI (μm)	Hv (kg /mm ²)
1	200	675,222
2	250	647,742
3	250	524,573
4	250	320,140
5	250	246,644
6	500	209,823
7	500	202,223
8	500	202,435
9	500	208,490
10	500	246,076
11	250	317,631
12	250	523,691
13	250	642,926
14	250	666,292
	200	

Harga kekerasan Rata-rata = 502,422 kg /mm²

ARANG KAYU / 900° / 3 JAM / DIQUENCHING



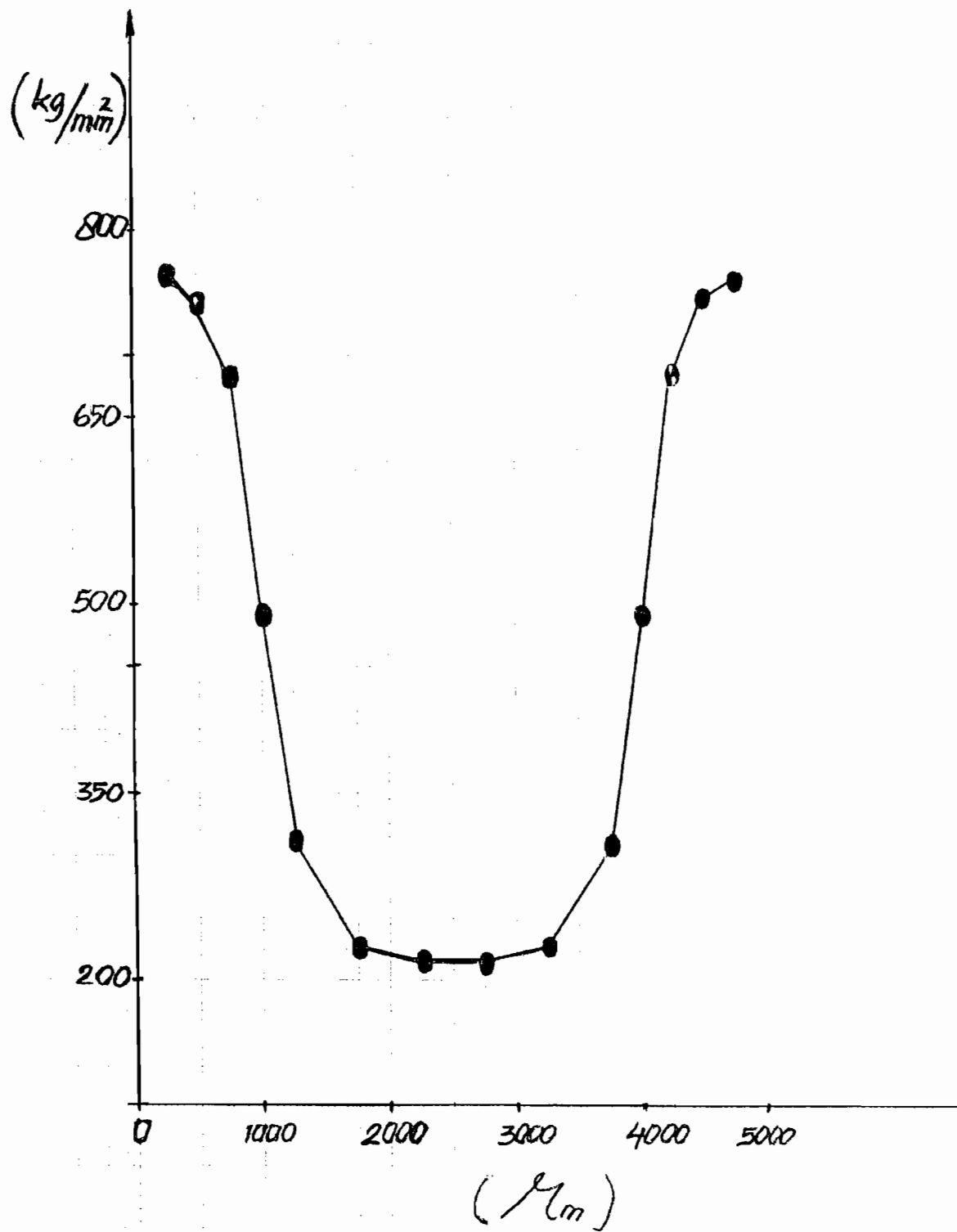
ARANG KELAPA/ 3 JAM / 900⁰C /QUENCH

1. 49,2	2. 49,7	3. 51,4	4. 60,7	5. 76,7	6. 90,2
49,3	50,1	52,8	61,8	77,4	90,7
7. 91,6	8. 92,8	9. 90,1	10. 77,1	11. 61,3	12. 51,9
92,7	92,1	91,0	77,8	61,2	52,1
13. 50,5	14. 49,5				
49,3	49,1				

NO	JARAK UJI (μm)	Hv (kg /mm ²)
1	200	764,358
2	250	744,575
3	250	683,021
4	250	494,194
5	250	312,294
6	500	226,617
7	500	218,332
8	500	217,059
9	500	226,116
10	500	309,077
11	250	494,194
12	250	685,650
13	250	744,575
14	250	762,809
	200	

Harga kekerasan Rata-rata = 481,633 kg /mm²

ARANG KELAPA / 900° / 3 JAM / DIQUENCHING



ARANG KAYU / 3 JAM / 950⁰C / QUENCH

1. 48,4 2. 49,6 3. 50,7 4. 50,2 5. 62,4 6. 81,9
 48,5 49,4 50,1 51,9 62,5 81,8

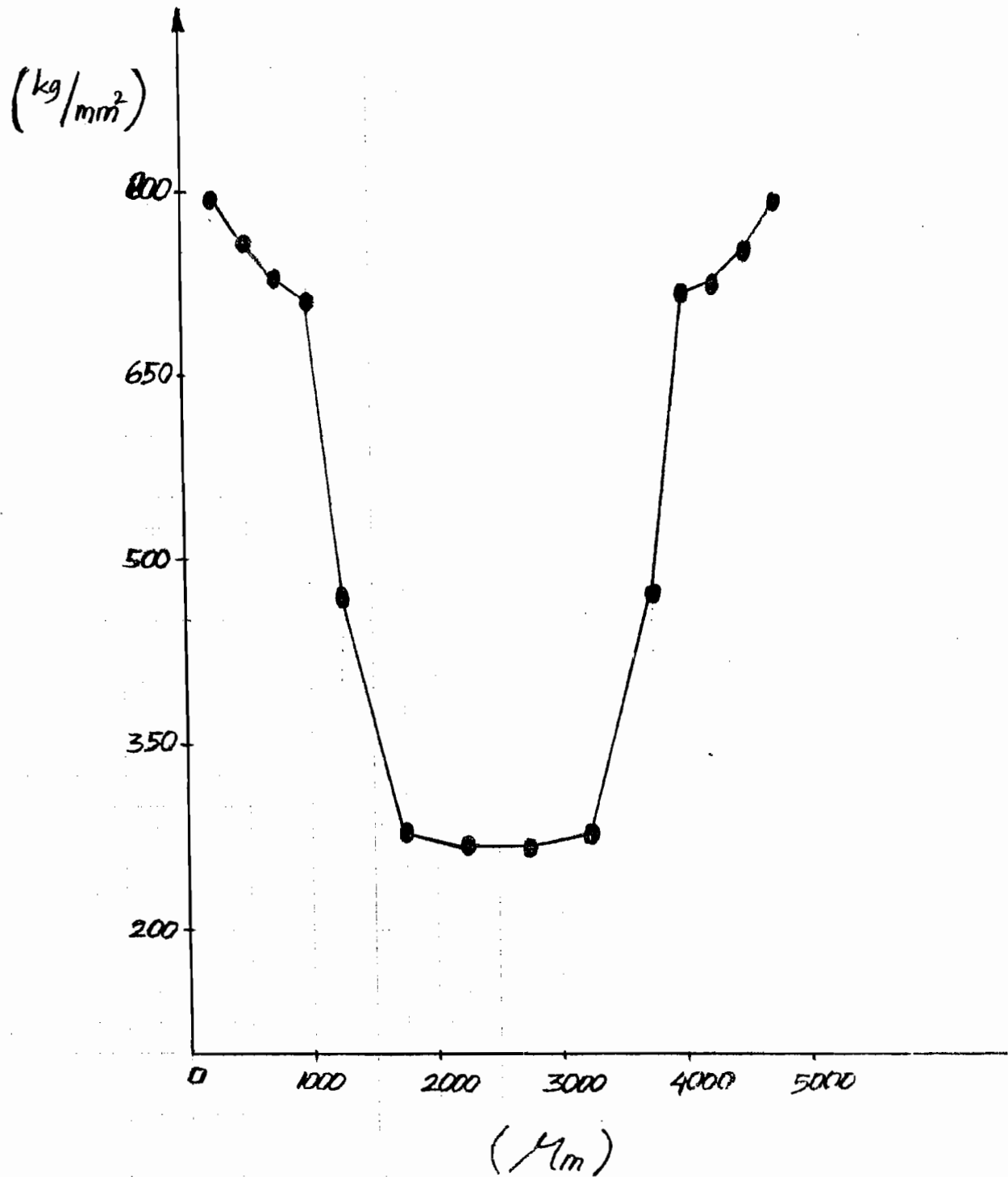
7. 82,8 8. 82,3 9. 81,1 10. 62,5 11. 50,8 12. 50,8
 82,5 82,9 81,5 62,9 50,9 50,5

13. 49,5 14. 48,1
 49,9 48,9

NO	JARAK UJI (μm)	Hv (kg /mm ²)
1	200	789,809
2	250	756,657
3	250	729,857
4	250	711,407
5	250	475,384
6	500	276,740
7	500	271,408
8	500	271,737
9	500	280,497
10	500	471,600
11	250	717,014
12	250	722,687
13	250	750,579
14	250	788,181
	200	

Harga kekerasan Rata-rata = 572,398 kg /mm²

ARANG KAYU / 950° / 3 JAM / DIQUENCHING



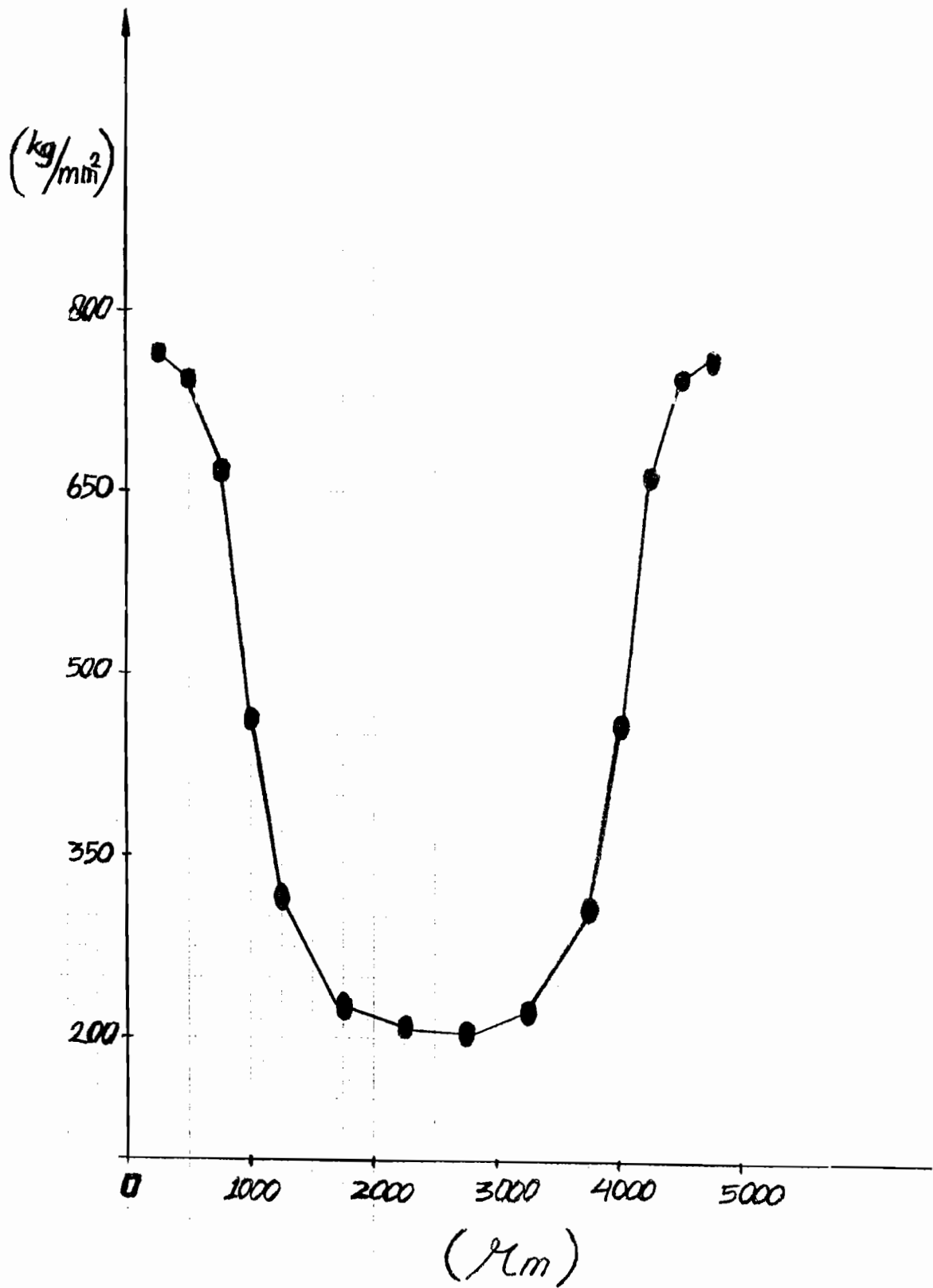
ARANG KELAPA / 3 JAM / 950⁰C /QUENCH

1. 49,2	2. 49,7	3. 53,1	4. 62,8	5. 76,7	6. 91,0
49,3	50,1	52,4	63,1	77,4	91,3
7. 92,3	8. 93,1	9. 91,7	10. 77,5	11. 63,1	12. 53,1
93,7	93,5	90,8	77,1	63,4	52,7
13. 49,3	14. 49,1				
50,5	49,8				

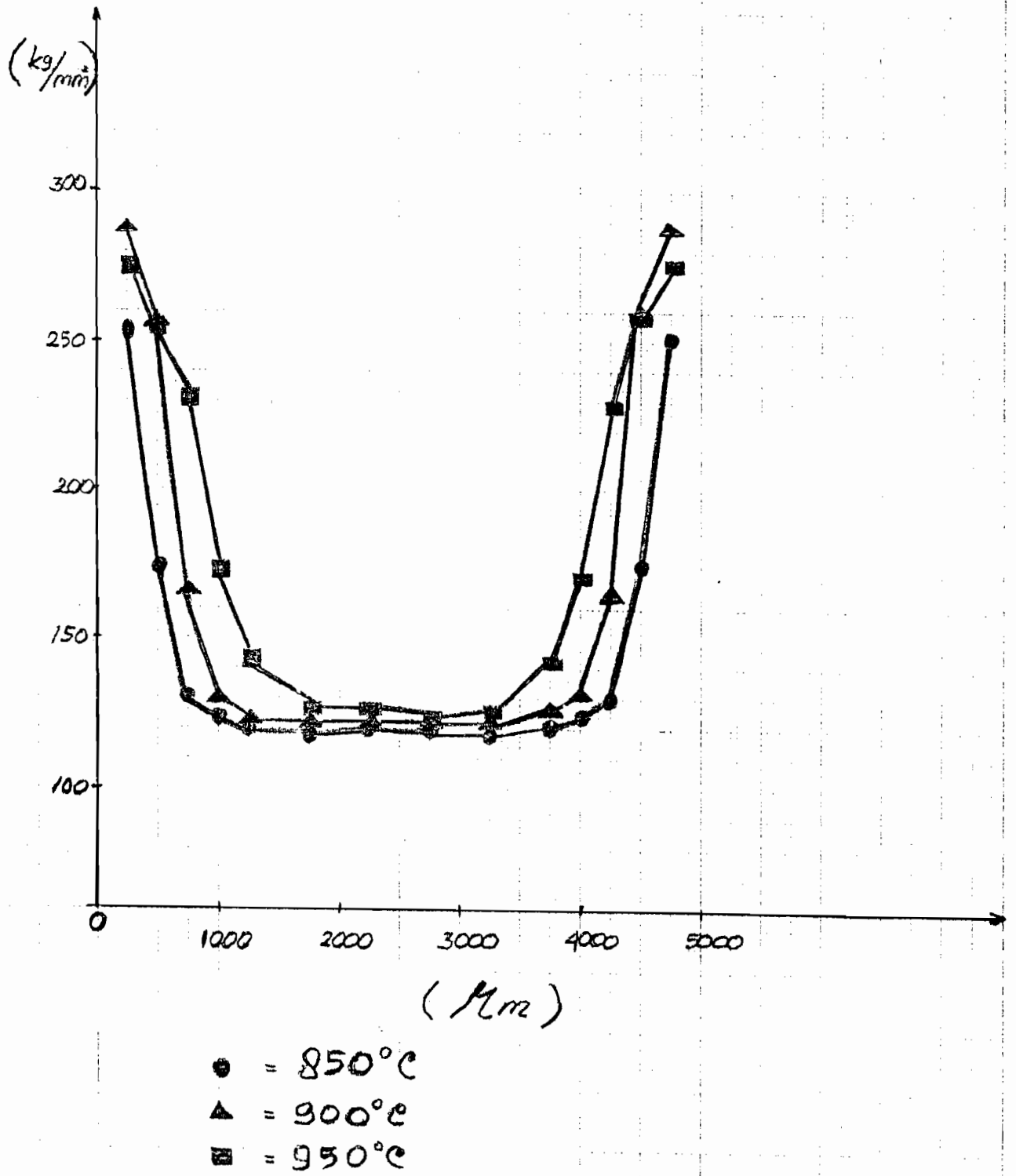
NO	JARAK UJI (μm)	Hv (kg /mm ²)
1	200	764,358
2	250	744,575
3	250	666,292
4	250	467,862
5	250	312,294
6	500	223,149
7	500	214,360
8	500	212,983
9	500	222,660
10	500	310,277
11	250	463,434
12	250	662,519
13	250	744,575
14	250	758,188
	200	

Harga kekerasan Rata-rata = 483,394 kg /mm²

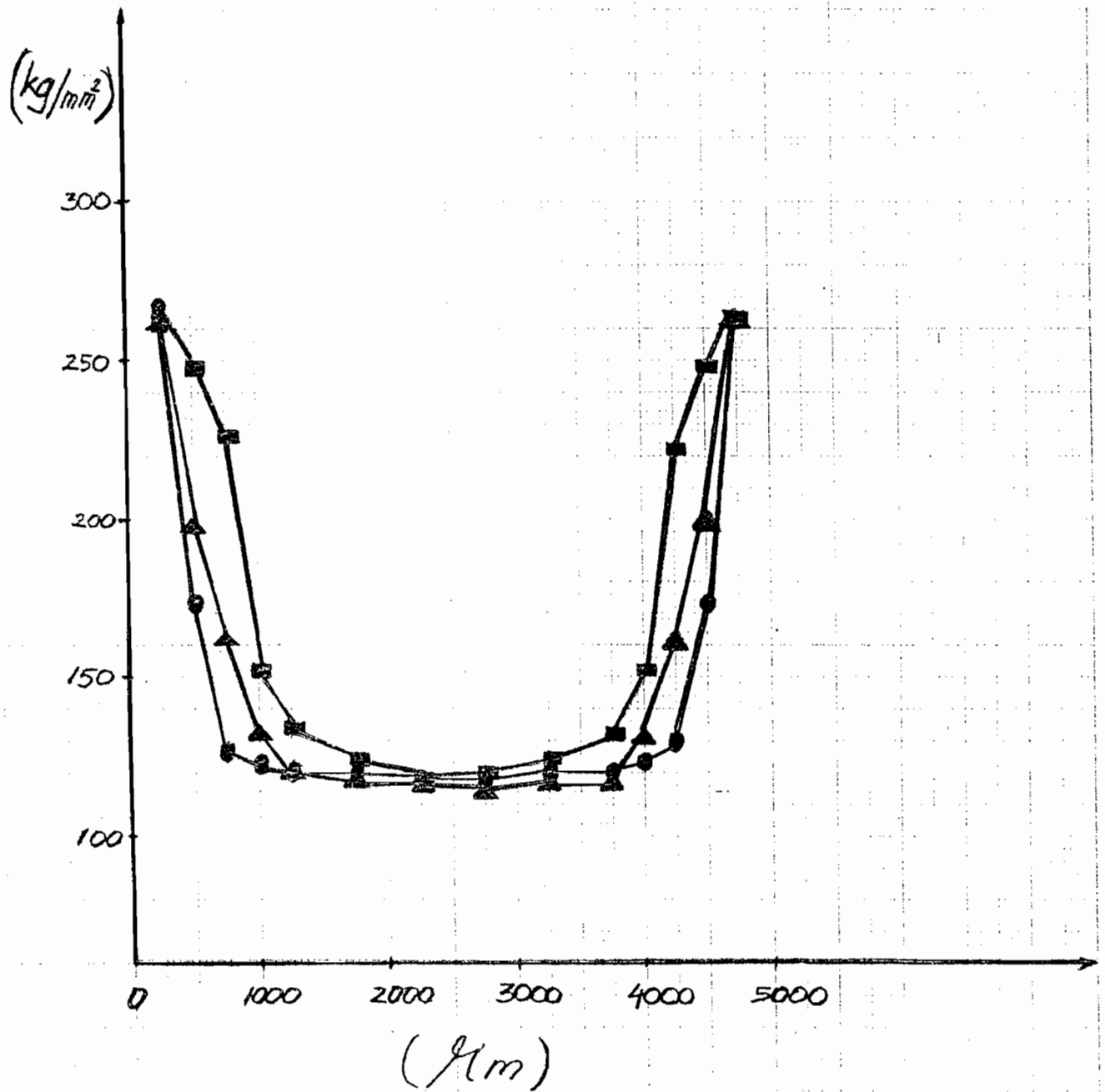
ARANG KELAPA / 950° / 3 JAM / DIQUENCHING



ARANG KAYU / / 3 JAM / DIKARBURISING

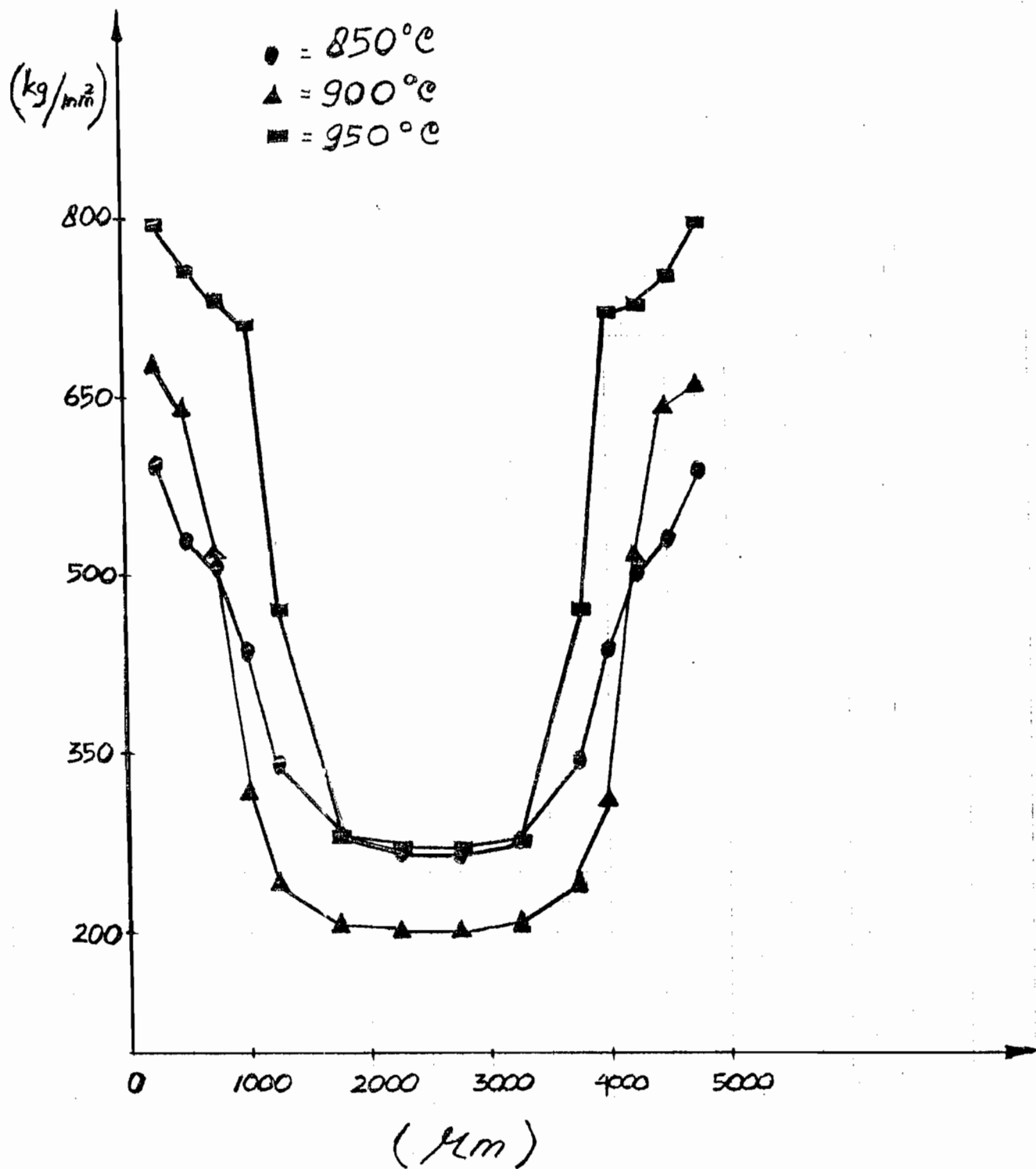


ARANG KELAPA / / 3 JAM / DIKARBURISING

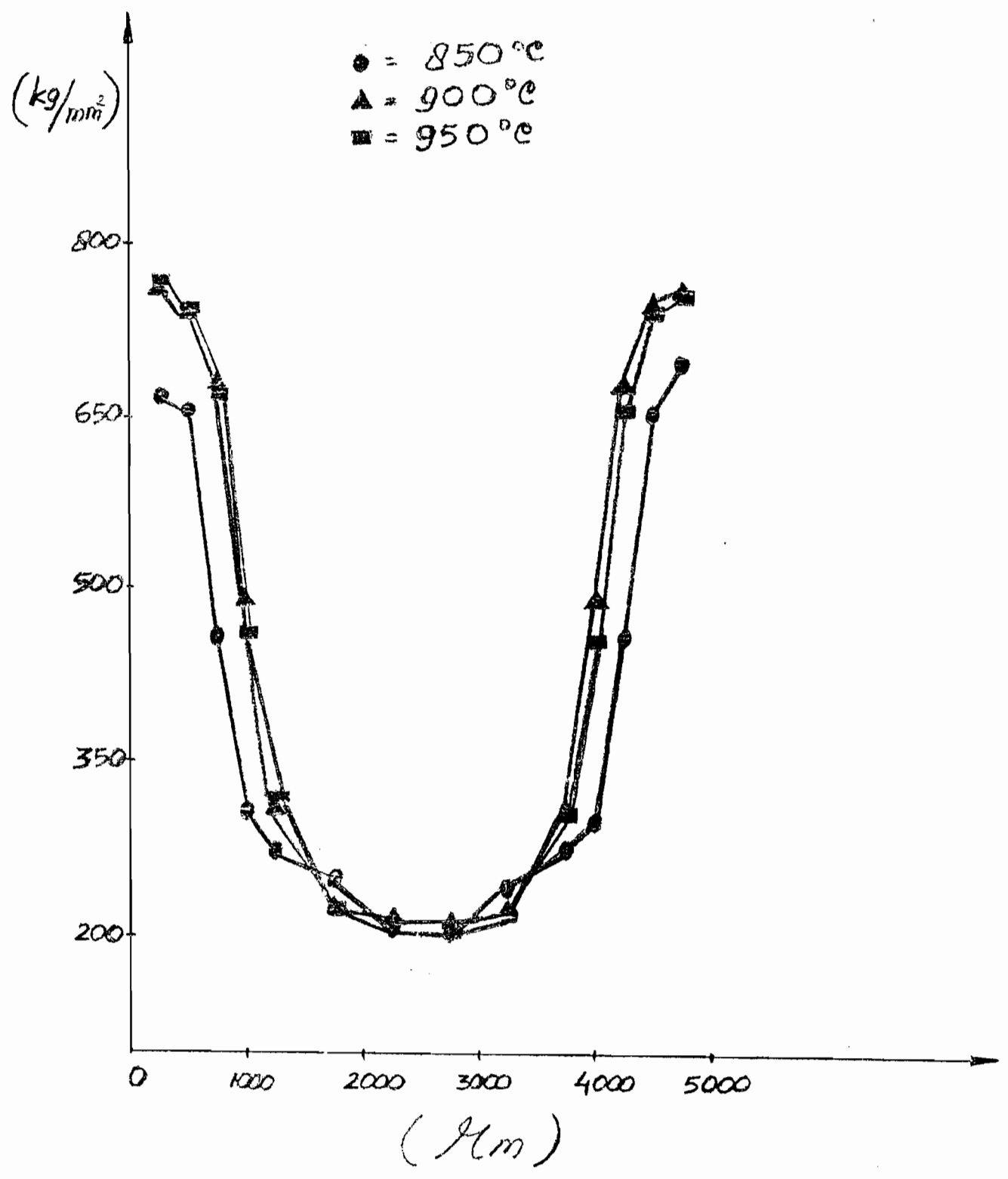


- = 850°C
- ▲ = 900°C
- = 950°C

ARANG KAYU / / 3 JAM / DIQUENCHING



ARANG KELAPA / / 3 JAM / DIQUENCHING



4.2. Hasil Pengujian Struktur Mikro Perbesaran 100 X

BENDA AWAL

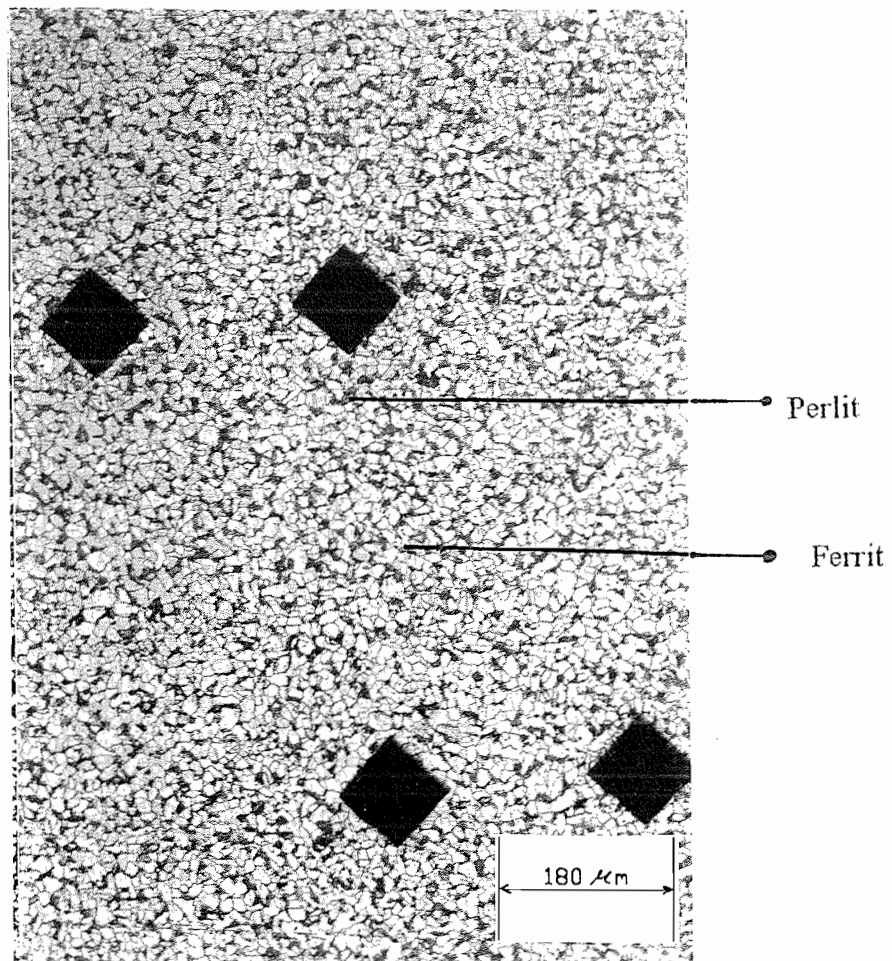
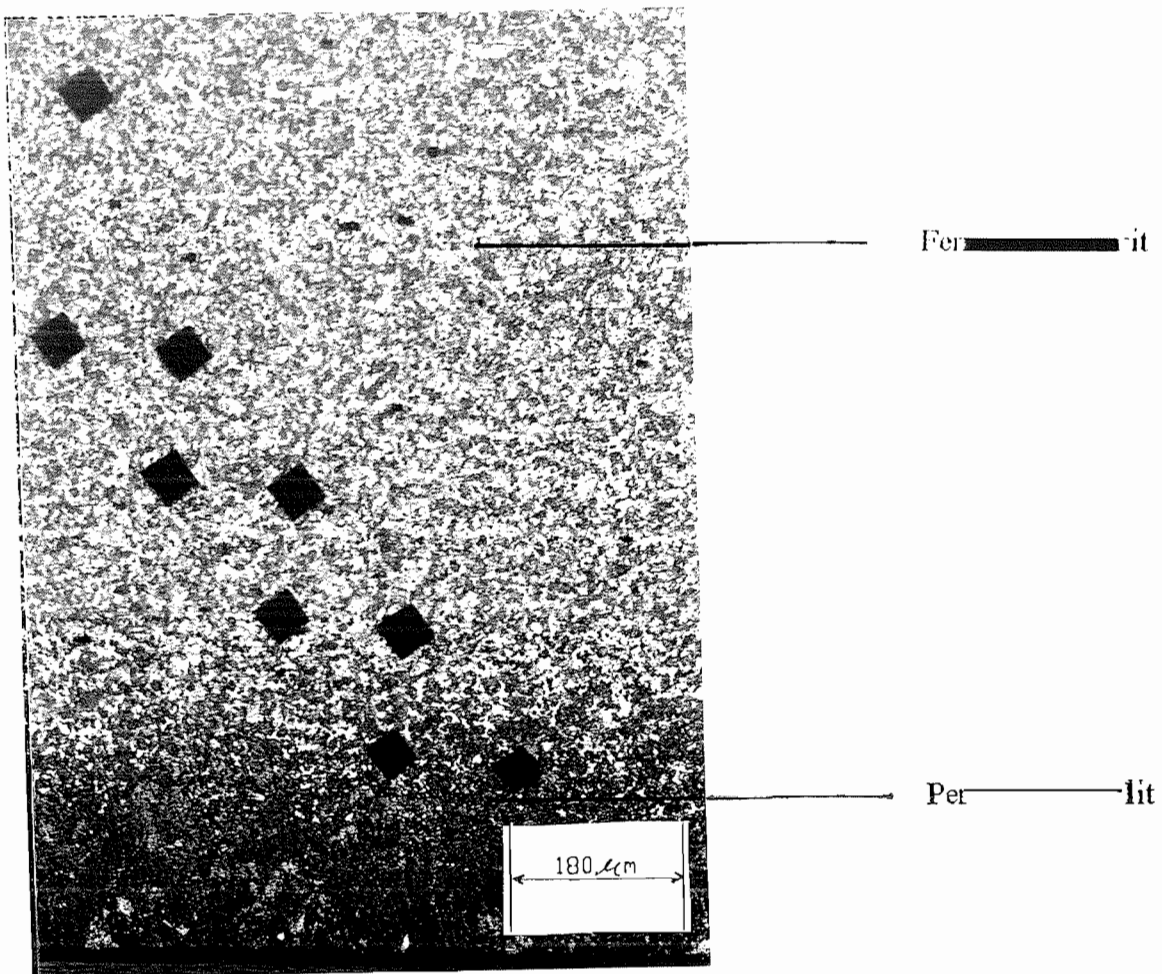


Foto Struktur Mikro benda uji Mula – mula.

ARANG KAYU / 850° / 3 JAM / DIKARBURISING

Struktur Mikro benda uji yang dikarburising dengan bahan Arang Waktu steady 3 jam, Suhu 850 C.

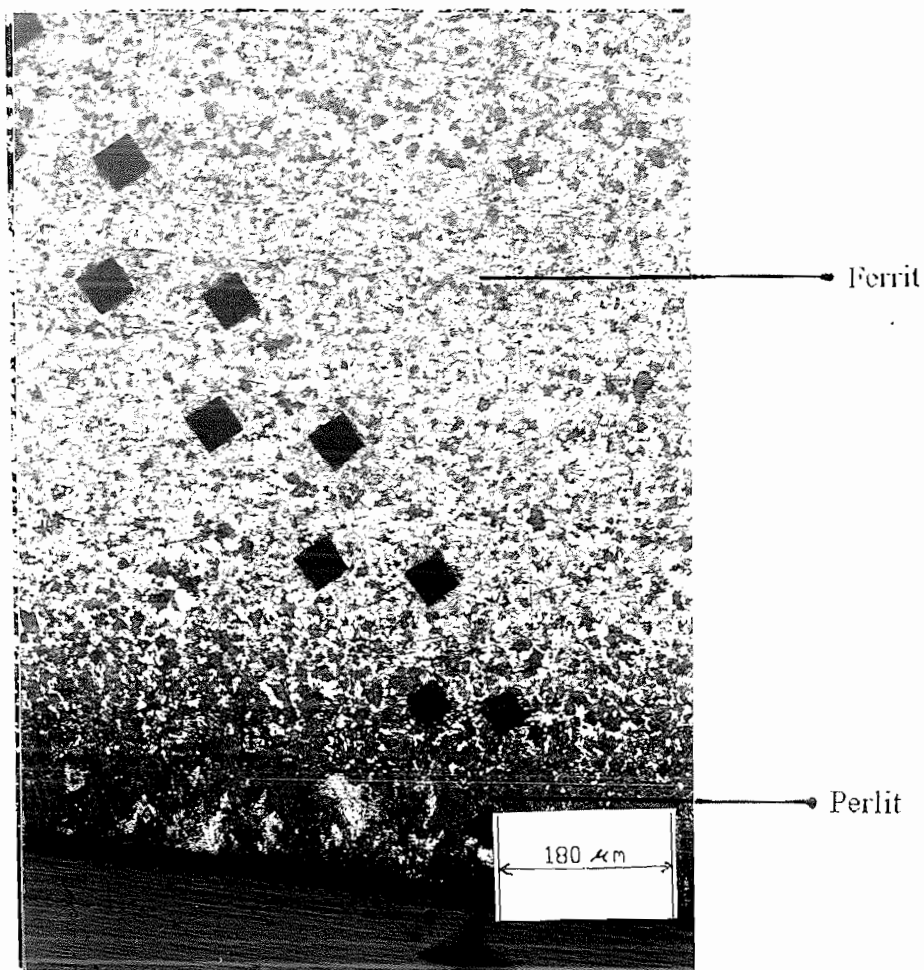
ARANG KELAPA / 850° / 3 JAM / DIKARBURISING

Foto Struktur Mikro benda uji yang dikarburing dengan bahan Arang Kelapa, Waktu steady 3 jam, Suhu 850 C.

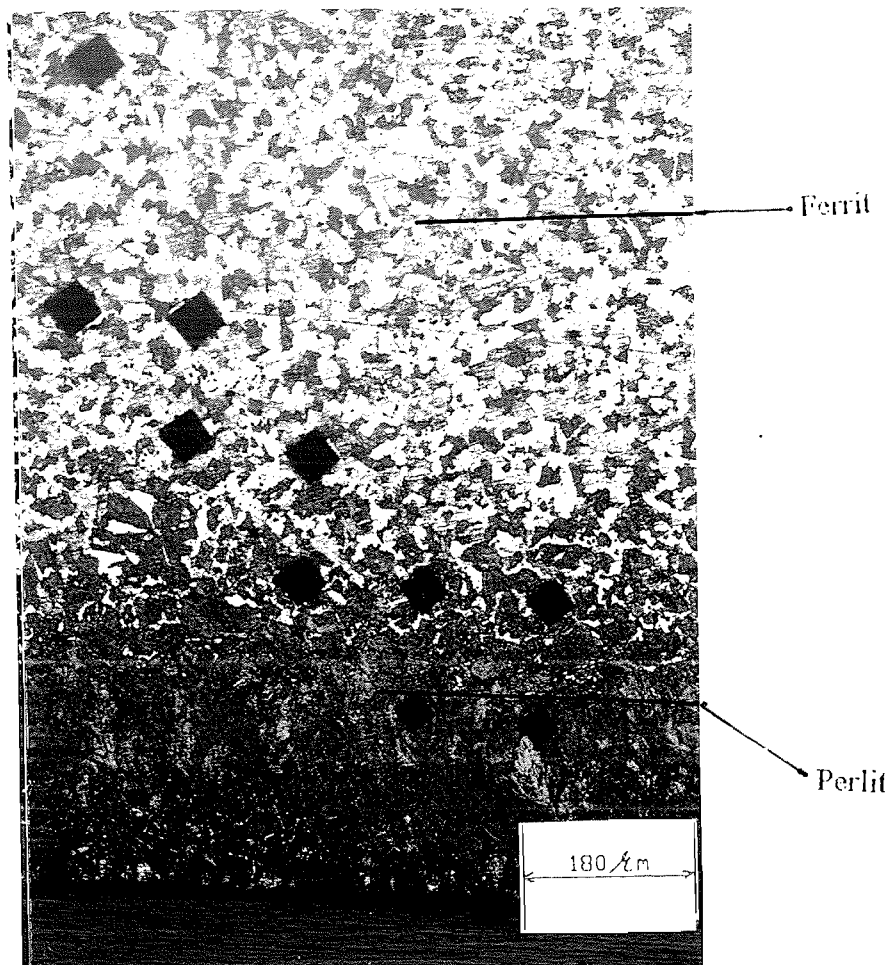
ARANG KAYU / 900° / 3 JAM / DIKARBURISING

Foto Struktur Mikro benda uji yang dikarburising dengan bahan Arang kayu, Waktu steady 3 jam, Suhu 900 C.

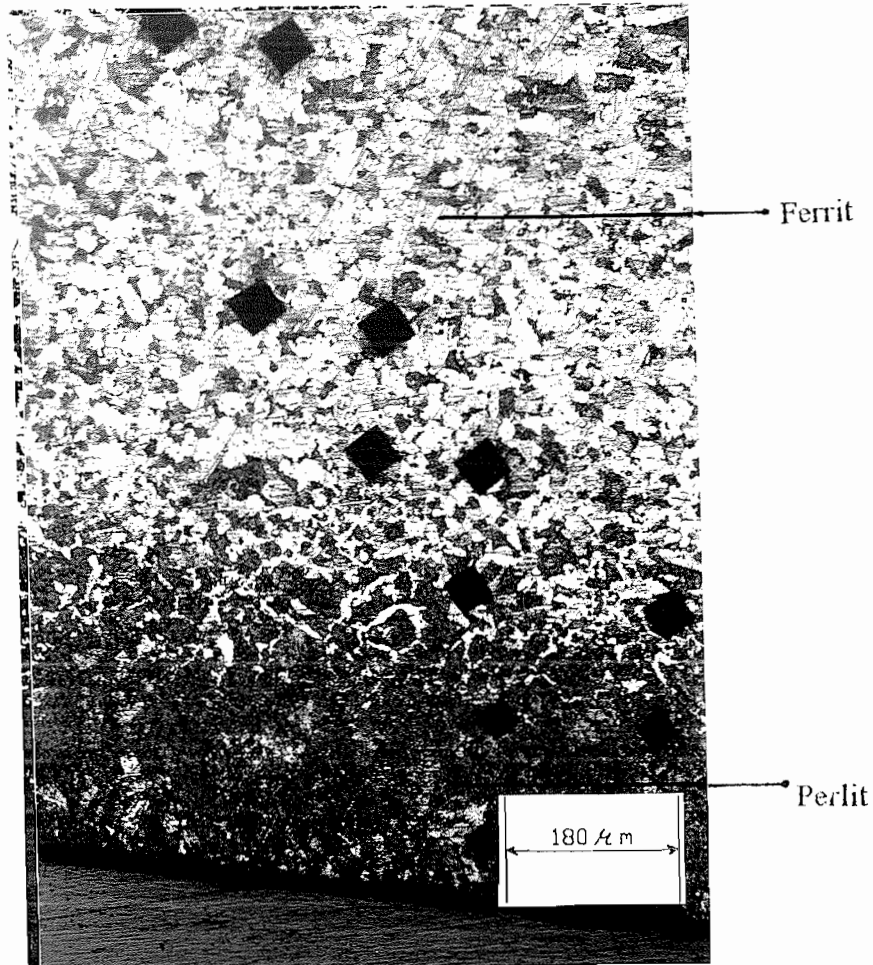
ARANG KELAPA / 900° / 3 JAM / DIKARBURISING

Foto Struktur Mikro benda uji yang dikarburising dengan bahan Arang Kelapa, Waktu steady 3 jam, Suhu 900 C.

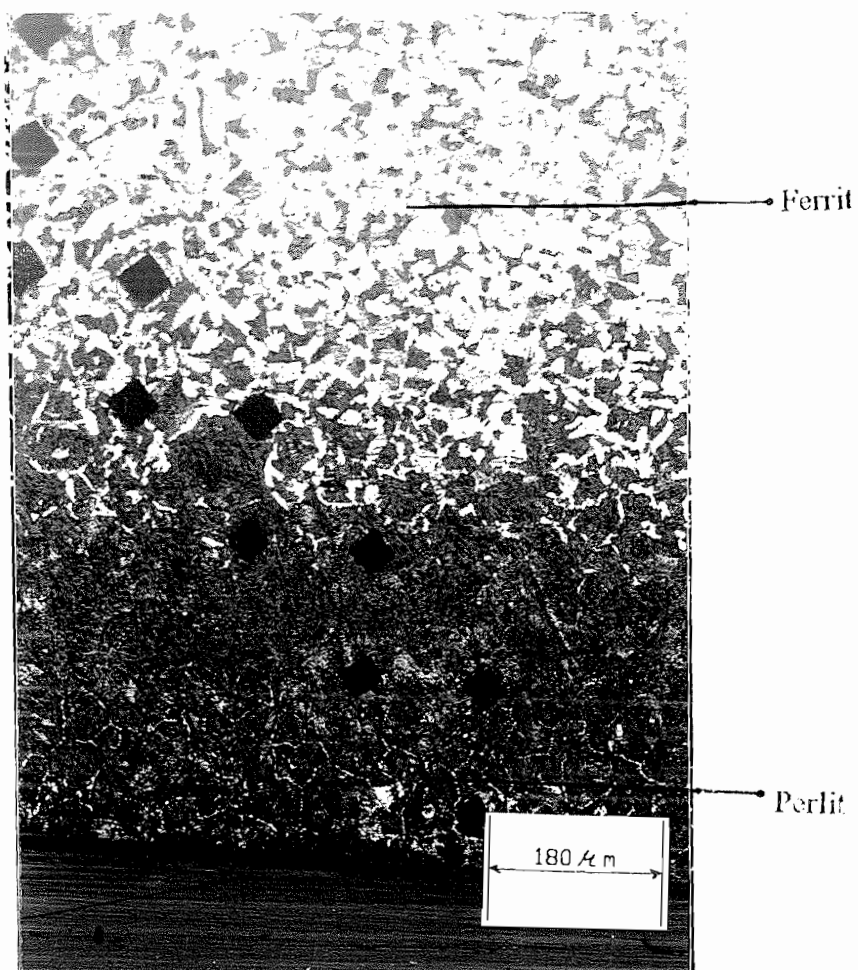
ARANG KAYU / 950° / 3 JAM / DIKARBURISING

Foto Struktur Mikro benda uji yang dikarburising dengan bahan Arang kayu, Waktu steady 3 jam, Suhu 950 C.

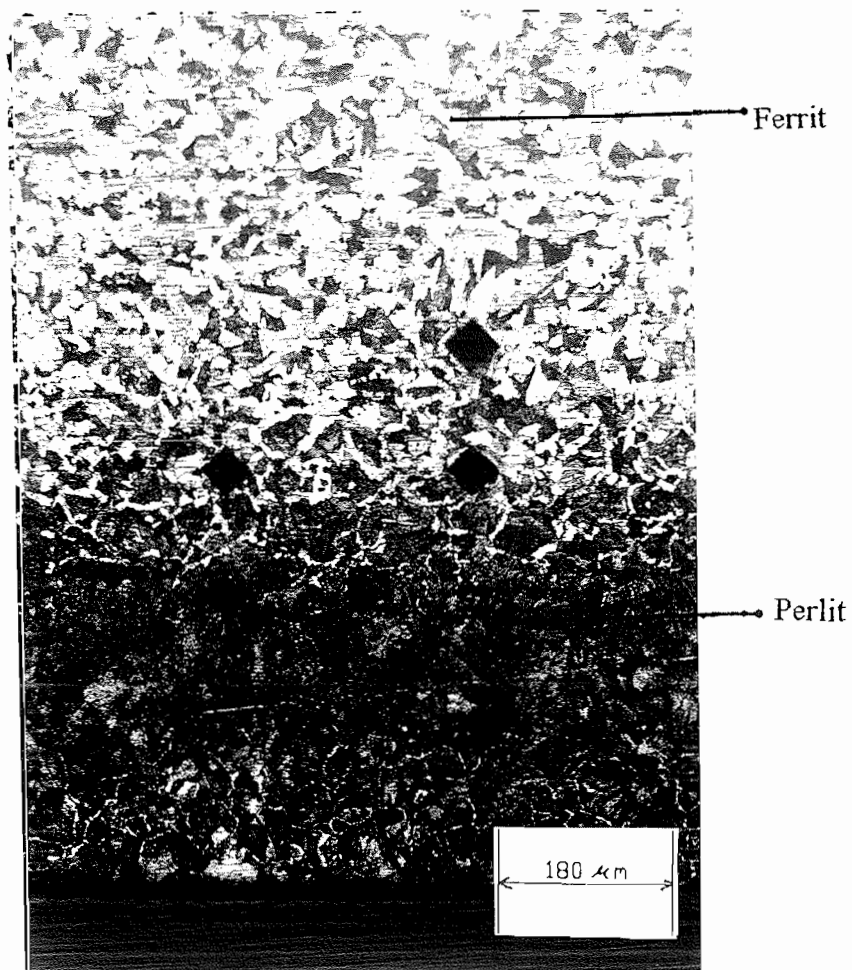
ARANG KELAPA / 950° / 3 JAM / DIKARBURISING

Foto Struktur Mikro benda uji yang dikarburising dengan bahan Arang Kelapa, Waktu steady 3 jam, Suhu 950 C.

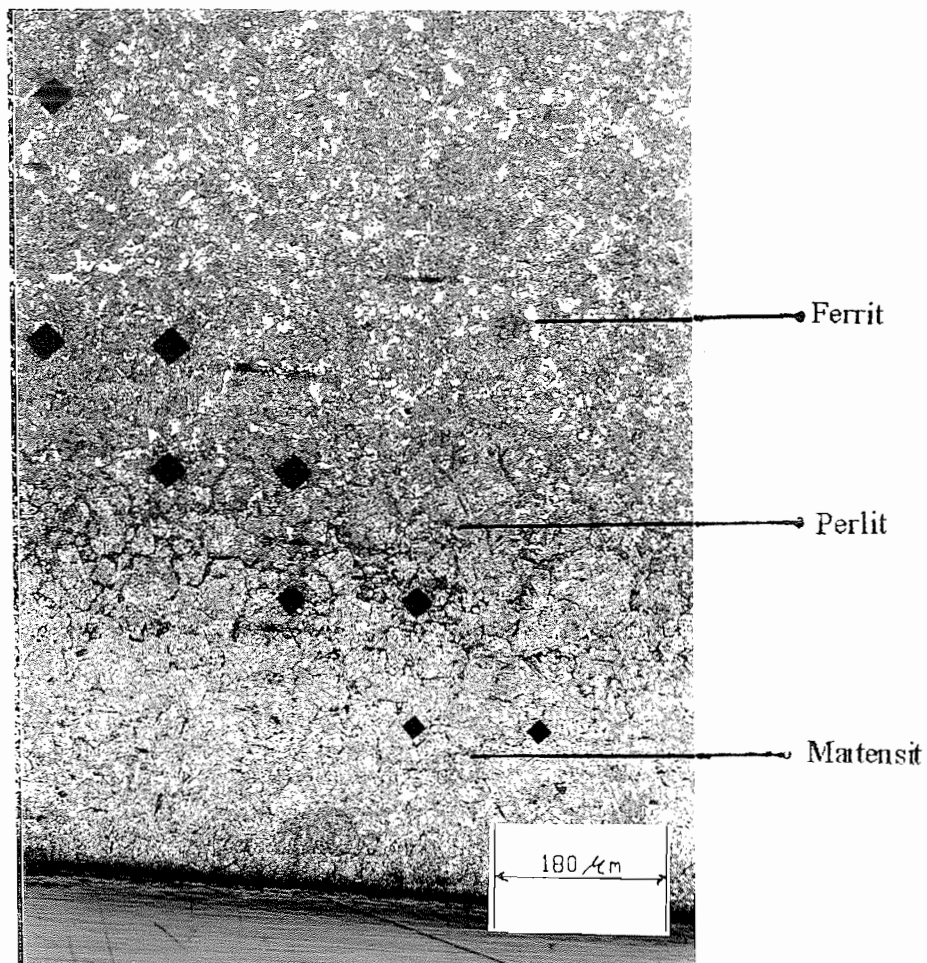
ARANG KAYU / 850° / 3 JAM / DIQUENCHING

Foto Struktur Mikro benda uji yang dikarburising dilanjutkan dengan diquenching dengan bahan arang kayu, Waktu steady 3 jam, Suhu 850 C.

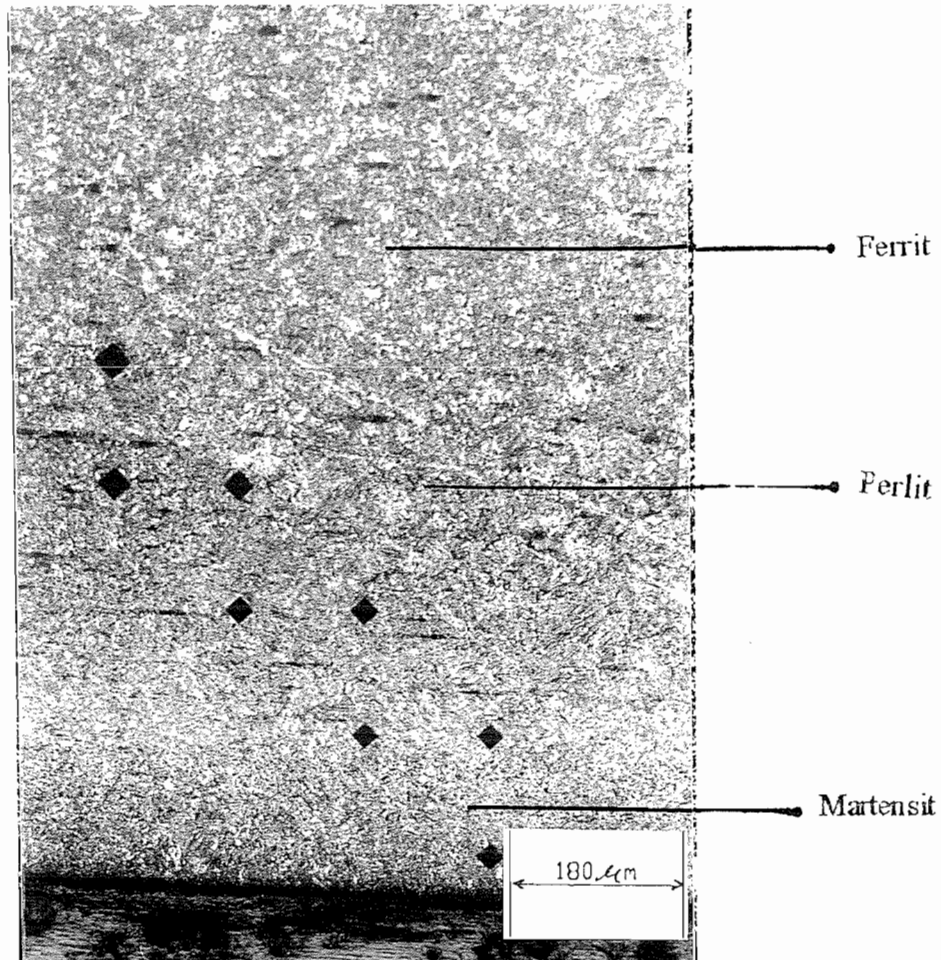
ARANG KELAPA / 850° / 3 JAM / DIQUENCHING

Foto Struktur Mikro benda uji yang dikarburising dilanjutkan dengan diquenching dengan bahan Arang Kelapa, Waktu steady 3 jam, Suhu 850 C.

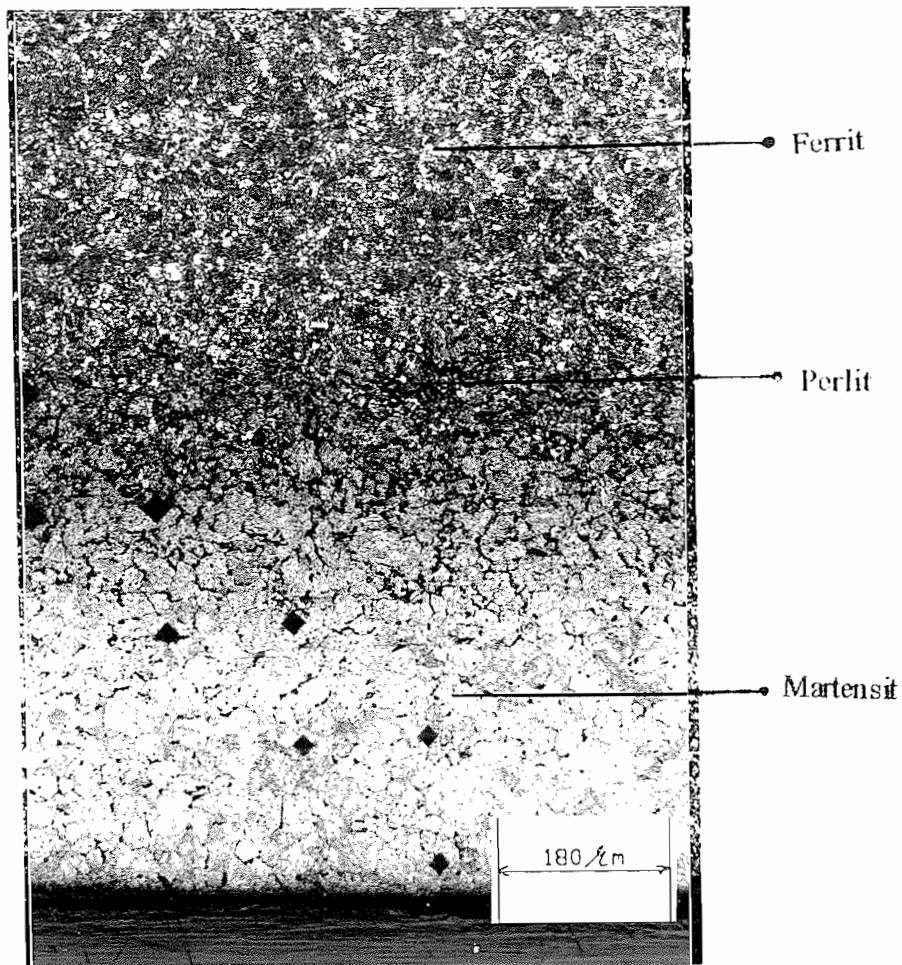
ARANG KAYU / 900° / 3 JAM / DIQUENCHING

Foto Struktur Mikro benda uji yang dikarburising dilanjutkan dengan diquenching dengan bahan arang kayu, Waktu steady 3 jam, Suhu 900 C.

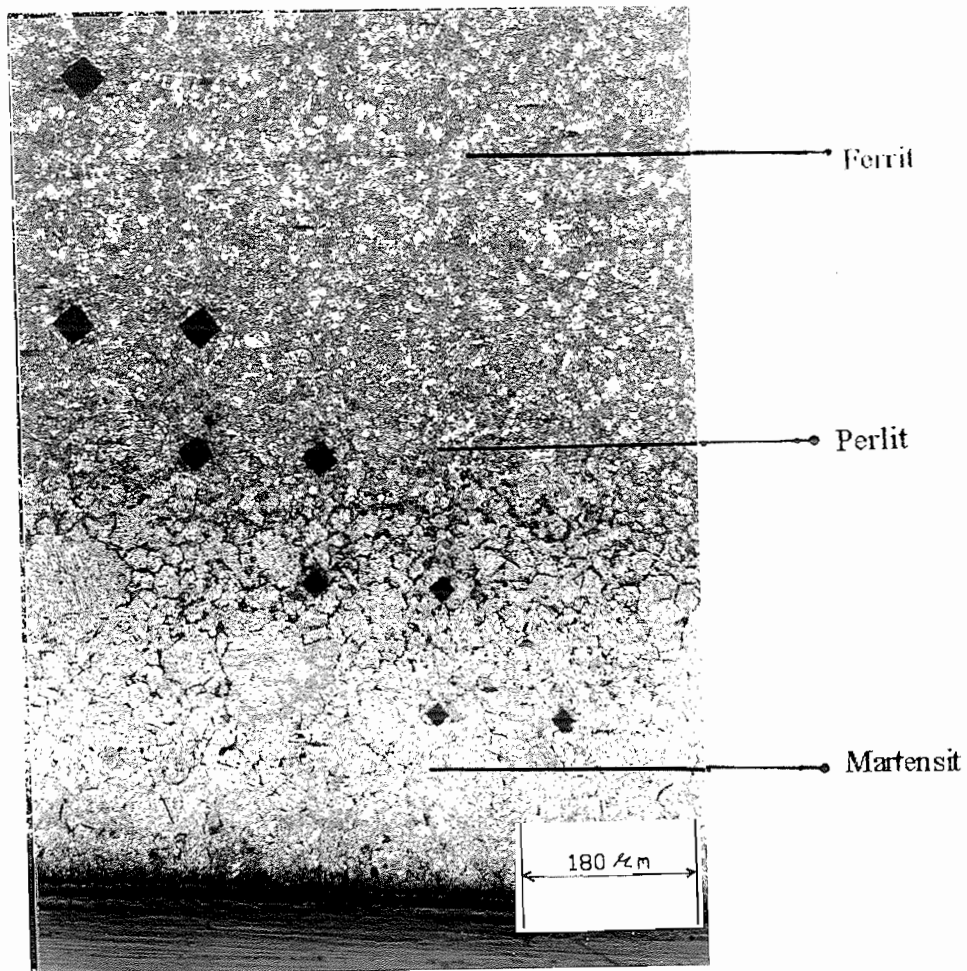
ARANG KELAPA / 900° / 3 JAM / DIQUENCHING

Foto Struktur Mikro benda uji yang dikarburising dilanjutkan dengan diquenching dengan bahan Arang Kelapa, Waktu steady 3 jam, Suhu 900 C.

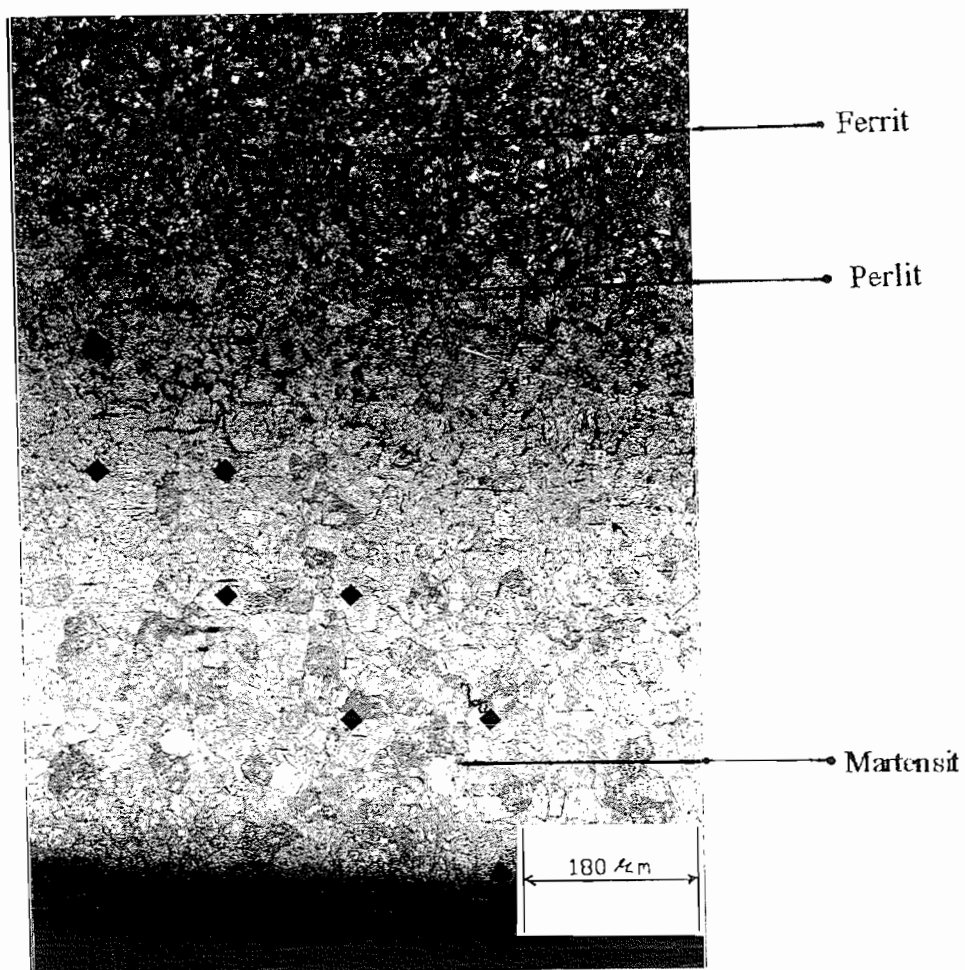
ARANG KAYU / 950° / 3 JAM / DIQUENCHING

Foto Struktur Mikro benda uji yang dikarburising dilanjutkan dengan diquenching dengan bahan arang kayu, Waktu steady 3 jam, Suhu 950 C.

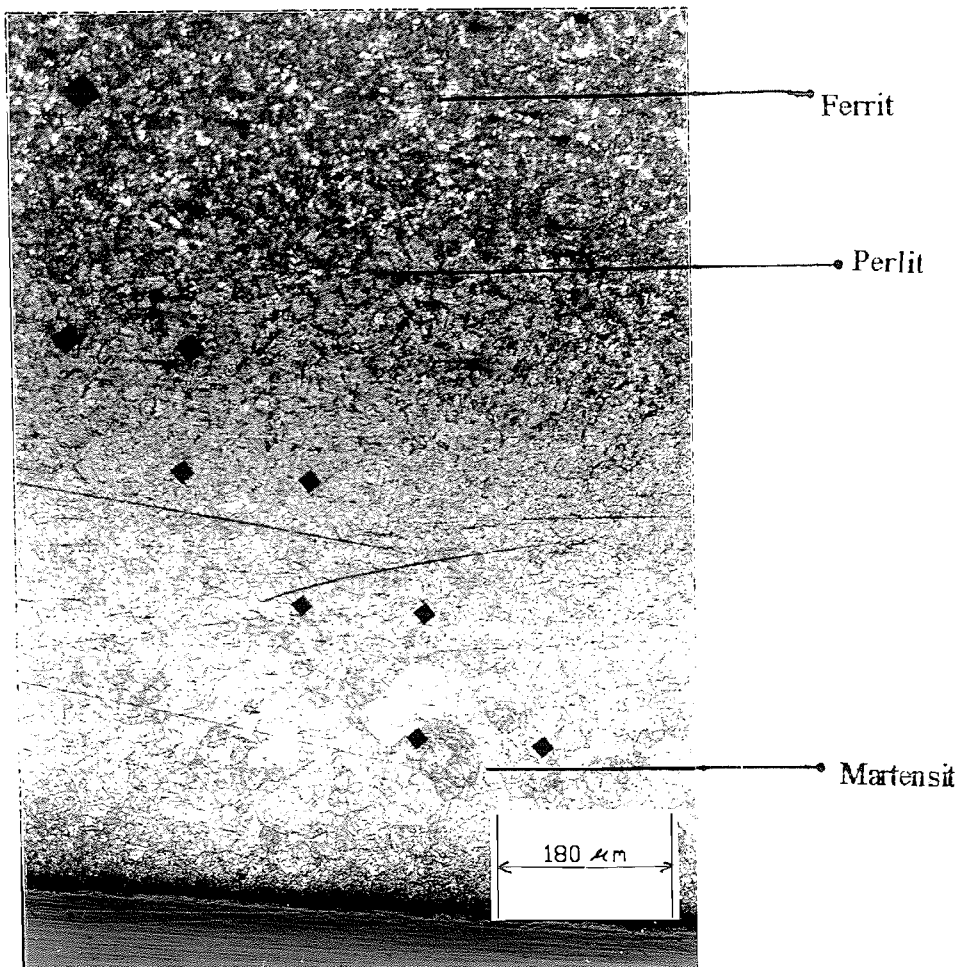
ARANG KELAPA / 950° / 3 JAM / DIQUENCHING

Foto Struktur Mikro benda uji yang dikarburising dilanjutkan dengan diquenching dengan bahan Arang Kelapa, Waktu steady 3 jam, Suhu 950 C.



4. 4.3. Analisa dan Pembahasan Struktur Mikro

Dari hasil pemotretan didapat adanya perubahan pada besar butir, jumlah besar butir, dan kadar karbon dari setiap periode perlakuan panas. Perlu diketahui bahan plat yang diuji adalah satu bahan yang sama/ homogen. Sehingga struktur mikro yang terjadi sebelum dilakukannya proses perlakuan panas atau karborizing sama untuk setiap benda uji 1, 2, 3.

Seperti yang telah kita ketahui bahwa proses transformasi baja karbon rendah, dimana pada baja dengan kandungan karbon rendah akan bertransformasi menjadi perlit dan ferrit. Tujuan dari penelitian struktur mikro adalah untuk mengetahui hubungan antara struktur mikro yang diperoleh dengan komposisi kimia dari bahan atau benda uji.

4.

4.3.1. Pada Pemanasan / Proses Carburizing dan di quench 850°C

Pada pemanasan 850°C jumlah dan besar butir pada inti sudah ada perubahan. (lihat gambar 4.22). Pada posisi benda diujung plat, dan terlihat jelas pada daerah batas transformasi. Dimana butir-butir tumbuh mengecil, dan flek hitam (perlit) bertambah banyak bersamaan dengan berkurangnya flek putih (ferrit) disebabkan naiknya kadar karbon (%C), yang berdifusi dari kulit menuju ke inti. Daerah yang diperkaya oleh masuknya unsur karbon menjadi gelap. Daerah inti, butir tumbuh lebih halus dan sempurna (lihat gambar 4.23).

Hasil Pengujian Kekerasan yang didapat (rata-rata)

	DI KARBON	DI QUENCHING
ARANG KAYU	149,191	422,538
ARANG KELAPA	150,686	406,590

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian pada sebuah plat dengan kadar karbon 0,148 – 0,158%, yang dilaksanakan di laboratorium “ILMU LOGAM” USD Yogyakarta dan di teliti di laboratorium ‘BAHAN TEKNIK’ UGM Yogyakarta, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Harga kekerasan tergantung pada suhu proses pengkarbonan / karburising dimana terjadi kenaikan :

Harga kekerasan plat (Hv)

Bahan mula-mula (sebelum karburising) Hv = 148,516

NO	PROSES	SUHU PEMANASAN		
		850 ⁰	900 ⁰	950 ⁰
1	Setelah karburising ARANG KAYU	149,191	174,039	189,905
2	Setelah karburising ARANG KELAPA	150,686	157,365	181,295
3	Setelah dikarburising arang kayu kemudian diQuench	422,538	502,422	572,398
4	Setelah karburising arang kelapa kemudian diQuench	406,590	481,633	483,394

2. Pada struktur mikro terdapat Perlit dan Ferrit.
3. Pada proses transformasi baja karbon rendah, baja dengan kandungan karbon rendah akan bertansformasi menjadi perlit dan ferrit.

4. Temperatur berpengaruh terhadap kekerasan, dimana semakin tinggi temperatur karburasi ($850 - 950^{\circ}$), makin keras lapisan karburasi karena kecepatan difusi makin besar dari kulit menuju ke inti.
5. Semakin tinggi suhu ($850 - 950^{\circ}$), makin cepat pembentukan perlit (waktu panjang perlit makin banyak).

5.2. Saran

Dari hasil penelitian yang penulis lakukan ada beberapa saran atau permasalahan yang timbul dalam proses penelitian ini antara lain :

1. Pack / Kotak sementasi harus betul-betul rapat dan terhindar dari kebocoran, sebab bila terjadi kebocoran permukaan baja akan kehilangan karbon, dengan demikian kekerasan baja akan menurun.
2. Temperatur pemanasan harus dijaga, karena perubahan permukaan ke suatu konsentrasi karbon tertentu sangat tergantung pada suhu, makin tinggi suhu karburasi makin tebal lapisan karburasi.
3. Bila ada faktor alam yang mempengaruhi pengujian waktu penelitian penulis, harap maklum ! (misalnya listrik padam saat pengopenan berlangsung).

DAFTAR PUSTAKA

- Avner, Sidney H. 1974, **INTRODUCTION TO PHYSICAL METALURGI**, MC. Graw-Hill Book Company, Singapore.
- Smallman, R.E, 1991, **METALURGI FISIKA MODERN**, Gramedia, Jakarta.
- Sularso, 1991, **DASAR PERENCANAAN DAN PEMILIHAN ELEMEN MESIN**, Cetakan Ke tujuh, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Tata Surdia, 1985, **PENGETAHUAN BAHAN TEKNIK**, Cetakan Pertama, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Rochim Suratman, 1994, **PROSES PERLAKUAN PANAS**, Lembaga Penelitian Institut Teknologi Bandung.
- Budi Setyahandana, **Diktat Metalurgi Fisik**

LAMPIRAN

COMPANY : PT. ITOKOH CEPERINDO
 SAMPLE NAME : LOGAM INDUK-SADAR-YOGYAKARTA
 FURNACE : HB1956A-1/5J
 OPERATOR : MARYADI
 Alloy : SC Mode : PA 17-Mar-2003 Time: 15:10

Burn 1

Fe 98.79	C 0.148	Mn 0.124	P 0.024	S 0.032
Si 0.150	Cu 0.152	Ni 0.119	Cr 0.081	Mo < 0.004
<u>V < 0.001</u>	<u>Ti < 0.000</u>	Al 0.001	<u>B < 0.000</u>	W 0.048
Co 0.015	Nb 0.011			

Burn 2

Fe 98.80	C 0.148	Mn 0.423	P 0.024	S 0.032
Si 0.149	Cu 0.151	Ni 0.117	Cr 0.080	Mo < 0.004
<u>V < 0.001</u>	<u>Ti < 0.000</u>	Al 0.001	<u>B < 0.000</u>	W 0.048
Co 0.015	Nb 0.011			

Burn 3

Fe 98.78	C 0.153	Mn 0.423	P 0.024	S 0.032
Si 0.151	Cu 0.152	Ni 0.120	Cr 0.081	Mo < 0.004
<u>V < 0.001</u>	<u>Ti < 0.000</u>	Al 0.001	<u>B < 0.000</u>	W 0.048
Co 0.015	Nb 0.011			

Average

Fe 98.79	C 0.151	Mn 0.423	P 0.024	S 0.032
Si 0.150	Cu 0.152	Ni 0.119	Cr 0.081	Mo < 0.004
<u>V < 0.001</u>	<u>Ti < 0.000</u>	Al 0.001	<u>B < 0.000</u>	W 0.048
Co 0.015	Nb 0.011			

PT.ITOKOH CEPERINDO

COMPANY : PT. ITOKOH CEPERINDO
 SAMPLE NAME : ARANG KATU-SADAR-YOGYAKARTA
 FURNACE : HB1956A-1/56
 OPERATOR : MARYADI
 Alley : SC Mode : PA 17-Mar-2003 Time 13:43

Burn 1

Fe 97.87	<u>C H 1.081</u>	Mn 0.427	P 0.024	S 0.032
Si 0.156	Cu 0.145	Ni 0.114	Cr 0.080	Mo < 0.004
<u>V < 0.001</u>	<u>Ti < 0.000</u>	Al 0.001	<u>B < 0.000</u>	W 0.043
Ce 0.015	Nb 0.011			

Burn 2

Fe 97.86	<u>C H 1.084</u>	Mn 0.429	P 0.024	S 0.032
Si 0.156	Cu 0.147	Ni 0.114	Cr 0.080	Mo < 0.004
<u>V < 0.001</u>	<u>Ti < 0.000</u>	Al 0.001	<u>B < 0.000</u>	W 0.043
Ce 0.015	Nb 0.011			

Burn 3

Fe 97.86	<u>C H 1.090</u>	Mn 0.426	P 0.024	S 0.032
Si 0.155	Cu 0.145	Ni 0.115	Cr 0.080	Mo < 0.004
<u>V < 0.001</u>	<u>Ti < 0.000</u>	Al 0.001	<u>B < 0.000</u>	W 0.042
Ce 0.015	Nb 0.011			

Average

Fe 97.87	<u>C H 1.085</u>	Mn 0.427	P 0.024	S 0.032
Si 0.156	Cu 0.146	Ni 0.115	Cr 0.080	Mo < 0.004
<u>V < 0.001</u>	<u>Ti < 0.000</u>	Al 0.001	<u>B < 0.000</u>	W 0.043
Ce 0.015	Nb 0.011			

PT.ITOKOH CEPERINDO

COMPANY : PT. ITOKOH CEPERINDO
 SAMPLE NAME : ARANG KELAPA-SADAR-YOGYAKARTA
 FURNACE : HB1956A-1/55
 OPERATOR : MARYADI
 Alloy : SC Mode : PA 17-Mar-2003 Time 15:50

Burn 1
 Fe 97.94 C H 1.041 Mn 0.409 P 0.019 S 0.031
 Si 0.151 Cu 0.148 Ni 0.116 Cr 0.077 Mo < 0.004
 V < 0.001 Ti < 0.000 Al 0.001 B < 0.000 W 0.045
 Co 0.015 Nb 0.012

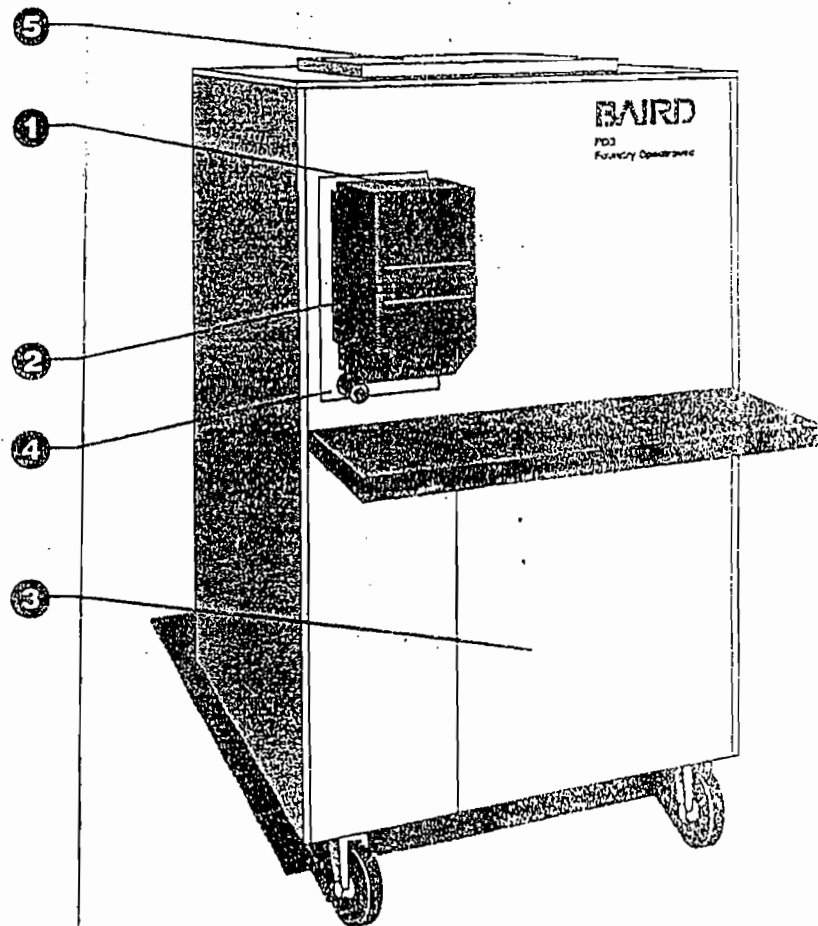
Burn 2
 Fe 97.90 C H 1.060 Mn 0.426 P 0.023 S 0.031
 Si 0.155 Cu 0.146 Ni 0.113 Cr 0.081 Mo < 0.004
 V < 0.001 Ti < 0.000 Al 0.001 B < 0.000 W 0.042
 Co 0.015 Nb 0.011

Burn 3
 Fe 97.91 C H 1.039 Mn 0.427 P 0.023 S 0.031
 Si 0.155 Cu 0.148 Ni 0.118 Cr 0.082 Mo < 0.004
 V < 0.001 Ti < 0.000 Al 0.001 B < 0.000 W 0.041
 Co 0.015 Nb 0.012

Average
 Fe 97.91 C H 1.047 Mn 0.421 P 0.022 S 0.031
 Si 0.154 Cu 0.147 Ni 0.116 Cr 0.080 Mo < 0.004
 V < 0.001 Ti < 0.000 Al 0.001 B < 0.000 W 0.042
 Co 0.015 Nb 0.012

PT.ITOKOH CEPERINDO

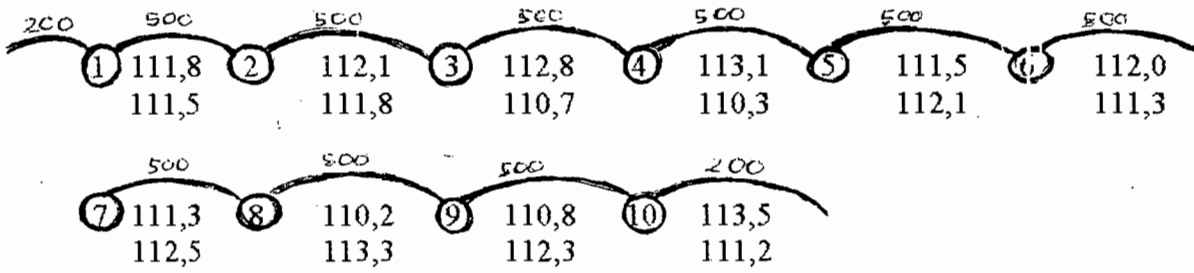
Chapter 3 Introducing the Instrument



Key	Component/Control	Function/Use
1	Optical window slide	Protects optics from sample debris. May be removed for cleaning
2	Sample stand	Contains sample mount and clamping assembly and counter electrode
3	Pump compartment	Houses vacuum pump. Refer also to Figure 3-3.
4	Optical alignment control	Adjusted to perform an optical alignment. A counter provides a numerical readout of the dial position.
5	Cooling fans	Circulates cool air through spectrometer

Figure 3-2. Front View of Model FSQ Foundry Spectrovac

A. BAJA INDUK (Bahan Awal)



$$\begin{array}{r}
 1. \quad 111,8 \\
 \quad 111,5 \\
 \hline
 \quad 223,3 \\
 \quad : 2 \\
 \hline
 \quad 111,06
 \end{array}$$

$$Hv_1 = 148,727 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,11165 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r}
 2. \quad 112,1 \\
 \quad 111,8 \\
 \hline
 \quad 223,9 \\
 \quad : 2 \\
 \hline
 \quad 111,95
 \end{array}$$

$$Hv_2 = 147,931 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,11195$$

$$\begin{array}{r}
 3. \quad 112,8 \\
 \quad 110,7 \\
 \hline
 \quad 223,5 \\
 \quad : 2 \\
 \hline
 \quad 111,75
 \end{array}$$

$$Hv_3 = 148,461 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,11175$$

$$\begin{array}{r}
 4. \quad 113,1 \\
 \quad 110,3 \\
 \hline
 \quad 223,4 \\
 \quad : 2 \\
 \hline
 \quad 111,7
 \end{array}$$

$$Hv_4 = 148,594 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,1117$$

$$\begin{array}{r} 5. \quad 111,5 \\ \quad 112,4 \\ \hline \quad 223,6 \\ \quad \quad : 2 \\ \quad 111,8 \end{array}$$

$$Hv_5 = 148,329 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,1118$$

$$\begin{array}{r} 6. \quad 112,0 \\ \quad 111,3 \\ \hline \quad 223,3 \\ \quad \quad : 2 \\ \quad 111,65 \end{array}$$

$$Hv_6 = 148,727 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,11165$$

$$\begin{array}{r} 7. \quad 111,3 \\ \quad 112,5 \\ \hline \quad 223,8 \\ \quad \quad : 2 \\ \quad 111,9 \end{array}$$

$$Hv_7 = 148,064 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,1119$$

$$\begin{array}{r} 8. \quad 110,2 \\ \quad 113,3 \\ \hline \quad 223,5 \\ \quad \quad : 2 \\ \quad 111,75 \end{array}$$

$$Hv_8 = 148,461 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,11175$$

$$\begin{array}{r} 9. \quad 110,8 \\ \quad 112,3 \\ \hline \quad 223,1 \\ \quad \quad : 2 \\ \quad 111,55 \end{array}$$

$$Hv_9 = 148,994 \text{ kg/mm}^2$$

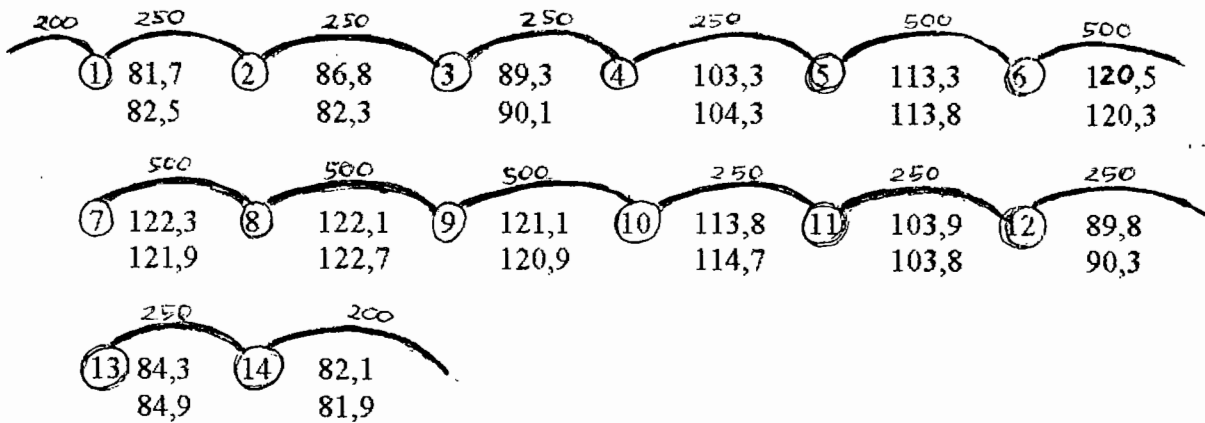
$$= 0,11155$$

$$\begin{array}{r}
 10. \quad 111,8 \\
 \underline{111,55} \quad + \\
 223,35 \\
 \underline{\quad\quad} : 2 \\
 111,675 \\
 \\
 = 0,111675
 \end{array}$$

$$Hv_{10} = 148,880 \text{ kg/mm}^2$$

$$\text{Rata-rata} = 148,516 \text{ kg/mm}^2$$

1. ARANG KAYU / 950° / 3 JAM



$$\begin{array}{r}
 1. \quad 81,7 \\
 \underline{82,5} \quad + \\
 164,2 \\
 \underline{\quad\quad} : 2 \\
 82,1 \\
 \\
 = 0,0821 \text{ mm}
 \end{array}$$

$$Hv_1 = 275,057 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r}
 2. \quad 86,8 \\
 \underline{82,3} \quad + \\
 169,1 \\
 \underline{\quad\quad} : 2 \\
 84,55 \\
 \\
 = 0,08455 \text{ mm}
 \end{array}$$

$$Hv_2 = 259,347 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r}
 3. \quad 89,3 \\
 \underline{90,1} \quad + \\
 \quad\quad
 \end{array}$$

$$Hv_3 = 230,422 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r} 179,4 \\ \hline 89,7 \end{array} : 2$$

$$= 0,0897$$

$$4. \quad \begin{array}{r} 103,3 \\ 104,3 \\ \hline 207,6 \\ \hline 103,8 \end{array} +$$

$$= 0,1038 \text{ mm}$$

$$Hv_4 = 172,073 \text{ kg/mm}^2$$

$$5. \quad \begin{array}{r} 113,3 \\ 115,8 \\ \hline 229,1 \\ \hline 114,55 \end{array} +$$

$$= 0,11455 \text{ mm}$$

$$Hv_5 = 141,792 \text{ kg/mm}^2$$

$$6. \quad \begin{array}{r} 120,5 \\ 120,3 \\ \hline 240,8 \\ \hline 120,4 \end{array} +$$

$$= 0,1204 \text{ mm}$$

$$Hv_6 = 127,895 \text{ kg/mm}^2$$

$$7. \quad \begin{array}{r} 122,3 \\ 121,9 \\ \hline 244,2 \\ \hline 122,1 \end{array} +$$

$$= 0,1221 \text{ mm}$$

$$Hv_7 = 124,359 \text{ kg/mm}^2$$

$$8. \quad \begin{array}{r} 122,1 \\ 122,7 \\ \hline \end{array} +$$

$$Hv_8 = 123,750 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r} 244,8 \\ \hline 122,4 \end{array} : 2$$

= 0,1224 mm

9.
$$\begin{array}{r} 121,1 \\ 120,9 \\ \hline 242,0 \end{array} +$$

$$\begin{array}{r} 242,0 \\ \hline 121 \end{array} : 2$$

= 0,1210 mm

$Hv_9 = 126,630 \text{ kg/mm}^2$

10.
$$\begin{array}{r} 113,8 \\ 114,7 \\ \hline 228,5 \end{array} +$$

$$\begin{array}{r} 228,5 \\ \hline 114,25 \end{array} : 2$$

= 0,11425 mm

$Hv_{10} = 142,035 \text{ kg/mm}^2$

11.
$$\begin{array}{r} 103,9 \\ 103,8 \\ \hline 207,7 \end{array} +$$

$$\begin{array}{r} 207,7 \\ \hline 103,85 \end{array} : 2$$

= 0,10385 mm

$Hv_{11} = 171,908 \text{ kg/mm}^2$

12.
$$\begin{array}{r} 89,8 \\ 90,3 \\ \hline 180,1 \end{array} +$$

$$\begin{array}{r} 180,1 \\ \hline 90,05 \end{array} : 2$$

= 0,09005 mm

$Hv_{12} = 228,634 \text{ kg/mm}^2$

13.
$$\begin{array}{r} 84,3 \\ 84,9 \\ \hline \end{array} +$$

$Hv_{13} = 259,041 \text{ kg/mm}^2$

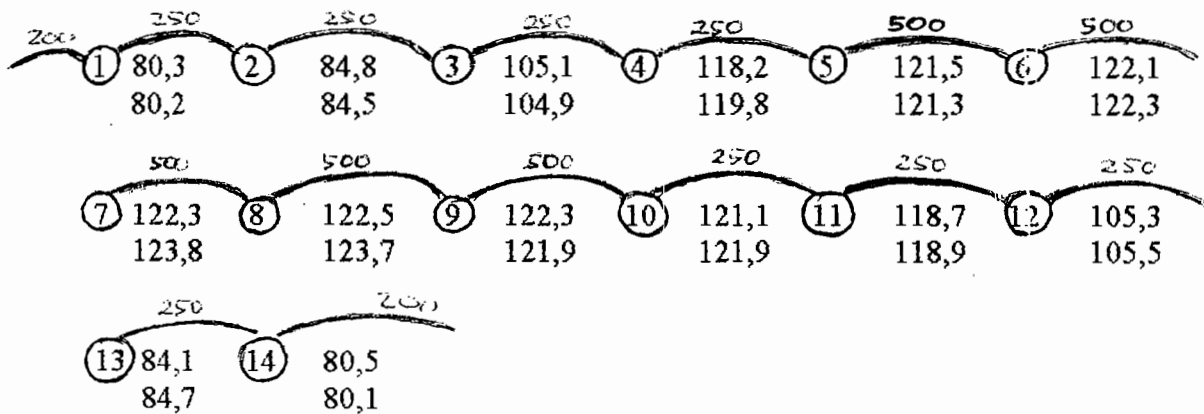
$$\begin{array}{r} 169,2 \\ \hline : 2 \\ 84,6 \\ \\ = 0,0846 \text{ mm} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 14. \quad 82,1 \\ 81,9 \\ \hline + \\ 164 \\ \hline : 2 \\ 82 \\ \\ = 0,082 \text{ mm} \end{array}$$

$$Hv_{14} = 275,728 \text{ kg/mm}^2$$

$$\text{Rata-rata Hv} = 189,905 \text{ kg/mm}^2$$

2. ARANG KAYU / 900° / 3 JAM



$$\begin{array}{r} 1. \quad 80,3 \\ 80,2 \\ \hline + \\ 160,5 \\ \hline : 2 \\ 80,25 \\ \\ = 0,0825 \text{ mm} \end{array}$$

$$Hv_1 = 287,885 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r} 2. \quad 84,8 \\ 84,5 \\ \hline + \\ 169,3 \\ \hline : 2 \\ 84,65 \end{array}$$

$$Hv_2 = 258,735 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,08465 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 3. \quad 105,1 \\ \quad 104,9 \\ \hline \quad 210,0 \\ \quad \quad : 2 \\ \quad 105 \end{array}$$

$$Hv_3 = 168,163 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,105 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 4. \quad 118,2 \\ \quad 119,8 \\ \hline \quad 238 \\ \quad \quad : 2 \\ \quad 119 \end{array}$$

$$Hv_4 = 130,922 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,119 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 5. \quad 121,5 \\ \quad 121,3 \\ \hline \quad 242,8 \\ \quad \quad : 2 \\ \quad 121,4 \end{array}$$

$$Hv_5 = 125,797 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,1214 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 6. \quad 122,1 \\ \quad 122,2 \\ \hline \quad 244,3 \\ \quad \quad : 2 \\ \quad 122,15 \end{array}$$

$$Hv_6 = 124,257 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,12215 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 7. \quad 122,3 \\ \quad 123,8 \\ \hline \quad 246,1 \\ \quad \quad : 2 \\ \quad 123,05 \end{array}$$

$$Hv_7 = 122,446 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,12305 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r}
 8. \quad 122,5 \\
 \underline{123,7} \quad + \\
 246,2 \\
 \underline{} : 2 \\
 123,1 \\
 \\
 = 0,1231 \text{ mm}
 \end{array}$$

$$Hv_8 = 122,347 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r}
 9. \quad 122,3 \\
 \underline{121,9} \quad + \\
 244,2 \\
 \underline{} : 2 \\
 121,1 \\
 \\
 = 0,1221 \text{ mm}
 \end{array}$$

$$Hv_9 = 124,359 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r}
 10. \quad 121,1 \\
 \underline{121,9} \quad + \\
 243,0 \\
 \underline{} : 2 \\
 121,5 \\
 \\
 = 0,1215 \text{ mm}
 \end{array}$$

$$Hv_{10} = 125,590 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r}
 11. \quad 118,7 \\
 \underline{118,9} \quad + \\
 237,6 \\
 \underline{} : 2 \\
 118,8 \\
 \\
 = 0,1188 \text{ mm}
 \end{array}$$

$$Hv_{11} = 131,364 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r}
 12. \quad 105,3 \\
 \underline{105,5} \quad + \\
 210,8 \\
 \underline{} : 2 \\
 105,4 \\
 \\
 = 0,1054 \text{ mm}
 \end{array}$$

$$Hv_{12} = 166,889 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r}
 13. \quad 84,1 \\
 \quad 84,7 \\
 \hline
 \quad 168,8 \\
 \quad \quad : 2 \\
 \quad 84,4
 \end{array}$$

$$Hv_{13} = 260,270 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,0844 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r}
 14. \quad 80,5 \\
 \quad 80,1 \\
 \hline
 \quad 160,6 \\
 \quad \quad : 2 \\
 \quad 80,3
 \end{array}$$

$$Hv_{14} = 287,527 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,0803 \text{ mm}$$

$$\text{Rata-rata Hv} = 174,039 \text{ kg/mm}^2$$

3. ARANG KAYU / 850° / 3 JAM

200	250	250	250	250	500	500
① 85,3 85,9	② 102,9 103,6	③ 119,9 118,1	④ 121,9 122,0	⑤ 123,8 124,1	⑥ 124,3 124,5	
500	500	500	250	250	250	
⑦ 124,1 124,3	⑧ 124,8 123,9	⑨ 124,1 124,8	⑩ 124,3 124,1	⑪ 122,4 121,8	⑫ 119,2 119,3	
250	200					
⑬ 102,1 102,9	⑭ 84,9 85,8					

$$\begin{array}{r}
 1. \quad 85,3 \\
 \quad 85,9 \\
 \hline
 \quad 171,2 \\
 \quad \quad : 2 \\
 \quad 85,6
 \end{array}$$

$$Hv_1 = 253,024 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,0856 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r}
 2. \quad 102,9 \\
 \quad 103,6 \\
 \hline
 \quad \quad +
 \end{array}$$

$$Hv_2 = 173,912 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r} 206,5 \\ \hline 103,25 \\ \hline \end{array} : 2$$

= 0,10325 mm

$$\begin{array}{r} 3. \quad 119,9 \\ 118,1 \\ \hline 238 \\ \hline \end{array} +$$

$$\begin{array}{r} 119 \\ \hline \end{array} : 2$$

= 0,119 mm

$$Hv_3 = 130,922 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r} 4. \quad 121,9 \\ 122,0 \\ \hline 243,9 \\ \hline \end{array} +$$

$$\begin{array}{r} 121,95 \\ \hline \end{array} : 2$$

= 0,12195 mm

$$Hv_4 = 124,665 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r} 5. \quad 123,8 \\ 124,1 \\ \hline 247,9 \\ \hline \end{array} +$$

$$\begin{array}{r} 123,95 \\ \hline \end{array} : 2$$

= 0,12395 mm

$$Hv_5 = 120,674 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r} 6. \quad 124,3 \\ 124,5 \\ \hline 248,8 \\ \hline \end{array} +$$

$$\begin{array}{r} 124,4 \\ \hline \end{array} : 2$$

= 0,1244 mm

$$Hv_6 = 119,803 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r} 7. \quad 124,1 \\ 124,3 \\ \hline \end{array} +$$

$$Hv_7 = 120,189 \text{ kg/mm}^2$$

$$\frac{248,4}{124,2} : 2$$

$$= 0,1242 \text{ mm}$$

$$8. \quad \begin{array}{r} 124,8 \\ 123,9 \\ \hline + \\ 248,7 \\ \hline \end{array} : 2$$

$$Hv_8 = 119,899 \text{ kg/mm}^2$$

$$124,35$$

$$= 0,12435 \text{ mm}$$

$$9. \quad \begin{array}{r} 124,3 \\ 124,8 \\ \hline + \\ 248,9 \\ \hline \end{array} : 2$$

$$Hv_9 = 119,707 \text{ kg/mm}^2$$

$$124,45$$

$$= 0,12445 \text{ mm}$$

$$10. \quad \begin{array}{r} 124,3 \\ 124,1 \\ \hline + \\ 248,4 \\ \hline \end{array} : 2$$

$$Hv_{10} = 120,189 \text{ kg/mm}^2$$

$$124,2$$

$$= 0,1242 \text{ mm}$$

$$11. \quad \begin{array}{r} 122,4 \\ 121,8 \\ \hline + \\ 244,2 \\ \hline \end{array} : 2$$

$$Hv_{11} = 124,359 \text{ kg/mm}^2$$

$$122,1$$

$$= 0,1221 \text{ mm}$$

$$12. \quad \begin{array}{r} 119,2 \\ 119,3 \\ \hline + \end{array}$$

$$Hv_{12} = 130,374 \text{ kg/mm}^2$$

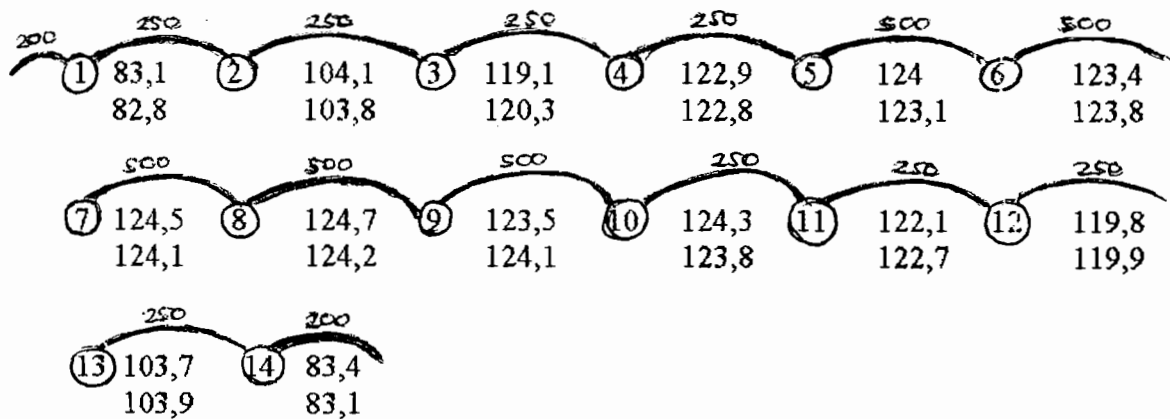
$$\begin{array}{r} 238,5 \\ \hline : 2 \\ 119,25 \\ \hline = 0,11925 \text{ mm} \end{array}$$

13.
$$\begin{array}{r} 102,1 \\ 102,9 \\ \hline + \\ 205 \\ \hline : 2 \\ 102,5 \\ \hline = 0,1025 \text{ mm} \end{array}$$
 $Hv_{13} = 176,466 \text{ kg/mm}^2$

14.
$$\begin{array}{r} 84,9 \\ 85,8 \\ \hline + \\ 170,7 \\ \hline : 2 \\ 85,35 \\ \hline = 0,08535 \text{ mm} \end{array}$$
 $Hv_{14} = 254,508 \text{ kg/mm}^2$

Rata-rata Hv = 149,191 kg/mm²

4. ARANG KELAPA / 850° / 3 JAM



1.
$$\begin{array}{r} 83,1 \\ 82,8 \\ \hline + \\ 165,9 \\ \hline : 2 \\ 82,95 \end{array}$$
 $Hv_1 = 269,449 \text{ kg/mm}^2$

$$= 0,08295 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 2. \quad 104,1 \\ \quad 103,8 \\ \hline \quad 207,9 \\ \quad \quad : 2 \\ \hline \quad 103,95 \end{array}$$

$$Hv_2 = 171,577 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,10395 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 3. \quad 119,1 \\ \quad 120,3 \\ \hline \quad 239,4 \\ \quad \quad : 2 \\ \hline \quad 119,7 \end{array}$$

$$Hv_3 = 129,396 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,1197 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 4. \quad 122,9 \\ \quad 122,8 \\ \hline \quad 245,7 \\ \quad \quad : 2 \\ \hline \quad 122,85 \end{array}$$

$$Hv_4 = 122,845 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,12285 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 5. \quad 124 \\ \quad 123,1 \\ \hline \quad 247,1 \\ \quad \quad : 2 \\ \hline \quad 123,55 \end{array}$$

$$Hv_5 = 121,457 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,12355 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 6. \quad 123,4 \\ \quad 123,8 \\ \hline \quad 247,2 \\ \quad \quad : 2 \\ \hline \quad 123,6 \end{array}$$

$$Hv_6 = 121,359 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,1236 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 7. \quad 124,5 \\ \quad 124,1 \\ \hline \quad \quad + \\ \quad 248,6 \\ \hline \quad \quad : 2 \\ \quad 124,3 \end{array}$$

$$Hv_7 = 119,996 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,1243 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 8. \quad 124,7 \\ \quad 124,2 \\ \hline \quad \quad + \\ \quad 248,9 \\ \hline \quad \quad : 2 \\ \quad 124,45 \end{array}$$

$$Hv_8 = 119,707 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,12445 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 9. \quad 123,5 \\ \quad 124,1 \\ \hline \quad \quad + \\ \quad 247,6 \\ \hline \quad \quad : 2 \\ \quad 123,8 \end{array}$$

$$Hv_9 = 120,967 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,1238 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 10. \quad 124,3 \\ \quad 123,8 \\ \hline \quad \quad + \\ \quad 248,1 \\ \hline \quad \quad : 2 \\ \quad 124,05 \end{array}$$

$$Hv_{10} = 120,480 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,12405 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 11. \quad 122,1 \\ \quad 122,7 \\ \hline \quad \quad + \\ \quad 244,8 \\ \hline \quad \quad : 2 \\ \quad 122,4 \end{array}$$

$$Hv_{11} = 123,750 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,1224 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r}
 12. \quad 119,8 \\
 \underline{119,9} \quad + \\
 239,7 \\
 \hline
 : 2 \\
 119,85
 \end{array}$$

$$Hv_{12} = 129,072 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,11985 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r}
 13. \quad 103,7 \\
 \underline{103,9} \quad + \\
 207,6 \\
 \hline
 : 2 \\
 103,8
 \end{array}$$

$$Hv_{13} = 172,073 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,1038 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r}
 14. \quad 83,4 \\
 \underline{83,1} \quad + \\
 166,5 \\
 \hline
 : 2 \\
 83,25
 \end{array}$$

$$Hv_{14} = 267,510 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,08325 \text{ mm}$$

$$\text{Rata-rata Hv} = 150,686 \text{ kg/mm}^2$$

5. ARANG KELAPA / 90° / 3 JAM

200	250	250	250	250	500	500
① 84,3 84,5	② 98,1 98,5	③ 106,3 107,1	④ 118,6 119,4	⑤ 124,1 124,9	⑥ 124,8 125,3	
500	500	500	250	250	250	
⑦ 125,1 125,9	⑧ 125,9 125,8	⑨ 124,5 124,9	⑩ 125,4 123,9	⑪ 118,8 118,9	⑫ 107,4 106,8	
200	200					
⑬ 98,5 97,9	⑭ 83,9 84,8					

$$\begin{array}{r}
 1. \quad 84,3 \\
 \underline{84,5} \quad + \\
 : 2
 \end{array}$$

$$Hv_1 = 260,270 \text{ kg/mm}^2$$

$$\frac{168,8}{84,4} : 2$$

$$= 0,0844 \text{ mm}$$

$$2. \quad \frac{98,1}{98,5} +$$

$$\frac{196,6}{98,3} : 2$$

$$= 0,0983 \text{ mm}$$

$$Hv_2 = 191,868 \text{ kg/mm}^2$$

$$3. \quad \frac{106,3}{107,1} +$$

$$\frac{213,4}{106,7} : 2$$

$$= 0,1067 \text{ mm}$$

$$Hv_3 = 162,847 \text{ kg/mm}^2$$

$$4. \quad \frac{118,6}{119,4} +$$

$$\frac{238}{119} : 2$$

$$= 0,119 \text{ mm}$$

$$Hv_4 = 130,922 \text{ kg/mm}^2$$

$$5. \quad \frac{124,1}{124,9} +$$

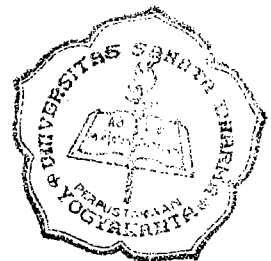
$$\frac{249,0}{124,5} : 2$$

$$= 0,1245 \text{ mm}$$

$$Hv_5 = 119,610 \text{ kg/mm}^2$$

$$6. \quad \frac{124,8}{125,3} +$$

$$Hv_6 = 118,561 \text{ kg/mm}^2$$



$$\begin{array}{r} 250,1 \\ \hline : 2 \\ 125,05 \\ \hline \end{array} = 0,12505 \text{ mm}$$

$$7. \quad \begin{array}{r} 125,1 \\ 125,9 \\ \hline + \\ 151 \\ \hline : 2 \\ 125,5 \\ \hline \end{array} \quad \text{Hv}_7 = 117,712 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,1255 \text{ mm}$$

$$8. \quad \begin{array}{r} 125,9 \\ 125,8 \\ \hline + \\ 251,7 \\ \hline : 2 \\ 125,85 \\ \hline \end{array} \quad \text{Hv}_8 = 117,058 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,12585 \text{ mm}$$

$$9. \quad \begin{array}{r} 124,5 \\ 124,9 \\ \hline + \\ 249,4 \\ \hline : 2 \\ 124,7 \\ \hline \end{array} \quad \text{Hv}_9 = 119,227 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,1247 \text{ mm}$$

$$10. \quad \begin{array}{r} 125,4 \\ 123,9 \\ \hline + \\ 249,3 \\ \hline : 2 \\ 124,65 \\ \hline \end{array} \quad \text{Hv}_{10} = 119,323 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,12465 \text{ mm}$$

$$11. \quad \begin{array}{r} 118,8 \\ 118,9 \\ \hline + \\ \hline \end{array} \quad \text{Hv}_{11} = 131,253 \text{ kg/mm}^2$$

$$\frac{237,7}{118,85} : 2$$

$$= 0,11885 \text{ mm}$$

12.
$$\frac{107,4}{106,8} + \frac{214,2}{107,1} : 2$$

$$Hv_{12} = 161,633 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,1071 \text{ mm}$$

13.
$$\frac{98,5}{97,9} + \frac{196,4}{98,2} : 2$$

$$Hv_{13} = 192,259 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,0982 \text{ mm}$$

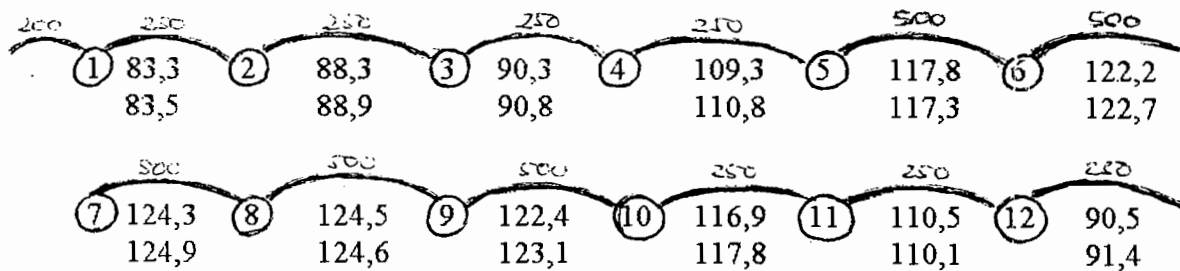
14.
$$\frac{83,9}{84,8} + \frac{168,7}{84,35} : 2$$

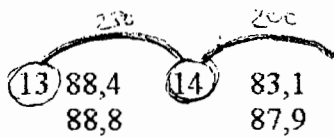
$$Hv_{14} = 260,579 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,08435 \text{ mm}$$

$$\text{Rata-rata Hv} = 157,365 \text{ kg/mm}^2$$

6. ARANG KELAPA / 950° / 3 JAM





$$\begin{array}{r}
 1. \quad 83,3 \\
 \quad 83,5 \\
 \hline
 \quad 166,8 \\
 \quad \quad + \\
 \quad \quad 166,8 \\
 \hline
 \quad 83,4 \quad : 2 \\
 \\
 = 0,0834 \text{ mm}
 \end{array}$$

$$Hv_1 = 266,549 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r}
 2. \quad 88,3 \\
 \quad 88,9 \\
 \hline
 \quad 177,2 \\
 \quad \quad + \\
 \quad \quad 177,2 \\
 \hline
 \quad 88,6 \quad : 2 \\
 \\
 = 0,0866 \text{ mm}
 \end{array}$$

$$Hv_2 = 247,214 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r}
 3. \quad 90,3 \\
 \quad 90,8 \\
 \hline
 \quad 181,1 \\
 \quad \quad + \\
 \quad \quad 181,1 \\
 \hline
 \quad 90,55 \quad : 2 \\
 \\
 = 0,09055 \text{ mm}
 \end{array}$$

$$Hv_3 = 226,116 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r}
 4. \quad 109,3 \\
 \quad 110,8 \\
 \hline
 \quad 220,1 \\
 \quad \quad + \\
 \quad \quad 220,1 \\
 \hline
 \quad 110,05 \quad : 2 \\
 \\
 = 0,11005 \text{ mm}
 \end{array}$$

$$Hv_4 = 153,083 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r}
 5. \quad 117,8 \\
 \quad 117,3 \\
 \hline
 \quad 235,1 \\
 \quad \quad + \\
 \quad \quad 235,1 \\
 \hline
 \quad 117,55 \quad : 2
 \end{array}$$

$$Hv_5 = 134,172 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,11755 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 6. \quad 122,2 \\ \quad 122,7 \\ \hline \quad \quad + \\ \quad 244,9 \\ \hline \quad \quad : 2 \\ \quad 122,45 \end{array}$$

$$Hv_6 = 123,649 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,12245 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 7. \quad 124,3 \\ \quad 124,9 \\ \hline \quad \quad + \\ \quad 249,2 \\ \hline \quad \quad : 2 \\ \quad 124,6 \end{array}$$

$$Hv_7 = 119,419 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,1246 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 8. \quad 124,5 \\ \quad 124,6 \\ \hline \quad \quad + \\ \quad 249,1 \\ \hline \quad \quad : 2 \\ \quad 124,55 \end{array}$$

$$Hv_8 = 119,514 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,12455 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 9. \quad 122,3 \\ \quad 123,1 \\ \hline \quad \quad + \\ \quad 245,4 \\ \hline \quad \quad : 2 \\ \quad 122,7 \end{array}$$

$$Hv_9 = 123,146 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,1227 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 10. \quad 116,9 \\ \quad 117,8 \\ \hline \quad \quad + \\ \quad 234,7 \\ \hline \quad \quad : 2 \\ \quad 117,35 \end{array}$$

$$Hv_{10} = 134,630 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,11755 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r}
 11. \quad 110,5 \\
 \underline{110,1} \quad + \\
 220,6 \\
 \underline{\quad\quad} : 2 \\
 110,3 \\
 \\
 = 0,1103 \text{ mm}
 \end{array}$$

$$Hv_{11} = 152,390 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r}
 12. \quad 90,5 \\
 \underline{91,4} \quad + \\
 181,9 \\
 \underline{\quad\quad} : 2 \\
 90,95 \\
 \\
 = 0,09095 \text{ mm}
 \end{array}$$

$$Hv_{12} = 224,132 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r}
 13. \quad 88,4 \\
 \underline{88,8} \quad + \\
 177,2 \\
 \underline{\quad\quad} : 2 \\
 88,6 \\
 \\
 = 0,0866 \text{ mm}
 \end{array}$$

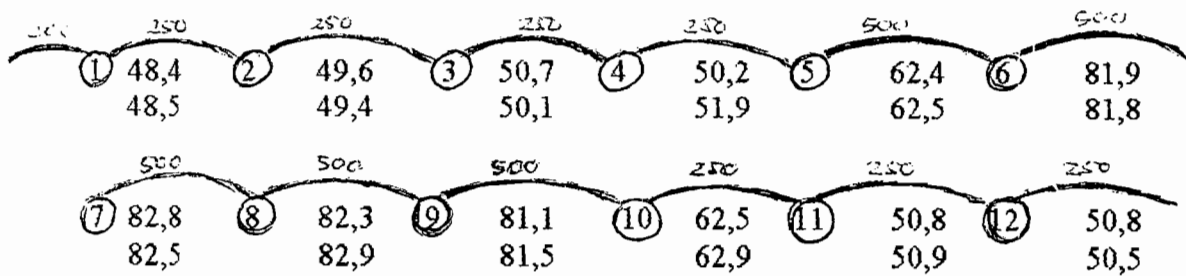
$$Hv_{13} = 247,214 \text{ kg/mm}^2$$

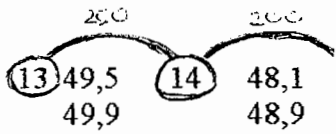
$$\begin{array}{r}
 14. \quad 83,1 \\
 \underline{83,9} \quad + \\
 167 \\
 \underline{\quad\quad} : 2 \\
 83,5 \\
 \\
 = 0,08435 \text{ mm}
 \end{array}$$

$$Hv_{14} = 265,911 \text{ kg/mm}^2$$

$$\text{Rata-rata Hv} = 181,295 \text{ kg/mm}^2$$

7. ARANG KAYU / QUENCH / 950° / 3 JAM





$$\begin{array}{r}
 1. \quad 48,4 \\
 \quad 48,5 \\
 \hline
 \quad 96,9 \\
 \hline
 \quad \quad : 2 \\
 \quad 48,45
 \end{array}$$

$$Hv_1 = 789,809 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,04845 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r}
 2. \quad 49,6 \\
 \quad 49,4 \\
 \hline
 \quad 99 \\
 \hline
 \quad \quad : 2 \\
 \quad 49,5
 \end{array}$$

$$Hv_2 = 756,657 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,0495 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r}
 3. \quad 50,7 \\
 \quad 50,1 \\
 \hline
 \quad 100,8 \\
 \hline
 \quad \quad : 2 \\
 \quad 50,4
 \end{array}$$

$$Hv_3 = 729,875 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,0504 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r}
 4. \quad 50,2 \\
 \quad 51,9 \\
 \hline
 \quad 102,1 \\
 \hline
 \quad \quad : 2 \\
 \quad 51,05
 \end{array}$$

$$Hv_4 = 711,407 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,05105 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r}
 5. \quad 62,4 \\
 \quad 62,5 \\
 \hline
 \quad \quad +
 \end{array}$$

$$Hv_5 = 475,384 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r} 124,9 \\ \hline : 2 \\ 62,45 \\ \hline = 0,06245 \text{ mm} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 6. \quad 81,9 \\ \quad 81,8 \\ \hline + \\ \quad 163,7 \\ \hline : 2 \\ \quad 81,85 \\ \hline = 0,08185 \text{ mm} \end{array} \quad H_{V_6} = 276,740 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r} 7. \quad 82,8 \\ \quad 82,5 \\ \hline + \\ \quad 165,3 \\ \hline : 2 \\ \quad 82,65 \\ \hline = 0,08265 \text{ mm} \end{array} \quad H_{V_7} = 271,408 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r} 8. \quad 82,3 \\ \quad 82,9 \\ \hline + \\ \quad 165,2 \\ \hline : 2 \\ \quad 82,6 \\ \hline = 0,0826 \text{ mm} \end{array} \quad H_{V_8} = 271,737 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r} 9. \quad 81,1 \\ \quad 81,5 \\ \hline + \\ \quad 162,6 \\ \hline : 2 \\ \quad 81,3 \\ \hline = 0,0813 \text{ mm} \end{array} \quad H_{V_9} = 280,497 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r} 10. \quad 62,5 \\ \quad 62,9 \\ \hline + \\ \hline \end{array} \quad H_{V_{10}} = 471,600 \text{ kg/mm}^2$$

$$\frac{125,4}{62,7} : 2$$

$$= 0,0627 \text{ mm}$$

11. $\frac{50,8}{50,9} + \frac{101,7}{50,85} : 2$ $Hv_{11} = 717,014 \text{ kg/mm}^2$

$$= 0,05085 \text{ mm}$$

12. $\frac{50,8}{50,5} + \frac{101,3}{50,65} : 2$ $Hv_{12} = 722,687 \text{ kg/mm}^2$

$$= 0,05065 \text{ mm}$$

13. $\frac{49,5}{49,9} + \frac{99,4}{49,7} : 2$ $Hv_{13} = 750,579 \text{ kg/mm}^2$

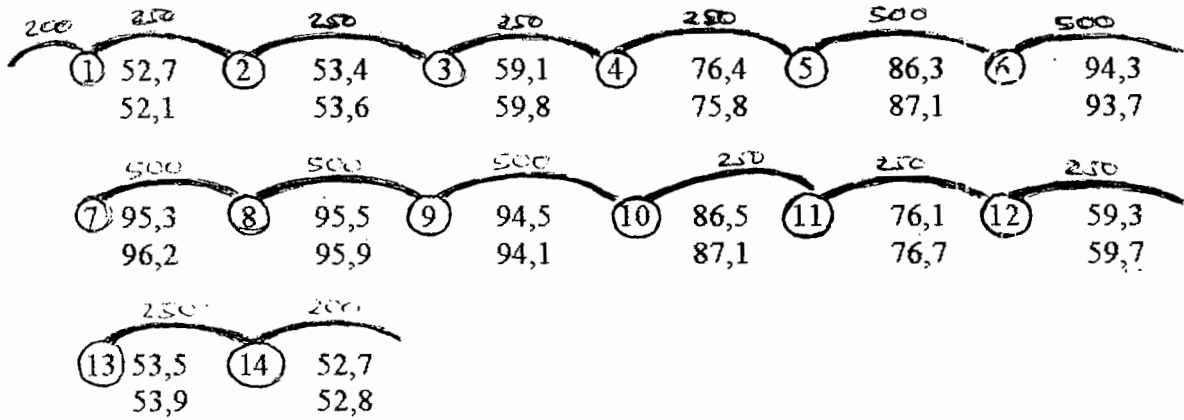
$$= 0,0497 \text{ mm}$$

14. $\frac{48,1}{48,9} + \frac{97,0}{48,5} : 2$ $Hv_{14} = 788,181 \text{ kg/mm}^2$

$$= 0,0485 \text{ mm}$$

$$\text{Rata-rata } Hv = 572,398 \text{ kg/mm}^2$$

8. ARANG KAYU / QUENCH / 900° / 3 JAM



$$\begin{array}{r}
 1. \quad 52,7 \\
 \quad 52,1 \\
 \hline
 \quad 104,8 \\
 \quad : 2 \\
 \hline
 \quad 52,4
 \end{array}$$

$$Hv_1 = 675,222 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,0524 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r}
 2. \quad 53,4 \\
 \quad 53,6 \\
 \hline
 \quad 107,0 \\
 \quad : 2 \\
 \hline
 \quad 53,5
 \end{array}$$

$$Hv_2 = 647,742 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,0535 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r}
 3. \quad 59,1 \\
 \quad 59,8 \\
 \hline
 \quad 118,9 \\
 \quad : 2 \\
 \hline
 \quad 59,45
 \end{array}$$

$$Hv_3 = 524,573 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,05945 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r}
 4. \quad 76,4 \\
 \quad 75,8 \\
 \hline
 \quad 152,2 \\
 \quad : 2 \\
 \hline
 \quad 76,1
 \end{array}$$

$$Hv_4 = 320,140 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,0761 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 5. \quad 86,3 \\ \quad 87,1 \\ \hline \quad 173,4 \\ \quad \quad + \\ \quad 173,4 \\ \hline \quad 86,7 \\ \quad \quad : 2 \end{array}$$

$$Hv_5 = 246,644 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,0867 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 6. \quad 94,3 \\ \quad 93,7 \\ \hline \quad 188,0 \\ \quad \quad + \\ \quad 188,0 \\ \hline \quad 94 \\ \quad \quad : 2 \end{array}$$

$$Hv_6 = 209,823 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,094 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 7. \quad 95,3 \\ \quad 96,2 \\ \hline \quad 191,5 \\ \quad \quad + \\ \quad 191,5 \\ \hline \quad 95,75 \\ \quad \quad : 2 \end{array}$$

$$Hv_7 = 202,223 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,09575 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 8. \quad 95,5 \\ \quad 95,9 \\ \hline \quad 191,4 \\ \quad \quad + \\ \quad 191,4 \\ \hline \quad 95,7 \\ \quad \quad : 2 \end{array}$$

$$Hv_8 = 202,435 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,0957 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 9. \quad 94,5 \\ \quad 94,1 \\ \hline \quad 188,6 \\ \quad \quad + \\ \quad 188,6 \\ \hline \quad 94,3 \\ \quad \quad : 2 \end{array}$$

$$Hv_9 = 208,490 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,0943 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 10. \quad 86,5 \\ \quad 87,1 \\ \hline \quad 173,6 \\ \quad \quad : 2 \\ \quad 86,8 \end{array}$$

$$Hv_{10} = 246,076 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,0868 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 11. \quad 76,1 \\ \quad 76,7 \\ \hline \quad 152,8 \\ \quad \quad : 2 \\ \quad 76,4 \end{array}$$

$$Hv_{11} = 317,631 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,0764 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 12. \quad 59,3 \\ \quad 59,7 \\ \hline \quad 119,0 \\ \quad \quad : 2 \\ \quad 59,5 \end{array}$$

$$Hv_{12} = 523,691 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,0595 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 13. \quad 53,5 \\ \quad 53,9 \\ \hline \quad 107,4 \\ \quad \quad : 2 \\ \quad 53,7 \end{array}$$

$$Hv_{13} = 642,926 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,0537 \text{ mm}$$

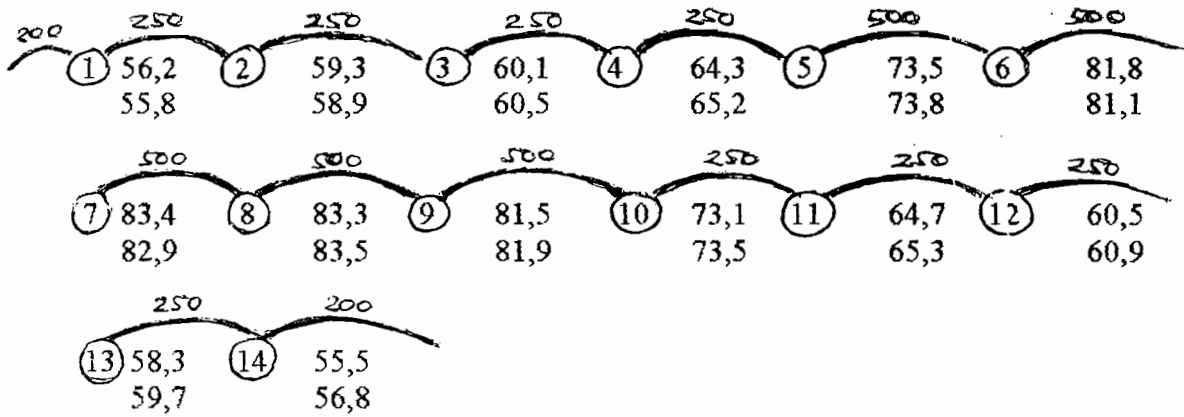
$$\begin{array}{r} 14. \quad 52,7 \\ \quad 52,8 \\ \hline \quad 105,5 \\ \quad \quad : 2 \\ \quad 52,75 \end{array}$$

$$Hv_{14} = 666,292 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,05275 \text{ mm}$$

Rata-rata Hv = 502,422 kg/mm²

9. KAYU / QUENCH / 850° / 3 JAM



1.

$$\begin{array}{r} 56,2 \\ 55,8 \\ \hline 112,0 \\ \hline : 2 \\ \hline 56 \\ = 0,056 \text{ mm} \end{array}$$

Hv₁ = 591,198 kg/mm²

2.

$$\begin{array}{r} 59,3 \\ 58,9 \\ \hline 118,2 \\ \hline : 2 \\ \hline 59,1 \\ = 0,0591 \text{ mm} \end{array}$$

Hv₂ = 530,804 kg/mm²

3.

$$\begin{array}{r} 60,1 \\ 60,5 \\ \hline 120,6 \\ \hline : 2 \\ \hline 60,3 \\ = 0,0603 \text{ mm} \end{array}$$

Hv₃ = 509,888 kg/mm²

4.

$$\begin{array}{r} 64,3 \\ 65,2 \\ \hline \end{array}$$

Hv₄ = 442,211 kg/mm²

$$\frac{129,5}{64,75} : 2$$

$$= 0,06475 \text{ mm}$$

5. $\frac{73,5}{73,8} + \frac{147,3}{73,65} : 2$ $Hv_5 = 341,793 \text{ kg/mm}^2$

$$= 0,07365 \text{ mm}$$

6. $\frac{81,8}{81,1} + \frac{162,9}{81,45} : 2$ $Hv_6 = 279,465 \text{ kg/mm}^2$

$$= 0,08145 \text{ mm}$$

7. $\frac{83,4}{82,9} + \frac{166,3}{83,15} : 2$ $Hv_7 = 268,154 \text{ kg/mm}^2$

$$= 0,08315 \text{ mm}$$

8. $\frac{83,3}{83,5} + \frac{166,8}{83,4} : 2$ $Hv_8 = 266,549 \text{ kg/mm}^2$

$$= 0,0834 \text{ mm}$$

9. $\frac{81,5}{81,9} + \dots$ $Hv_9 = 277,757 \text{ kg/mm}^2$

$$\begin{array}{r} 163,4 \\ \hline 81,7 \\ \hline \end{array} : 2$$

= 0,0817 mm

10.
$$\begin{array}{r} 73,1 \\ 73,5 \\ \hline 146,6 \\ \hline \end{array} +$$

$$\begin{array}{r} 146,6 \\ \hline 73,3 \\ \hline \end{array} : 2$$

Hv₁₀ = 345,065 kg/mm²

= 0,0733 mm

11.
$$\begin{array}{r} 64,7 \\ 65,3 \\ \hline 130,0 \\ \hline \end{array} +$$

$$\begin{array}{r} 130,0 \\ \hline 65,0 \\ \hline \end{array} : 2$$

Hv₁₁ = 438,816 kg/mm²

= 0,065 mm

12.
$$\begin{array}{r} 60,5 \\ 60,9 \\ \hline 121,4 \\ \hline \end{array} +$$

$$\begin{array}{r} 121,4 \\ \hline 60,7 \\ \hline \end{array} : 2$$

Hv₁₂ = 503,190 kg/mm²

= 0,0607 mm

13.
$$\begin{array}{r} 58,3 \\ 59,7 \\ \hline 118 \\ \hline \end{array} +$$

$$\begin{array}{r} 118 \\ \hline 59 \\ \hline \end{array} : 2$$

Hv₁₃ = 532,605 kg/mm²

= 0,059 mm

14.
$$\begin{array}{r} 55,5 \\ 56,8 \\ \hline \end{array} +$$

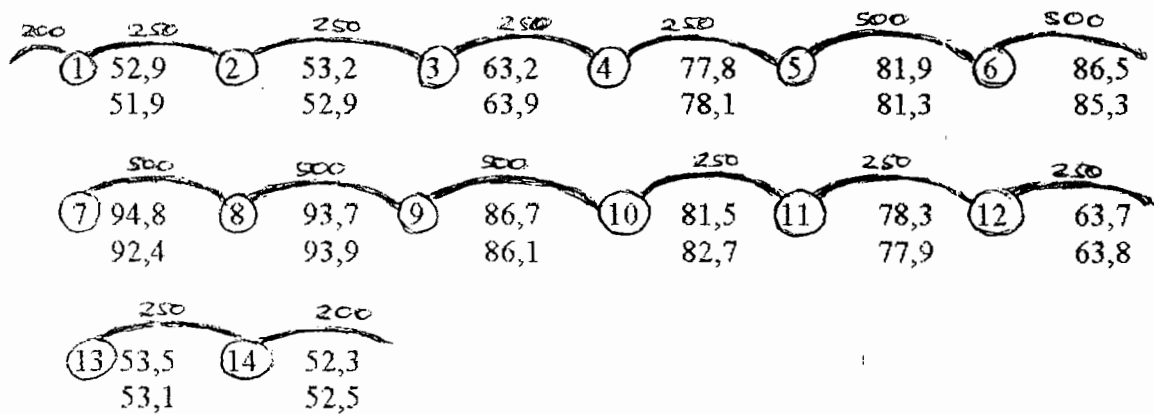
Hv₁₄ = 588,044 kg/mm²

$$\frac{112,3}{56,15} : 2$$

$$= 0,05615 \text{ mm}$$

$$\text{Rata-rata Hv} = 422,538 \text{ kg/mm}^2$$

10. KELAPA / QUENCH / 850° / 3 JAM



1.

$$\begin{array}{r} 52,9 \\ 51,9 \\ \hline 104,8 \\ \hline : 2 \\ \hline 52,4 \end{array}$$

$$= 0,0524 \text{ mm}$$

$$\text{Hv}_1 = 675,222 \text{ kg/mm}^2$$

2.

$$\begin{array}{r} 53,2 \\ 52,9 \\ \hline 106,1 \\ \hline : 2 \\ \hline 53,05 \end{array}$$

$$= 0,05305 \text{ mm}$$

$$\text{Hv}_2 = 658,777 \text{ kg/mm}^2$$

3.

$$\begin{array}{r} 63,2 \\ 63,9 \\ \hline 127,1 \\ \hline : 2 \\ \hline 63,55 \end{array}$$

$$\text{Hv}_3 = 459,069 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,06355 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 4. \quad 77,8 \\ \quad 78,1 \\ \hline \quad \quad + \\ \quad 155,9 \\ \hline \quad \quad : 2 \\ \quad 77,95 \end{array}$$

$$Hv_4 = 305,124 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,07795 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 5. \quad 81,9 \\ \quad 81,3 \\ \hline \quad \quad + \\ \quad 163,2 \\ \hline \quad \quad : 2 \\ \quad 81,6 \end{array}$$

$$Hv_5 = 278,438 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,0816 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 6. \quad 86,5 \\ \quad 85,3 \\ \hline \quad \quad + \\ \quad 171,8 \\ \hline \quad \quad : 2 \\ \quad 85,9 \end{array}$$

$$Hv_6 = 251,260 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,0859 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 7. \quad 94,8 \\ \quad 92,4 \\ \hline \quad \quad + \\ \quad 187,2 \\ \hline \quad \quad : 2 \\ \quad 93,6 \end{array}$$

$$Hv_7 = 211,620 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,0936 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 8. \quad 93,7 \\ \quad 93,9 \\ \hline \quad \quad + \\ \quad 187,6 \\ \hline \quad \quad : 2 \\ \quad 93,8 \end{array}$$

$$Hv_8 = 210,719 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,0938 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r}
 9. \quad 86,7 \\
 \underline{86,1} \quad + \\
 172,8 \\
 \underline{\quad} \quad : 2 \\
 86,4 \\
 \\
 = 0,0864 \text{ mm}
 \end{array}$$

$$Hv_9 = 248,360 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r}
 10. \quad 81,5 \\
 \underline{82,7} \quad + \\
 164,2 \\
 \underline{\quad} \quad : 2 \\
 82,1 \\
 \\
 = 0,0821 \text{ mm}
 \end{array}$$

$$Hv_{10} = 275,057 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r}
 11. \quad 78,3 \\
 \underline{77,9} \quad + \\
 156,2 \\
 \underline{\quad} \quad : 2 \\
 78,1 \\
 \\
 = 0,0781 \text{ mm}
 \end{array}$$

$$Hv_{11} = 303,953 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r}
 12. \quad 63,7 \\
 \underline{63,8} \quad + \\
 127,5 \\
 \underline{\quad} \quad : 2 \\
 63,75 \\
 \\
 = 0,06375 \text{ mm}
 \end{array}$$

$$Hv_{12} = 456,193 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r}
 13. \quad 53,5 \\
 \underline{53,1} \quad + \\
 106,6 \\
 \underline{\quad} \quad : 2 \\
 53,3 \\
 \\
 = 0,0533 \text{ mm}
 \end{array}$$

$$Hv_{13} = 652,612 \text{ kg/mm}^2$$

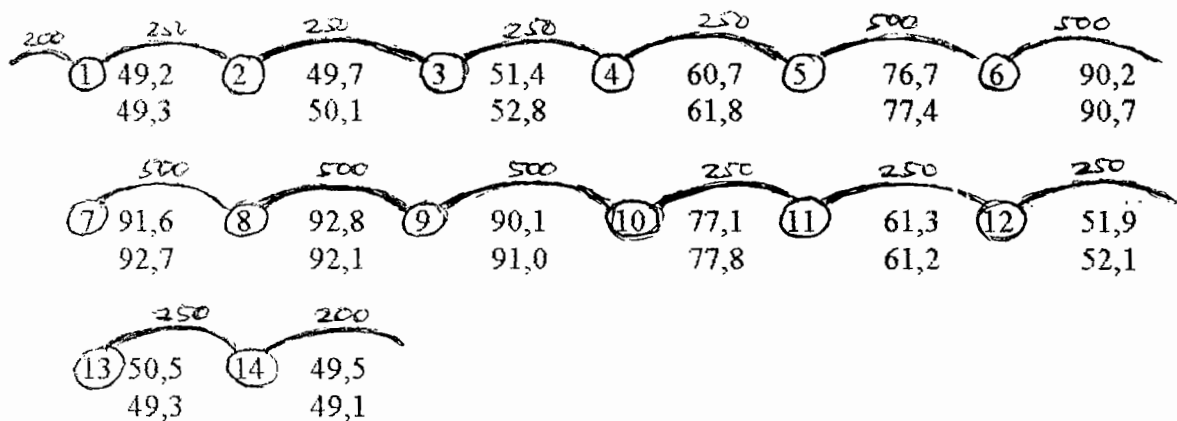
$$\begin{array}{r}
 14. \quad 52,3 \\
 \quad 52,5 \\
 \hline
 \quad + \\
 \quad 102,8 \\
 \hline
 \quad : 2 \\
 \quad 51,25
 \end{array}$$

$$Hv_{14} = 705,865 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,05125 \text{ mm}$$

$$\text{Rata-rata Hv} = 406,590 \text{ kg/mm}^2$$

11. KELAPA / QUENCH / 900° / 3 JAM



$$\begin{array}{r}
 1. \quad 49,2 \\
 \quad 49,3 \\
 \hline
 \quad + \\
 \quad 98,5 \\
 \hline
 \quad : 2 \\
 \quad 49,25
 \end{array}$$

$$Hv_1 = 764,358 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,04925 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r}
 2. \quad 49,7 \\
 \quad 50,1 \\
 \hline
 \quad + \\
 \quad 99,8 \\
 \hline
 \quad : 2 \\
 \quad 49,9
 \end{array}$$

$$Hv_2 = 744,575 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,0499 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r}
 3. \quad 51,4 \\
 \quad 52,8 \\
 \hline
 \quad +
 \end{array}$$

$$Hv_3 = 683,021 \text{ kg/mm}^2$$

$$\frac{104,2}{52,1} : 2$$

$$= 0,0521 \text{ mm}$$

4. $\frac{60,7}{61,8} + \frac{122,5}{61,25} : 2$ $Hv_4 = 494,194 \text{ kg/mm}^2$

$$= 0,06125 \text{ mm}$$

5. $\frac{76,7}{77,4} + \frac{154,1}{77,05} : 2$ $Hv_5 = 312,294 \text{ kg/mm}^2$

$$= 0,07705 \text{ mm}$$

6. $\frac{90,2}{90,7} + \frac{180,9}{90,45} : 2$ $Hv_6 = 226,617 \text{ kg/mm}^2$

$$= 0,09045 \text{ mm}$$

7. $\frac{91,6}{92,7} + \frac{184,3}{92,15} : 2$ $Hv_7 = 218,332 \text{ kg/mm}^2$

$$= 0,09215 \text{ mm}$$

8. $\frac{92,8}{92,1} +$ $Hv_8 = 217,059 \text{ kg/mm}^2$

$$\begin{array}{r} 184,9 \\ \hline : 2 \\ \hline 92,45 \\ \\ = 0,09242 \text{ mm} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 9. \quad 90,1 \\ \quad 91,0 \\ \hline + \\ \quad 181,1 \\ \hline : 2 \\ \quad 90,55 \\ \\ = 0,09055 \text{ mm} \end{array}$$

$$Hv_9 = 226,116 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r} 10. \quad 77,1 \\ \quad 77,8 \\ \hline + \\ \quad 154,9 \\ \hline : 2 \\ \quad 77,45 \\ \\ = 0,07745 \text{ mm} \end{array}$$

$$Hv_{10} = 309,077 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r} 11. \quad 61,3 \\ \quad 61,2 \\ \hline + \\ \quad 122,5 \\ \hline : 2 \\ \quad 61,25 \\ \\ = 0,06125 \text{ mm} \end{array}$$

$$Hv_{11} = 494,194 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r} 12. \quad 51,9 \\ \quad 52,1 \\ \hline + \\ \quad 104,0 \\ \hline : 2 \\ \quad 52,0 \\ \\ = 0,052 \text{ mm} \end{array}$$

$$Hv_{12} = 685,650 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r} 13. \quad 50,5 \\ \quad 49,3 \\ \hline + \end{array}$$

$$Hv_{13} = 744,575 \text{ kg/mm}^2$$

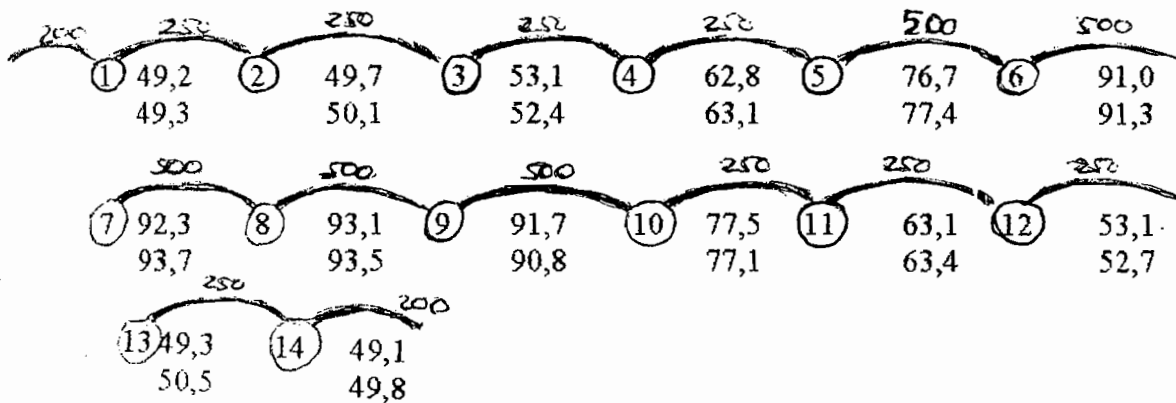
$$\begin{array}{r} 99,8 \\ \hline : 2 \\ \hline 49,9 \\ \hline = 0,0499 \text{ mm} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 14. \quad 49,5 \\ 49,1 \\ \hline + \\ \hline 98,6 \\ \hline : 2 \\ \hline 49,3 \\ \hline = 0,0493 \text{ mm} \end{array}$$

$$Hv_{14} = 762,809 \text{ kg/mm}^2$$

$$\text{Rata-rata Hv} = 481,633 \text{ kg/mm}^2$$

12. KELAPA / QUENCH / 950° / 3 JAM



$$\begin{array}{r} 1. \quad 49,2 \\ 49,3 \\ \hline + \\ \hline 98,5 \\ \hline : 2 \\ \hline 49,25 \\ \hline = 0,04925 \text{ mm} \end{array}$$

$$Hv_1 = 764,358 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r} 2. \quad 49,7 \\ 50,1 \\ \hline + \\ \hline 99,8 \\ \hline : 2 \\ \hline 49,9 \end{array}$$

$$Hv_2 = 744,575 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,0499 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 3. \quad 53,1 \\ \underline{52,4} \quad + \\ 105,5 \\ \underline{\quad} \quad : 2 \\ 52,75 \end{array}$$

$$Hv_3 = 666,292 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,05275 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 4. \quad 62,8 \\ \underline{63,1} \quad + \\ 125,9 \\ \underline{\quad} \quad : 2 \\ 62,95 \end{array}$$

$$Hv_4 = 467,862 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,06295 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 5. \quad 76,7 \\ \underline{77,4} \quad + \\ 154,1 \\ \underline{\quad} \quad : 2 \\ 77,05 \end{array}$$

$$Hv_5 = 312,294 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,07705 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 6. \quad 91,0 \\ \underline{91,3} \quad + \\ 182,3 \\ \underline{\quad} \quad : 2 \\ 91,15 \end{array}$$

$$Hv_6 = 223,149 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,09115 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 7. \quad 92,3 \\ \underline{93,7} \quad + \\ 186,0 \\ \underline{\quad} \quad : 2 \\ 93,0 \end{array}$$

$$Hv_7 = 214,360 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,093 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 8. \quad 93,1 \\ \quad 93,5 \\ \hline \quad + \\ \quad 186,6 \\ \hline \quad : 2 \\ \quad 93,3 \end{array}$$

$$Hv_8 = 212,983 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,0933 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 9. \quad 91,7 \\ \quad 90,8 \\ \hline \quad + \\ \quad 182,5 \\ \hline \quad : 2 \\ \quad 91,25 \end{array}$$

$$Hv_9 = 222,660 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,09125 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 10. \quad 77,5 \\ \quad 77,1 \\ \hline \quad + \\ \quad 154,6 \\ \hline \quad : 2 \\ \quad 77,3 \end{array}$$

$$Hv_{10} = 310,277 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,0773 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 11. \quad 63,1 \\ \quad 63,4 \\ \hline \quad + \\ \quad 126,5 \\ \hline \quad : 2 \\ \quad 63,25 \end{array}$$

$$Hv_{11} = 463,434 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,06325 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r} 12. \quad 53,1 \\ \quad 52,7 \\ \hline \quad + \\ \quad 105,8 \\ \hline \quad : 2 \\ \quad 52,9 \end{array}$$

$$Hv_{12} = 662,519 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 0,0529 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{r}
 13. \quad 49,3 \\
 \quad 50,5 \\
 \hline
 \quad 99,8 \\
 \quad \quad : 2 \\
 \hline
 \quad 49,9 \\
 \\
 = 0,0499 \text{ mm}
 \end{array}$$

$$Hv_{13} = 744,575 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{array}{r}
 14. \quad 49,1 \\
 \quad 49,8 \\
 \hline
 \quad 98,9 \\
 \quad \quad : 2 \\
 \hline
 \quad 49,45 \\
 \\
 = 0,04945 \text{ mm}
 \end{array}$$

$$Hv_{14} = 758,188 \text{ kg/mm}^2$$

$$\text{Rata-rata Hv} = 483,394 \text{ kg/mm}^2$$

