CARBURIZING OF LOW CARBON STEEL

TUGAS AKHIR

No. : 248 / FT.USD / TM / JUNI / 2003

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat sarjana S-1

Program Studi Teknik Mesin
Jurusan Teknik Mesin

Diajukan Oleh :

AGHATA LILIK W.H.

NIM : 99 5214 102
NIRM : 990051123109120102

Kepada

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANATA DHARMA
YOGYAKARTA

2003

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

CARBURIZING OF LOW CARBON STEEL

NAMA :**AGHATA LILIK W.H.**
NIM : **99 5214 102**
NIRM : **990051123109120102**

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal 21 November 2003

Susunan Dewan Penguji

Pembimbing Utama

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

Pembimbing Kedua

Ir. YB. Lukiyanto, M.T.

Anggota Dewan Penguji

Ir. Greg. Harjanto

Ir. Rines, M.T.

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

Tugas Akhir ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Yogyakarta, 2 Desember 2003
Fakultas Teknik
Universitas Sanata Dharma
Yogyakarta
Dekan

Ir. Greg. Harjanto

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 2 Desember 2003

Aghata Lilik W.H.

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

TUGAS AKHIR PROGRAM S-1 JURUSAN TEKNIK MESIN

Nomor : 248/ FT_USD / TM / Juni / 2003

Diberikan kepada :

Nama Mahasiswa : Aghata Lilik Wahyu H

Nomor Mahasiswa : 995214102

NIRM : -

Jurusan : TEKNIK MESIN

Fakultas : TEKNIK

Matakuliah : Logam Fisis & Mekanis

Judul / naskah soal :

Pengaruh penahanan Karbunising (1,3,5 jam) dengan arang kelapa pada baja karbon ren terhadap sifat-sifat mekanisnya.

Tanggal dimulai : 25 Maret 2003

Yogyakarta, 25 Juni 2003
Dosen Pembimbing Utama

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

Pembimbing Kedua

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 : 248 FT_USD TM Juni 2003

Diberikan kepada :

Nama Mahasiswa : Aghata Lilik Wahyu H

Nomor Mahasiswa : 995214102

NIRM : -

Jurusan : TEKNIK MESIN

Fakultas : TEKNIK

Matakuliah : Logam Fisis & Mekanis

Judul / naskah soal :

Pengaruh penahanan Karbunising (1,3.5 jam) dengan arang kelapa pada baja karbon rendah terhadap sifat-sifat mekanisnya.

Tanggal dimulai : 25 Maret 2003

Pembimbing Utama : Budi Setyahandana,S.T.,M.T.
Pembimbing Kedua :

NO	TGL	URAIAN	KETERANGAN	TANDA TANGAN
1	26 -6-03	Prosedur penelitian Lab.		Yhandw
2		Bab I - III	Revisi sesuai contoh	Yhandw
3		Bab I - III	Ok	Yhandw
4		Hasil penelitian	Perbaiki Hitung Graf.	Yhandw
5		Kesimpulan	Perbaiki	Yhandw
6		Naskah keseluruhan	Acc ujian	Yhanw
7				
8				

Kupersembahkan Hasil Karyaku Ini Kepada :

Tuhan Yesus Kristus Bapaku

Ibuku Fransiska Romana Sukeksi

Kakak-kakakku (Hartono (Alm), Hardjani, Hardino, Harmini, Haryono, Harjono (Alm), Hargono, Harsono, Hardono)

Adikku Pipik Wahyu H

Keponakanku (Nur, Dwi, Putri, Ayu, Brian, Billy, Audi, Dian, Valent, Yuda, Refa, Dori, Mega)

Teman-temanku

Almamaterku (FT, USD)

Segala perkara dapat kutanggung di dalam Dia (Kristus) yang memeberi kekuatan padaku (Filipi iv.13)

If the sun still shining from east then just belive that your dream will be come true

Everybody in this world have problem,,,,,Don't you ever say "God,,,,I have big problem" But say "problem,,,,I have a bigest God"

KATA PENGANTAR

Puji syukur yang teramat tulus kepada Tuhan Yang Maha Kasih atas rahmat yang dianugerahkan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini yang merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

Terwujudnya penulisan Tugas Akhir ini bukan semata-mata atas usaha penulis sendiri, melainkan berkat bantuan dari berbagai pihak baik yang berupa dorongan, motivasi, bimbingan, sarana dan materi. Oleh karena itu sudah sepantasnya penulis menghaturkan terima kasih kepada yang terhormat :

1. Bapak Ir. Greg. Harjanto selaku Dekan Fakultas Teknik Sanata Dharma Yogyakarta
2. Bapak Budi Setyahandana, S.T.,M.T., selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Segenap dosen dan karyawan jurusan teknik mesin FT-USD yang telah membimbing dalam masa-masa kuliah.
4. Mas Martono selaku pegawai Laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan TA ini.
5. Ibuku tercinta, *all my brother and sister*.
6. Niken, Onie cute, Diah, Santi, Riwil, Nadia (makasih buat supportnya), Friska (makasih komputernya), Ivanty, Luv & Flow, Encis, Pipit, Novi,

Nia, Nana dan anak-anak kost Alex & mas Heru kalian adalah penghibur hati yang lara.

7. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu secara langsung maupun tak langsung.

Usaha yang penulis lakukan sudah semaksimal mungkin, namun penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis menerima saran dan kritik yang bersifat membangun demi kemajuan yang akan datang.

Semoga penulisan tugas akhir ini dapat memberikan tambahan wawasan ilmu pengetahuan dan teknologi yang berguna bagi semua pembaca.

Yogyakarta, 25 Oktober 2003

Penulis

ABSTRACT

This research was aimed to compare of carburizing low carbon steel and uncarburizing low carbon steel (original specimen). The carburizing agent used were charcoal coconut shell with soda and pure calcium.

Carburizing process using carburizing pack was one where material inserting into heat resisting box containing solid carbonize medium, low carbon steel was entrapped with the carbonize medium covering. Carburizing pack wich readily included to the oven at 900°C with period variation were 1, 3 and 5 hours. Product of the carburizing and the original specimen initially conducted hardness test (Brinell), microstructure analysis and tensile test.

The results show that there were increasing hardness and tensile strength, and decreasing stretching and contraction in the carburized specimen compared to the original specimen. This improvement occur because more much the diffusion carbon in each increasing holding time of carburizing.

INTI SARI

Penelitian ini dimaksudkan untuk membandingkan pengaruh karburising pada baja karbon rendah dengan baja karbon rendah yang tidak dikarburising (spesimen mula-mula). Bahan karburising digunakan arang tempurung kelapa dengan bahan tambahan soda makan dan kalsium murni.

Proses karburising menggunakan pack karburising yaitu benda dimasukkan kedalam sebuah kotak yang tahan panas dan berisi media pengkarbon padat, baja karbon rendah dikelilingi atau dibungkus lapisan media pengkarbon. Pack karburising yang sudah siap dimasukkan kedalam oven pada suhu 900°C dengan variasi waktu 1 jam, 3 jam dan 5 jam. Hasil karburising dan spesimen mula-mula dilakukan pengujian kekerasan, analisis struktur mikro dan pengujian tarik.

Hasil pengujian menunjukkan terjadinya peningkatan kekerasan dan kekuatan tarik, dan penurunan regangan pada spesimen yang dikarburising jika dibandingkan dengan spesimen mula-mula. Peningkatan tersebut terjadi karena karbon yang berdifusi semakin banyak pada setiap peningkatan waktu penahanan karburising.

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
Halaman Pernyataan	iii
Halaman Soal	iv
Halaman Konsultasi	v
Halaman Persembahan	vi
Kata Pengantar	vii
Abstrak	ix
Intisari	x
Daftar Isi	xi
Daftar Gambar	xv
Daftar Tabel	xvii
Daftar Notasi	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Batasan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Metodologi Penelitian	2

BAB II DASAR TEORI 4

2.1. Produksi Baja 4

2.2. Macam-macam Baja 5

2.2.1. Baja Karbon 5

2.2.2. Baja Paduan 7

2.2.3. Baja Paduan untuk Konstruksi Mekanik 9

2.2.3.1. Pengaruh Unsur Paduan Dalam Baja 12

2.2.4. Baja Paduan Rendsah 14

2.2.5. Baja Tahan Karat 15

2.2.6. Baja Perkakas 16

2.2.7. Baja Mesin 17

2.2.8. Baja Spesial 17

2.3. Sifat Baja 18

2.4. Diagram Fasa Besi-Karbon 19

2.5. Pengujian Bahan 22

2.5.1. Perlakuan Panas 22

2.5.1.1. Quanching atau Hardening 23

2.5.1.2. Tempering 23

2.5.1.3. Normalising 25

2.5.1.4. Annealing 26

2.5.2. Cara Meningkatkan Kualitas Baja Dengan Chemical Heat Treatments 27

2.5.2.a. Carburizing/karburising 27

2.5.2.b. Nitriding 32

2.5.2.c. Cyniding dan Carbonitriding 33

2.5.2.d. Diffusion Ceating 34

2.6. Macam-macam Pengujian Bahan 35

2.6.1. Pengujian Tanpa Merusak Bahan 35

2.6.2. Pengujian Dengan Merusak Bahan 37

2.6.2.1. Pengujian Kekerasan 37

2.6.2.1.1. Pengujian Kekerasan Brinnel 37

2.6.2.1.2. Pengujian Kekerasan Vickers 40

2.6.2.1.3. Pengujian Rockwell 42

2.6.2.2. Pengujian Tarik 44

2.6.3. Pengujian Analisis Struktur Mikro 49

BAB III METODE PENELITIAN 51

3.1. Skema Penelitian 51

3.2. Bahan 52

3.3. Bentuk Spesimen 52

3.4. Proses Perlakuan Panas 55

3.5. Proses Pelaksanaan Karburising 55

3.6. Pengujian Bahan 57

3.6.1. Pengujian Kekerasan Brinell 57

3.6.2. Analisis Struktur Mikro 59

3.6.3. Pengujian Tarik 62

BAB IV DATA PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 63

4.1. Pengujian Kekerasan Brinell 63

4.1.1. Pembahasan Pengujian Kekerasan 66

4.2. Pengamatan Struktur Mikro 68

4.2.1. Pembahasan Analisa Struktur Mikro 71

4.3. Pengujian Tarik 72

4.3.1. Pembahasan Pengujian Tarik 75

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 81

5.1. Kesimpulan 81

5.2. Saran 82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Metallographi dan Baja 6

Gambar 2.2. Diagram Fe-C 8

Gambar 2.3. Pengaruh temperatur penemperan pada sifat-sifat mekanik dari baja martensit yang ditemper 10

Gambar 2.4. Diagram Fase Fe-Cr 16

Gambar 2.5. Diagram Keseimbangan Besi-Karbon 21

Gambar 2.6. Kurva Tegangan Dengan Regangan Pada Pengujian Tarik 48

Gambar 3.1. Skema Penelitian 51

Gambar 3.2. Bentuk Spesimen Uji Kekerasan 52

Gambar 3.3. Bentuk Spesimen Uji Tarik 53

Gambar 3.4. Pack Karburising 54

Gambar 3.5. Oven 50

Gambar 3.6. Lap Mikrometer 57

Gambar 3.7. Alat Uji Brinell 58

Gambar 3.8. Alat Analisa Struktur Mikro 60

Gambar 3.9. Pemeriksaan benda yang sudah dietsa 61

Gambar 3.10. Alat Uji Tarik 62

Gambar 4.1. Grafik pengaruh waktu karburising terhadap kekerasan pada suhu 900oC 66

Gambar 4.2. Struktur Mikro pada Spesimen Mula-mula 69

Gambar 4.3. Struktur Mikro pada Dinding Spesimen Mula-mula 69

Gambar 4.4. Struktur Mikro pada Spesimen Karburising 1 jam 70

Gambar 4.5. Struktur Mikro pada Spesimen Karburising 3 jam 70

Gambar 4.6. Struktur Mikro pada Spesimen Karburising 5 jam 71

Gambar 4.7. Grafik Kekuatan Tarik 76

Gambar 4.8. Grafik Tegangan Patah 77

Gambar 4.9. Grafik Regangan Patah 78

Gambar 4.10. Hal Patahan Spesimen dan Uji Tarik 79

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Klasifikasi Baja Menurut SAE dan AISI 11

Tabel 2.2. Tabel Benda Uji Brinell 39

Tabel 2.3. Tabel Benda Uji Vickers 41

Tabel 4.1. Nilai Kekerasan untuk Spesimen Mula-mula 64

Tabel 4.2. Nilai Kekerasan untuk Spesimen Karburising 1 jam 64

Tabel 4.3. Nilai Kekerasan untuk Spesimen Karburising 3 jam 65

Tabel 4.4. Nilai Kekerasan untuk Spesimen Karburising 5 jam 65

Tabel 4.5. Hasil Rata-rata Pengujian Kekerasan 66

Tabel 4.6. Hasil Pengujian Tarik untuk Spesimen Mula-mula 74

Tabel 4.7. Hasil Pengujian Tarik untuk Spesimen Karburising 1 jam 74

Tabel 4.8. Hasil Pengujian Tarik untuk Spesimen Karburising 3 jam 74

Tabel 4.9. Hasil Pengujian Tarik untuk Spesimen Karburising 5 jam 75

Tabel 4.10. Hasil Rata-rata Pengujian Tarik 75

DAFTAR NOTASI

σ_U = Kekuatan Tarik (kg/mm^2)

σ_B = Tegangan Patah (kg/mm^2)

P_U = Beban maksimum (kg)

P_B = Beban patah (kg)

A_O = Luas penampang awal (mm^2)

ε = Regangan (%)

ΔL = Pertambahan panjang benda uji (mm)

L_O = Panjang awal benda uji (mm)

Ψ = Reduksi penampang (%)

A_f = Luas penampang setelah pengujian tarik (mm)

P = Beban yang diterapkan (kg)

D = Diameter bola penetrator (mm)

d = Diameter bekas injakan atau penekanan (mm)

HB = Angka kekerasan Brinell

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Penerapan teknologi dalam negara-negara industri semakin kreatif karena tuntutan perkembangan jaman yang mempengaruhi keanekaragaman kebutuhan manusia saat ini, oleh karena itu manusia dituntut untuk semakin produktif dalam mengolah hasil alam. Teknologi itu sendiri didefinisikan, "Ilmu yang mempelajari bagaimana cara mengubah/mengerjakan bahan yang disediakan oleh alam menjadi barang jadi atau setengah jadi".

Penggunaan besi dan baja perlu memperhatikan adanya berbagai pertimbangan misalnya, pertimbangan kekuatan dan sifatnya yang cocok untuk memikul beban, daya besar, putaran tinggi dan dapat menyangga beban yang bekerja bervariasi dari rendah sampai tinggi.

Melihat kenyataan diatas maka disadari bahwa sumber daya manusia harus semakin kreatif dan produktif untuk menghasilkan produk yang lebih variatif. Terdapat prinsip pertimbangan ekonomis "semurah mungkin, asalkan benda jadi tetap memiliki kemampuan untuk memenuhi tuntutan fungsinya". Yang juga tidak kalah penting dalam pemilihan bahan kerja ialah masalah kelestarian lingkungan.

Penulis dalam tugas akhir ini melakukan penelitian proses karburising terhadap bahan baja karbon rendah dengan bahan pengkarbon berupa arang kelapa. Bahan mula-mula dan bahan yang dikarburising

tersebut di uji tarik, di uji kekerasan menurut Brinell dan analisis struktur mikro. Hasil pengujian yang terkaburasi dibandingkan terhadap benda mula-mula.

1.2 Batasan Masalah

Agar lebih jelas dan mempermudah pemahaman, penulis memberikan batasan-batasan masalah sebagai berikut :

1. Bahan yang digunakan adalah baja karbon rendah.
2. Dilakukan perlakuan panas normalizing dengan suhu 900°C pada semua spesimen.
3. Karburising menggunakan arang tempurung kelapa 70% dan diberikan bahan tambahan soda makan 20-25%, kalsium 2,5-3% pada suhu 900°C.
4. Dilakukan pengujian tarik, pengujian Brinell dan analisis struktur mikro.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui perubahan kekuatan tarik, kekerasan Brinell dan struktur mikro pada baja karbon rendah setelah melalui proses karburising dengan variasi waktu penahanan 1 jam, 3 jam dan 5 jam.

IV. Metodologi Penelitian

1. Studi Literatur

Mempelajari literatur yang berhubungan dengan penelitian ini.

2. Konsultasi

   Melakukan wawancara dengan pihak-pihak yang memiliki pengalaman dalam penelitian logam, misalnya dosen atau mahasiswa yang pernah melakukan penelitian yang sama.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Produksi Baja

Baja merupakan bahan yang paling banyak digunakan dan mempunyai sifat-sifat yang bervariasi, yaitu sifat paling lunak sampai yang mempunyai sifat paling keras. Baja merupakan paduan dari besi dan karbon (zat arang). Besi (Fe) adalah elemen metal dan karbon (C) yang dapat kita peroleh melalui bijih besi hasil dari penambangan dan dilebur dalam dapur tinggi. Besi mentah masih mengandung unsur-unsur yang lain seperti C, Mn, Si, S dan P dan dengan jumlah yang cukup besar. Untuk mendapatkan baja yang sesuai dengan keinginan, maka unsur-unsur tersebut perlu dikurangi karena pembuatan baja dapat diartikan sebagai proses yang bertujuan untuk mengurangi unsur-unsur C, Mn, Si, S dan P dari besi mentah melalui proses peleburan dari dapur tinggi.

Produksi besi mengandung kadar karbon berkisar 1,7 % dan secara teknik dinyatakan sebagai baja karbon (carbon steel). Besi murni atau ferit tidak mengandung karbon dan mempunyai sifat yang liat dan lunak serta mampu tempa. Besi murni dengan penambahan unsur karbon berkisar antara ± 0,05–1,7 % akan menghasilkan baja.

Unsur karbon merupakan salah satu unsur terpenting karena dapat meningkatkan kekerasan, keuletan dan umumnya digunakan untuk teknik dalam bentuk plat, lembaran, pipa, batang, profil dan sebagainya. Unsur

karbon didalam baja mempunyai dampak positif dan negatif (apabila terdapat unsur karbon yang banyak) yaitu dapat menaikkan kekuatan, kekerasan dan mengurangi keuletan.

2,2 Macam-macam Baja

2.2.1 Baja karbon

Baja karbon merupakan salah satu jenis baja yang paling awal dikenal, baja ini dibedakan atas :

1. Baja karbon rendah (< 0,3 % C)

   Baja karbon rendah mempunyai kelas sendiri, terdiri dari baja lunak khusus, baja sangat lunak dan baja lunak. Baja ini biasanya digunakan untuk kawat, baja profil, sekrup, ulir dan baut. Baja karbon rendah memiliki sifat-sifat antara lain mudah dikerjakan dengan mesin, ditempa sehingga juga disebut sebagai baja tempa atau baja mesin.

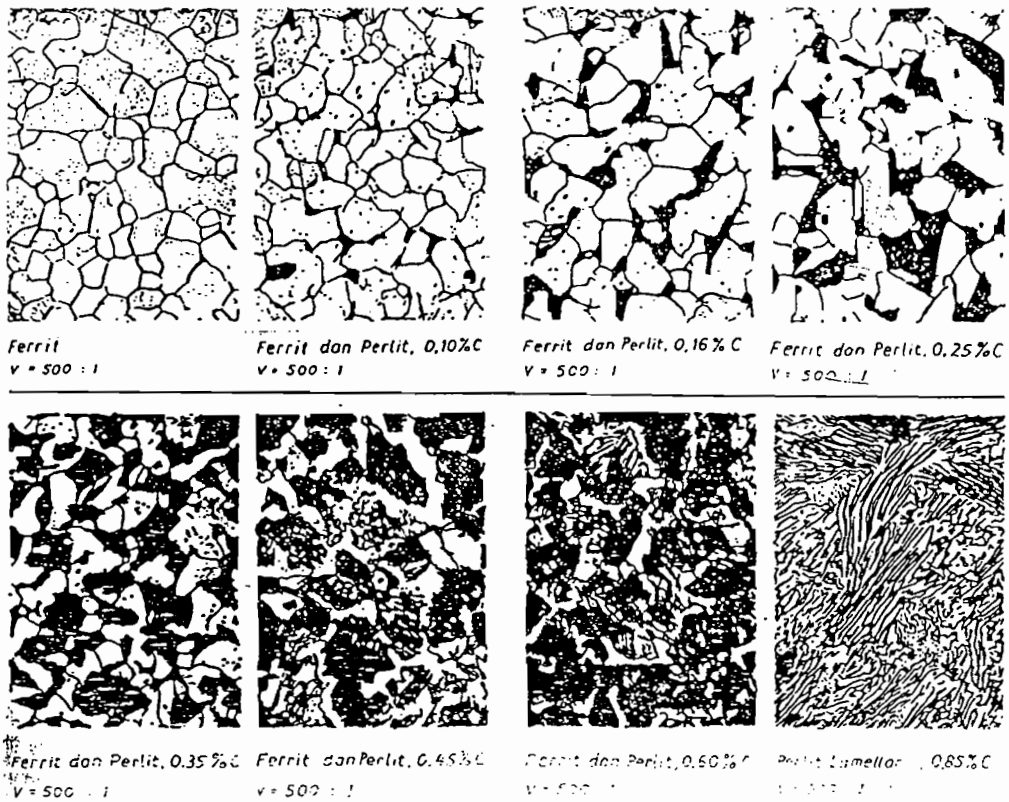
2. Baja karbon sedang (0,3 < C < 0,7 %)

   Baja karbon sedang ini banyak digunakan dalam industri sebagai alat-alat perkakas bagian mesin. Penggunaannya untuk rel kereta api, as, roda gigi dan suku cadang yang berkekuatan tinggi atau dengan kekerasan sedang sampai tinggi.

3. Baja karbon tinggi (0,7 < C < 1,4 %)

   Baja karbon tinggi ini banyak digunakan untuk keperluan yang mengalami perlakuan panas. Baja ini digunakan untuk perkakas

potong seperti pisau, gurdi tap dan bagian-bagian yang harus tahan gesekan.



Gambar 2.1. Gambar metallographi dari baja
Sumber : Suroso.Ant, Sudibyo.S, Ilmu Logam, ATMI, hal 25

Dengan naiknya kadar karbon (%C), maka bertambah besarlah noda flek hitam (flek perlit), bersama itu berkuranglah flek puith (ferrit = besi murni). Pada saat kadar karbon mencapai 0,85%, maka besi dalam keadaan jenuh terhadap karbon. Struktur seperti itu disebut perlit lamellar, yaitu campuran yang sangat halus, dan berbentuk batang-batang kristal. Campuran kristal tersebut terdiri dari ferrit dan sementit. Jadi, jika kadar karbon

bertambah besar, sementit akan berkurang dan flek-flek perlit akan bertambah. kadar karbon mencapai jenuh jika sudah sebesar 0,85% dengan demikian kekerasan baja akan bertambah.

2.2.2 Baja Paduan

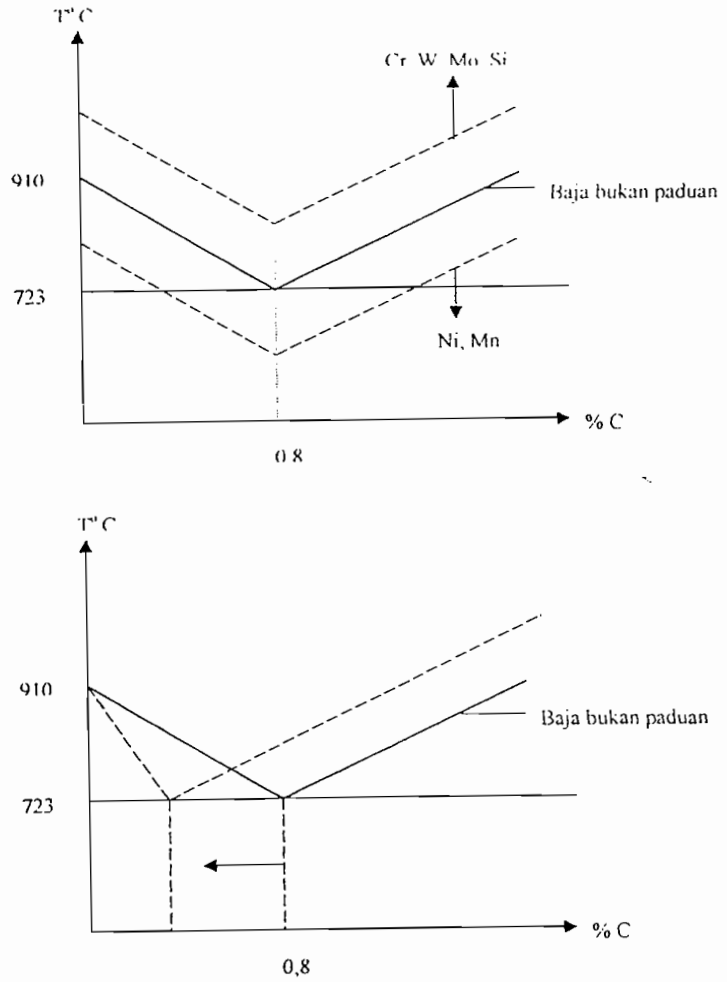
Baja paduan yang meliputi kurang lebih 15 % dari seluruh produksi baja, mempunyai kegunaan khusus karena sifatnya yang unggul dibanding dengan baja karbon dan dibagi atas :

1. Baja paduan rendah (jumlah unsur paduan khusus < 8%)
2. Baja paduan tinggi (jumlah unsur paduan khusus > 8 %)

Baja paduan mempunyai kelebihan sebagai berikut :

1. Mempunyai mampu keras yang baik meskipun berukuran besar dapat dikeraskan sampai dalam, sehingga tidak perlu pendinginan yang cepat pada pengerasannya, jadi dengan penemperan dapat diperoleh struktur yang lebih baik.
2. Keuletan yang tinggi tanpa mengurangi kekuatan tarik.
3. Tahan terhadap korosi dan keausan, tergantung pada jenis paduan.
4. Tahan terhadap perubahan suhu, ini berarti bahwa sifat fisisnya tidak banyak berubah.
5. Memiliki kelebihan dalam sifat-sifat metalurgi, seperti butiran yang halus

   Dipandang dari sudut ilmu bahan, unsur-unsur paduan pada baja akan memberi pengaruh pada :



Gambar 2.2 Diagram Fe–C

a. Perubahan struktur fcc (face centered cubic)–bcc (body centered cubic). Suhu kritis akan berpindah keatas (Cr, W, Mo, Si) atau kebawah (Ni dan Mn). Penyimpangan diagram sebanding dengan kadar unsur-unsur paduan yang terdapat pada baja. Peningkatan cukup banyak kadar Mn dan Ni (12 – 14 %) dapat mengubah suhu kritis bawah, dibawah suhu kamar.

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

c. Kecepatan pendinginan akan lebih lambat.

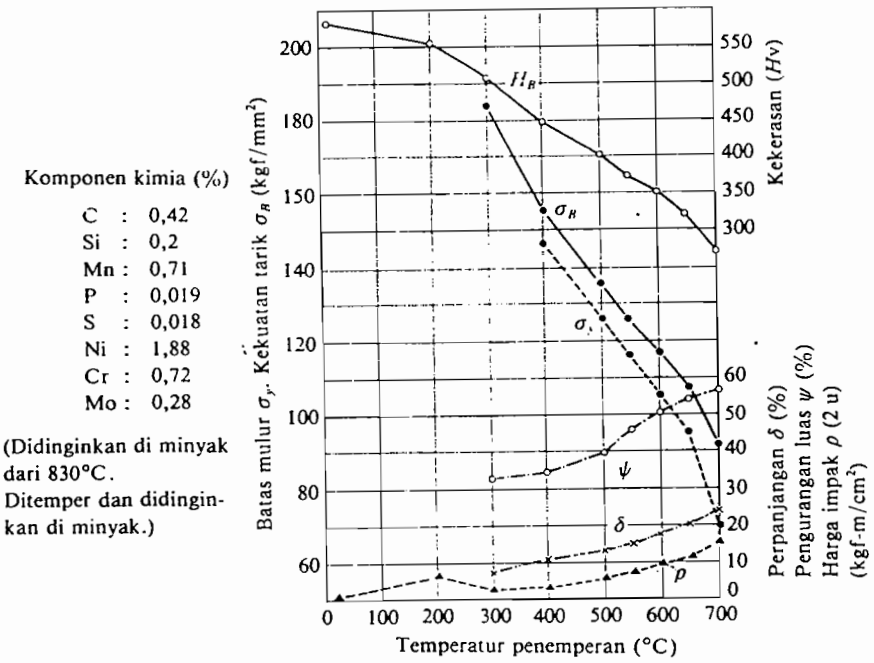
2.2.3 Baja Paduan untuk Konstruksi Mekanik

Sebagai unsur paduan untuk baja paduan yang dipergunakan bagi konstruksi mekanik adalah Ni-Cr, Ni-Cr-Mo, Cr-Mo, dan Mn-Cr.

Kelebihan-kelebihan dari baja paduan adalah :

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

Gambar 2.3 menunjukkan contoh perubahan pada sifat mekanik untuk baja yang ditemper dan dikeraskan. Kekerasan, kekuatan tarik dan kekuatan mulur menurun kalau temperatur tempering meningkat dan harga impak meningkat diantara daerah 200°-300° C. Pada tabel 2.1 dapat dilihat klasifikasi baja paduan.



Gambar 2.3 Pengaruh temperatur penemperan pada sifat–sifat mekanik dari baja martensit yang ditemper

Sumber : Tata Surdia. Pengetahuan Bahan Teknik 1987, hal 84.

Tabel 2.1 Klasifikasi baja menurut SAE dan AISI

Seri	Elemen Tambahan	Seri	Elemen Tambahan
10xx	Baja karbon tanpa S dan P	48xx	Ni : 3,50 % Mo : 0,25 %
11xx	Baja karbon dengan S	51xx	Cr : 0,8 %
12xx	Baja karbon dengan S dan P	5145xx	Corrosion and resisting steel
13xx	Mn : 1,6 - 1,9 %	515xx	Corrosion and resisting steel
23xx	Ni : 3,50 %	52xx	Cr : 1,5 %
25xx	Ni : 5,00 %	61xx	Cr : 0,78 % V : 0,13 %
31xx	Ni : 1,25 % Cr : 0,60 %	86xx	Ni : 0,55 % Cr : 0,50 % Mo : 0,20 %
32xx	Ni : 1,75 % Cr : 1,00 %	87xx	Ni : 0,55 % Cr : 0,50 % Mo : 0,25 %
33xx	Ni : 3,50 % Cr : 1,50 %	88xx	Ni : 0,55 % Cr : 0,50 % No : 0,25 %
34xx	Ni : 3,00 % Cr : 0,80 %	92xx	Mn : 0,80 % Si : 2,00 %
303xx	Corrosion and heat resisting steels	93xx	Ni : 3,25 % Cr : 1,20 % Mo : 0,12 %
40xx	Mo : 0,25 %	94xx	Mn : 0,95 – 1,25 % Ni : 0,45 % Cr : 0,40 % Mo : 0,20 %
41xx	Cr : 1,00 % Mo : 0,2 %	97xx	Ni : 0,55 % Cr : 0,17 % Mo : 0,20 %
43xx	Ni : 1,83 % Cr : 0,80 % Mo : 0,25 %	98xx	Ni : 1,00 % Cr : 0,80 % Mo : 0,25 %
46xx	Ni : 1,75 % Mo : 0,25 %		

2.2.3.1 Pengaruh Unsur Paduan Dalam Baja

1. Unsur paduan Sulfur (S) dan Phospor (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 menyolok. Unsur mangan dalam proses pembuatan baja berfungsi sebagai deoksider (pengikat O_2) sehingga proses peleburan dapat berlangsung secara baik. Kadar mangan rendah dapat juga menurunkan kecepatan pendingin kritis.

3. Unsur paduan Nikel (Ni)

   Unsur nikel memberi pengaruh yang sama, yaitu menurukan suhu kritis dan kecepatan pendinginan kritis. Apabila kadar Ni cukup

banyak maka akan menjadikan baja *austenit* pada suhu kamar. Ni membuat struktur butiran halus 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 pendingin 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 karbon akan membentuk karbide 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 karbide dalam baja yang akan menaikkan kekerasan, kemampuan potong dan daya tahan aus baja. Unsur-unsur ini juga memberikan daya 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.

2.2.4 Baja Paduan Rendah

Baja paduan rendah mengandung unsur-unsur paduan sebagai elemen tambahan pada Fe dan C. Unsur paduan tersebut dapat berupa Mn, Ni, Cr, Mo, Si dan lain-lain. Umumnya kandungan masing-masing elemen paduan adalah meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja serta memperbaiki sifat-sifat baja.

Unsur-unsur paduan baja dapat digolongkan :

1. Membuat baja menjadi lebih kuat dan ulet dan bereaksi dengan Fe seperti Mn, Cr, dan Mo
2. Membuat baja lebih keras yang bereaksi dengan C seperti Cr, W, Mo, dan V.

2.2.5 Baja Tahan Karat

Salah satu cacat pada penggunaan baja adalah terjadinya karat, yang biasanya dicegah dengan menggunakan pelapisan dan pengecatan. Baja tahan karat adalah semua baja yang tidak tahan karat.

Baja tahan karat ada empat macam :

1. Baja tahan karat martensit

   Baja tahan karat martensit mempunyai unsur 12-13 % Cr dan 0,1-0,3 % C.

   Baja ini sukar berkarat di udara, banyak dipakai untuk alat potong perkakas.

2. Baja tahan karat ferit

   Baja mempunyai unsur–unsur Cr sekitar 16-18 % atau lebih dan pada lingkungan korosi yang ringan tidak terjadi karat. Banyak digunakan untuk trim mobil bagian dalam peralatan dapur dan bahan untuk bagian dalam dari suatu konstruksi.

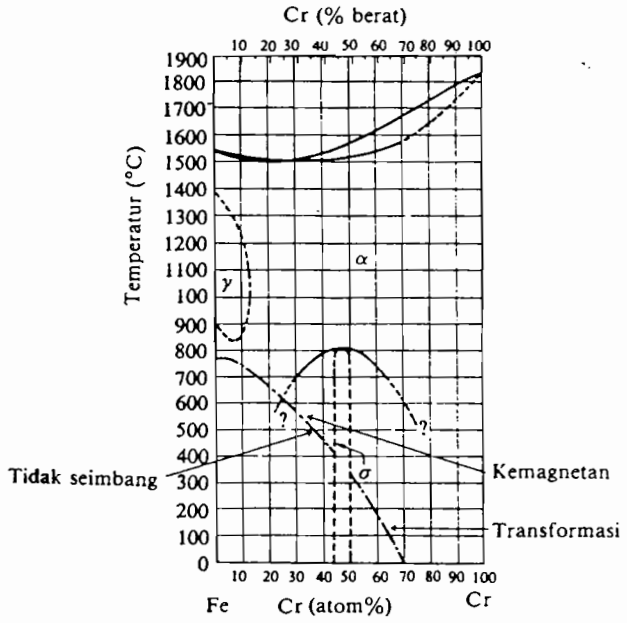
3. Baja tahan karat austenit

   Unsur–unsur yang terdapat di dalamnya 18% Cr – 8% Ni, digunakan untuk turbin mesin jet, mobil dan industri kimia.

4. Baja tahan karat tipe pengerasan presipitasi

   Struktur baja tahan karat, mempunyai unsur Cr yang menjadi komponen utama, diagram fase Fe–Cr ditunjukan dalam gambar 2.3. Cr dapat larut dalam besi memperluas daerah α (*ferit*). Dalam baja dengan 12% pada temperatur diatas 900°C terjadi fase γ (*austenit*).

Dalam paduan yang nyata, C dan N juga terkandung jadi fasa γ diperluas ke daerah yang mempunyai konsentrasi Cr lebih tinggi. Baja tahan karat 12% Cr bisa dipakai, diaustenitkan dari 900° sampai 1000°C tergantung kadar C nya, dan celup dingin pada minyak. Sehingga mempunyai struktur martensit sehingga menjadi baja tahan karat.



Gambar 2.4 Dagram fasa Fe – Cr
Sumber : Tata Surdia. Pengetahuan Bahan Teknik 1987, hal 102.

2.2.6 Baja Perkakas

Baja perkakas mengandung unsur-unsur Mo, W, Cr dan V dengan jumlah yang cukup besar sehingga baja menjadi lebih keras terhadap keausan.

Baja perkakas pada umumnya mempunyai syarat-syarat sebagai berikut :

1. Kemampuan terhadap beban kejut dan impak.
2. Mempunyai kekuatan dan kekerasan pada suhu tinggi.
3. Mempunyai ketahanan terhadap keausan dan gesekan.

2.2.7 Baja Mesin

Baja yang digunakan untuk konstruksi mesin, seperti poros, kopling, pasak dan roda gigi. Kadar karbon yang terdapat didalam baja mesin lebih tinggi dari pada baja konstruksi, maka baja mesin sulit diubah bentuknya. Baja mempunyai regangan yang lebih rendah dan tidak begitu mudah dilas, tetapi mudah dikeraskan.

2.2.8 Baja Spesial

Baja yang digunakan untuk maksud-maksud tertentu seperti :

1. Baja tahan terhadap suhu rendah

   Baja tahan karat austenitik banyak digunakan untuk baja yang suhunya rendah dan dapat juga menggunakan bahan nikel atau paduan nikel.

2. Baja tahan terhadap suhu tinggi

   Penggunaan dalam suhu tinggi (950°-1100° C) dapat dipilih baja tahan karat austenik, tetapi pada temperatur 1100° C kekuatannya menurun drastis.

3. Baja kekuatan sangat tinggi

   Baja yang mempunyai kekuatan mulur diatas 1000 MPa dan mempunyai kekuatan tarik diatas 2000 MPa.

2.3 Sifat Baja

Baja yang banyak digunakan tentunya baja yang mempunyai sifat-sifat sebagai berikut :

1. Malleability/dapat ditempa.

   Logam ini dapat dengan mudah dibentuk dengan suatu gaya, baik dalam keadaan dingin maupun panas tanpa terjadi retak, misalnya dengan hammer ataupun dengan rol.

2. Ductility/dapat ditarik /ulet

   Logam dapat dibentuk dengan tarikan tanpa menunjukkan gejala putus.

3. Toughness/ketangguhan

   kemampuan suatu logam untuk dibengkokkan beberapa kali tanpa mengalami retak.

4. Hardness/kekerasan

   Ketahanan suatu logam terhadap penetrasi atau penusukan logam lain.

5. Strength/kekuatan

   Kemampuan suatu logam untuk menahan gaya yang bekerja atau kemampuan logam menahan deformasi.

6. Weldability/mampu mesin

   Kemampuan logam untuk dapat dilas, baik dengan las listrik maupun dengan las karbid atau gas.

7. Corrosion resistance/tahan korosi

   Kemampuan suatu logam untuk menahan korosi atau karat akibat kelembaban udara, zat-zat kimia dan lain-lain.

8. Machinability/mampu mesin

   Kemampuan suatu logam untuk dikerjakan dengan mesin, misalnya dengan mesin bubut, mesin frais dan lain-lain.

9. Elasticity

   Kemampuan suatu logam untuk kembali ke bentuk semula tanpa mengalami deformasi plastik atau permanen.

10. Britlleness/kerapuhan

    Sifat logam yang mudah retak dan pecah, sifat ini berhubungan erat dengan kekerasan atau hardness dan merupakan kebalikan dari ductility.

2.4 Diagram Fasa Besi–Karbon

Gambar 2.5 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 unsur pengotor lain seperti P, S, dan sebagainya. Karena unsur-unsur ini tidak memberikan pengaruh utama kepada diagram fasa tersebut, 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 dari pada *sementit*. Pada besi cor kestabilan tersebut merupakan pertanyaan, hal ini akan dibahas kemudian, yang dibahas disini adalah fasa diagram Fe–Fe_3C. Titik-titik penting pada diagram ini adalah:

A : Titik cair besi.

B : Titik pada cairan yang ada hubungannya dengan reaksi *peritektik.*

H : Larutan pada δ yang ada hubungan dengan reaksi *peritektik*, kelarutan maksimum adalah 0,10%.

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

N : Titik transformasi dari besi δ dan ke besi γ, titik transformasi A_4 dari besi murni.

C : Titik *eutektik*, 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 *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%

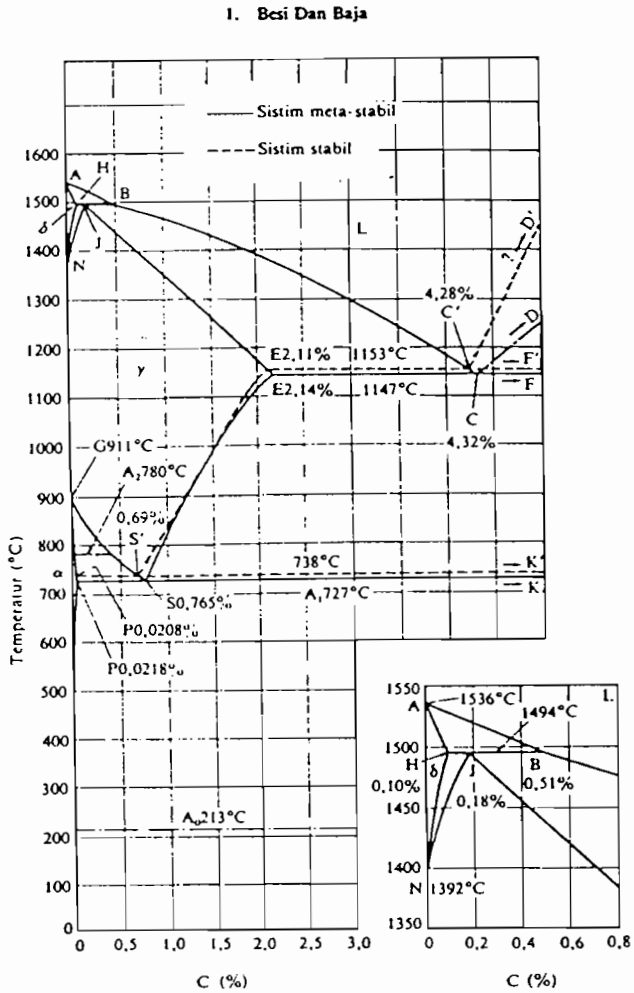
S : Titik *eutektoid.* Selama pendinginan, ferit pada komposisi P dan sementit pada komposisi K terbentuk simultan dari austenit pada komposisi S. reaksi *eutektoid* ini dinamakan reaksi A_1 dan fasa *eutektoid* ini disebut perlit.

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 dengan hubungan temperatur dengan komposisi, dimana mulai dari terbentuk *sementit* dari *austenit*, dinamakan garis A_{cm}.

A_2 : Titik transformasi *magnetic* untuk besi atau ferit.

A_0 : Titik transformasi *magnetic* untuk sementit.



Gambar 2.5 Digram Keseimbangan Besi–Karbon
Sumber : Tata Surdia. Pengetahuan Bahan Teknik 1987 hal 70.

2.5 Pengujian Bahan

Pengujian bahan dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat bahan seperti :

1. Sifat mekanis
2. Sifat fisik
3. Sifat kimia

Pengujian mekanis dapat dibedakan menjadi dua yaitu pengujian yang bersifat tidak merusak benda uji (non destruktif) dan pengujian yang bersifat merusak benda uji (destruktif) seperti uji tarik, uji geser, uji impak, uji lengkung, uji kelelahan dan uji kekerasan.

2.5.1 Perlakuan Panas

Perlakuan panas pada baja dimaksudkan untuk memberikan sifat-sifat yang lebih baik dengan proses baja dipanaskan sampai suhu tertentu dalam waktu tertentu, serta proses pendinginannya dengan cara tertentu pula. Pemanasan baja menggunakan dapur yang pada umumnya berupa dapur listrik, dapur gas atau dapur minyak.

Perlakuan panas pada baja dapat berupa :

1. Quenching atau Hardening
2. Tempering
3. Normalising
4. Annealing

2.5.1.1 Quenching atau Hardening

Meningkatkan kekuatan mekanik atau kekerasan dilakukan dengan pengolahan panas, caranya dengan memanaskan pada suhu tertentu (diatas suhu kritis), dipertahankan pada temperatur tertentu, kemudian didinginkan secara cepat. Setelah diquenching akan diperolah struktur martensit yang dapat membuat baja menjadi lebih keras, tetapi perlakuan ini menaikkan internal stress, sehingga baja menjadi getas (brittle). Media yang digunakan sebagai pendinginan adalah air, air garam, soda, oli, dan minyak. Perlakuan ini bertujuan untuk membuat baja menjadi keras. Daerah quenching baja dapat dilihat pada gambar 2.6.

2.5.1.2 Tempering

Baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh, untuk itu dilakukan perlakuan panas untuk memperbaiki sifat rapuh tersebut. Tempering adalah jenis perlakuan panas dengan tujuan untuk menurunkan kekerasan, mengurangi tegangan dalam.

Melalui temper, kekerasan, dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun pula sedang keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Proses temper seperti terlihat pada gambar 2.7, terdiri dari pemanasan kembali dari baja yang telah dikeraskan pada suhu dibawah suhu kritis, disusul dengan pendinginan. Meskipun proses ini menghasilkan baja yang lebih lunak, proses ini berbeda dengan proses anil.

Temper pada suhu rendah antara 150°-230° C tidak akan menghasilkan penurunan kekerasan yang berarti, karena pemanasan akan menghasilkan tegangan dalam terlebih dahulu. Bila suhu temper meningkat, martensit terurai lebih cepat dan sekitar 315° C perubahan fasa menjadi martensit temper menjadi lebih cepat.

Proses temper terdiri dari presipitasi penggumpalan atau pertumbuhan sementit. Pengendapan sementit terjadi pada suhu 315° C diiringi dengan penurunan kekerasan. Peningkatan suhu akan mempercepat penggumpalan karbida, sementara kekerasan turun terus.

Unsur paduan berpengaruh banyak atas temper, pengaruhnya menghambat laju pelunakan sehingga baja temper akan memerlukan suhu temper yang lebih tinggi untuk mencapai kekerasan tertentu. Pada proses temper perlu diperhatikan suhu maupun waktu. Meskipun pelunakan terjadi pada saat-saat pertama setelah suhu temper tercapai, selama pemanasan (yang cukup lama) terjadi penurunan kekerasan, biasanya baja dipanaskan pada suhu tertentu kemudian dibiarkan sampai suhu merata.

Perlakuan panas pada baja keras pada temperatur dibawah titik kritis untuk waktu tertentu kemudian didinginkan secara pelan-pelan. Pendinginan dilakukan bukan di dalam dapur tetapi di luar dapur dengan laju pendinginan 150°-200° C per jam. Perlakuan panas ini biasanya dilakukan pada baja yang sudah mengalami quenching.

2.5.1.3 Normalising

Baja setelah mengalami pengerjaan tempa atau pengerjaan rol memiliki struktur butiran kasar akibat dari pemanasan lebih, sebelum menjalani proses pemanasan pelunakan, baja tersebut lebih dahulu harus menjalani proses pemanasan normalisasi agar terbentuk struktur yang betul. Pemanasan normalisasi adalah memanaskan baja di atas titik ubah-atas. Benda kerja dipanaskan secara pelan sampai temperatur pemanasan normalisasi yang terletak antara 20°C sampai 30°C di atas temperatur pengerasan, ditahan sebentar dan kemudian didinginkan dengan tenang.

Perlakuan panas ini bertujuan memperbaiki atau menghilangkan struktur butiran kasar atau ketidak seragaman sruktur didalam baja. Dengan kata lain, pemanasan normalisasi bertujuan membawa kembali struktur baja keadaan normal dan dengan demikian memperbaiki keuletan baja.

Penyebab dari ketidak seragaman struktur dapat berasal dari,

- Pengerjaan rol atau tempa
- Pengerjaan las atau pengerjaan potong dengan nyala api
- Temperatur pengerasan yang terlalu tinggi
- Menahan terlalu lama di daerah austenit

Pada semua perlakuan panas, jika baja berada di daerah austenit dengan temperatur tinggi atau ditahan lama, maka baja tersebut akan berstruktur butiran kasar. Penyebab lain dari ketidak seragaman struktur adalah pengerjaan bentuk dingin, misalnya pengepresan, penarikan atau

perlubangan tekan. Ketidak seragaman tersebut terjadi akibat pembentukan struktur yang plastis satu arah.

2.5.1.4 Annealing

Pada perlakuan panas *annealing*, baja dipanaskan sampai suhu tertentu dan kemudian mendinginkan sampai suhu kamar. Pemanasan dilakukan pada suhu 30°-50°C diatas garis GSE pada diagram Fe–C. Baja hypoeutectoid dipanaskan 30 sampai 50°C diatas garis GS, sedangkan baja hypereutectoid dipanaskan 30 sampai 50°C diatas garis SE pada diagram Fe–C. Dengan perlakuan panas annealing maka baja akan menjadi lebih liat.

Tujuan utama dari anil proses adalah pelunakan sehingga baja yang keras dapat dikerjakan melalui permesinan 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 anil proses tergantung pada komposisi dan laju pemanasan ditentukan oleh bentuk dan variasi ukuran profil, harus diusahakan agar suhu merata. Apabila suhu *annealing* telah merata maka baja didiamkan beberapa lama, biasanya dipergunakan waktu 45 menit baja dengan ketebalan 25 mm pada penampang yang paling besar. Agar kekerasan minimal dan keuletan maksimal maka laju pendinginan.

2.5.2 Cara meningkatkan kwalitas baja dengan Chemical Heat Treatments:

Chemical heat treatments adalah proses pemanasan baja dan menambah zat-zat tertentu saat pemanasan, kemudian didinginkan. Cara ini akan menaikkan kekerasan permukaan dan lebih tahan terhadap keausan.

Jenis-jenis Chemical Heat Treatments antara lain :

a. Carburizing
b. Nitriding
c. Cyaniding dan Carbonitriding
d. Diffusion Coating

2.5.2.a Carburizing/Karburasi

Prinsip pengerasan permukaan dengan karbon tidak lain hanyalah mendifusikan karbon ke permukaan benda kerja. Dengan proses dihasilkan benda kerja dengan permukaan yang keras akan tetapi memiliki inti dengan keuletan yang tetap tinggi. Proses pengerasan jenis ini juga dipergunakan untuk benda-benda kerja yang memiliki bentuk yang sangat komplex.

Jika suatu benda kerja dipandang dari fungsinya harus memiliki permukaan yang tahan aus dan dengan bagian inti yang ulet tetapi kurang begitu keras, maka sebagai bahan dipakailah baja dengan karbon rendah, yang menurut aturan kadar karbonnya maksimum 0,2%. Setelah mengalami proses pengkarbonan atau juga disebut *zementitasi*, permukaan baja tersebut akan memiliki kadar karbon sebesar 0,9%. Kelebihan karbon ini diperoleh dari media pengkarbonan yang ditempatkan disekelilingnya, hasil yang

diperoleh : bagian permukaan memiliki kekerasan yang sangat tinggi dibandingkan bagian inti tidak mengalami penambahan kekerasan yang berarti karena rendahnya kadar karbon.

Sebelum menjalani proses pengkarbonan, benda kerja harus sudah selesai pengerjaannya. Permukaan benda juga harus dibersihkan dahulu, misalnya dari karat, fat, atau elemen-elemen lain dapat menimbulkan nyala api.

Jikalau ada bagian permukaan yang dikehendaki tidak bertambah keras, maka bagian permukaan tersebut dilapisi dulu dengan tembaga atau dengan pelapis yang lain (pasta tahan api). Sesudah proses pengkarbonan, bagian yang telah dilapisi tersebut dapat dihilangkan. Bagian dibawah bahan pelapis tetap lunak

Pengkarbonan berlangsung pada temperatur diatas titik A_{c1} (titik ubah-atas). Daerah temperaturnya antara 850°-950°C. Karbon dari media pengkarbonan diterima oleh *austenit* yang berstruktur *fcc*. Karbon-karbon tersebut kemudian bergerak ke arah inti secara difusi dengan perlahan-lahan. Kecepatan difusi akan bertambah bersama naiknya temperatur.

Waktu pengkarbonan pada prinsipnya ditentukan berdasarkan ketebalan lapisan yang diinginkan (sesuai dengan kebutuhan pemakaian) Seharusnya pengkarbonan ini tidak terlalu dalam mengingat kekerasan yang dihasilkan 0,1 mm per jam maka harus disesuaikan dengan ukuran spesimen.

Bagian-bagian yang berdinding tipis hendaknya dikarbon sampai kedalaman yang akhirnya dinding tipis tersebut masih mempunyai sifat yang ulet selebar 2/3 dari tebal dinding.

Ada beberapa proses media pengkarbonan antara lain :

A. Pengkarbonan dengan media padat (pack carburizing)

Cara pengkarbonan ini adalah cara yang paling tua dan sampai ini masih dianggap sebagi cara yang paling praktis. Benda kerja dimasukkan kedalam sebuah kotak yang tahan panas dan berisi pengkarbonan padat. Benda kerja tersebut dikeliling atau dibungkus lapisan media pengkarbonan yang tebalnya minimum 3 cm.

Media pengkarbonan padat berupa butiran-butiran arang bakar atau kokas dengan garis tengah kira-kira 3 mm ditambah soda makan atau sodium carbonat 20 sampai 25% dan kalsium atau kalsium carbonat 2,5 sampai 3,5% sebagai katalisator. Kotak yang dipakai disamping tahan panas juga harus ditutup dengan rapat agar karbon tidak keluar dengan sia-sia.

Butiran-butiran media pengkarbonan tersebut memberikan karbon, yang kemudian memasuki permukaan benda kerja pada temperatur pengkarbonan, kira-kira 900°C.

Dalamnya pengkarbonan tergantung pada lamanya kotak yang berisi benda kerja didalam oven. Sebagai rumus patokan kasar untuk tebalnya lapisan pengkarbonan adalah sebagai berikut: setiap 1 jam didalam oven menghasilkan lapisan keras setebal 0,1 mm. Jika

ketebalan lapisan pengkarbonan sudah dicapai, maka kotak carburising lalu dikeluarkan dari oven dan dibiarkan dingin sendiri di udara.

Kerugian dari cara pengkarbonan jenis ini :

a. Penanganan kotak karburising cukup sukar, karena kotak tersebut tidak boleh bocor.
b. Cukup banyak debu yang terjadi.
c. Waktu yang dibutuhkan untuk memanaskan seluruh kotak tergolong lama.
d. Kadang-kadang pengkarbonan berlangsung tidak merata terutama pada kotak karburising yang besar.

B. Pengkarbonan dengan media cair (cyaniding)

Cara pengkarbonan ini berasal dari cairan garam, sebagai pembawa karbon di dalam cairan ini dipergunakan cyanid yang pada umumnya Natriumcyanid (NaCN).

Garam tersebut disamping sangat beracun juga mengandung nitrogen (N) seperti diperlihatkan oleh rumus kimianya sendiri. Oleh sebab itu, disamping terjadi pengkarbonan, tidak dapat dihindarkan proses masuknya nitrogen didalam baja.

Kadar nitrogen pada lapisan permukaan benda kerja akan semakin tinggi jika temperatur bak cyaniding semakin rendah dan jika kadar cyanid semakin tinggi.

Karena kapasitas panas dari cairan garam dan pemindahan panas ke benda kerja sangat besar, maka pemanasannya berlangsung sangat

cepat. Pengkarbonan didalam bak garam dipakai untuk kedalaman sampai 0,5 mm.

Sebagai rumus patokan kasar : pengkarbonan pada temperatur 850°C diperoleh lapisan keras setebal kurang lebih 0.1 mm untuk setiap pencelupan benda kerja ke dalam bak cyaniding selama 20 menit.

C. Pengkarbonan dengan media gas

Proses pengkarbonan ini berlangsung didalam atmosfer karbon yang harus dibuat lebih dahulu.

Untuk membuat gas pengkarbonan diperlukan gas yang secara khusus harus dipersiapkan lebih dahulu. Gas pengkarbonan terdiri dari gas pembawa yang dicampur dengan gas aktif.

Dikenal dua cara pembuatan atmosfer karbon :

1. Dengan alat pengurai dibuat gas pembawa dengan tambahan gas propana sebagai gas aktif.

   Gas pembawa dibuat dari methanol yang diuraikan ,

   Di dalam alat pengurai yang bertemperatur 950°C methanol cair disemprotkan, pada temperatur yang tinggi ini terurai menjadi bentuk gas yang terdiri dari 33% gas CO dan 66% uap air. Campuran gas tersebut kemudian didinginkan dengan cepat sehingga sebagian uap air mengembun. Gas yang telah dikurangi kadar uap airnya dialirkan ke dalam oven yang temperaturnya 900°C. dengan sendirinya kadar CO menjadi lebih rendah karena gas memuai. Agar kadar karbon dalam gas cukup untuk

pengkarbonan, maka ke dalam dapur juga dimasukkan gas propana.

Jumlah gas propana yang dipakai sebagai gas aktif tersebut diatur berdasarkan titik jenuh.

2. Cara tetesan.

   Methanol dan Ethylacetat diteteskan ke dalam oven yang bertemperatur pengkarbonan. Methanol yang terurai berfungsi sebagai gas pembawa, sedangkan Ethylacetat berfungsi sebagai gas karbon (gas aktif).

   Pengukuran potensi karbon juga berdasarkan titik jenuh.

2.5.2.b Nitriding

Proses pengerasan permukaan baja dengan menambahkan Nitrogen yang dapat diperoleh dari gas amoniak (NH_3), temperatur yang diperlukan berkisar antara 480 samapi 650°C. Pada temperatur ini amoniak terurai

$$NH_3 \rightarrow 2N + 3H_2$$

Atom Nitrogen ini akan berdifusi ke dalam besi

Baja hasil nitriding mempunyai kekerasan sangat tinggi dan tahan terhadap korosi. Biasanya digunakan pada baja paduan C sedang dan baja yang mengandung Al, Cr, Mo, dan elemen-elemen lain yang membentuk Nitrida (Fe_2N, Fe_4N, Cr_2N, Mo_3N, dan lain-lain).

2.5.2.c Cyaniding dan Carbonitriding

Proses pengerasan permukaan yang menggunakan penambahan Nitrogen. Kedalaman penetrasi 0,1 sampai 0,2 mm. Proses ini dapat menaikkan kekerasan permukaan, tahan gesek dan batas lelah terutama digunakan pada elemen mesin yang berukuran sedang dan kecil seperti roda gigi, piston, pin, poros dan lain-lain.

Bahan :

a. Bubuk, berupa campuran batu bara 60 sampai 80% *ferrocyanida* ($K_4Fe(CN)_6$) 20 sampai 40%.

b. Cairan, berupa garam netral (Na_2CO_3, NaCl) atau Natrium (sodium) dan kalsium cyanida (NaCN, Ca $(CN)_2$)

Ada 3 jenis variasi temperatur :

1. Cyaniding pada temperatur rendah (550°-600°C)
   - 25 – 40 % Sodium Cyanide (NaCN)
   - 20 – 45 % Sodium Carbonate (Na_2CO_3)
   - 10 - 20 % Sodium Choride (NaCl)

   Lama/waktu : 5–3 menit tergantung kedalaman penetrasi. Banyak digunakan untuk baja HSS karena dapat menaikan umur alat iris.

2. Cyaniding pada temperatur sedang (800°-850°C)

   (NaCN) Cairan Sodium Cyanide 20 – 35 %, lama proses 5 – 90 menit.

   Hasil : penetrasi 0,075 – 0,25 mm dengan kandungan 0,6 – 0,8 % C, dan 0,4 -0,05 % N.

3. Cyaniding pada temperatur tinggi (900°–950°C)

- 6 – 10 % Cairan Sodium Cyanide (NaCN)
- 80 – 84 % Sodium Carbonate ($BaCL_2$)
- 10 % Sodium Chloride (NaCl)

Lama/waktu : 1,6 jam

Hasil : baja mengandung 1 – 1,2 % C dan 0,2 – 0,3 % N. Proses ini biasanya diikuti dengan *Quenching* dan *tempering* pada temperatur rendah (160 -180°C).

Carbonitriding :

Proses pengerasan permukaan ini merupakan kombinasi dari cara pengkarbonan dengan media gas. Tebal lapisannya 0,6 mm ketebalan ini seperti dalam proses *carburizing*. Dalam proses ini Nitrogen berfungsi sebagai elemen paduan untuk permukaan benda kerja yang dikeraskan. Dalam prinsipnya, *carbonitriding* lebih menyerupai *carburizing* daripada *nitriding* karena temperatur untuk perlakuan panas tersebut hampir sama dengan yang dipakai pada carburizing : 700°-900°C sesudah proses *carbonitriding* selesai, benda kerja harus di quenching. Dipakai untuk baja bukan paduan dan baja ringan. Proses ini lebih lambat dari *Cyaniding*.

2.5.2.d Diffusion Coating

Biasa disebut dengan penyemenan, yaitu melapisi permukaaan logam dengan logam lain sehingga mempunyai sifat-sifat yang diinginkan seperti misalnya tahan korosi.

Diffusion coating dapat dilakukan dengan memanaskan bagian yang akan disemen, sekaligus dengan bahan penyemennya kemudian dipertahankan pada suhu tertentu. Bahan penyemenan berupa : Aluminium, Chromium dan lain-lainnya.

Calorosing yaitu pelapisan permukaan baja dengan Aluminium. Biasa dilakukan dalam suhu 850°-900°C sehingga terbentuk Aluminium Oksida (Al_2O_2) pada permukaan baja. Pelapisan ini dapat mencegah adanya oksida pada baja. Aluminium dapat berupa bubuk, cairan atau gas.

Chromising yaitu permukaan baja dengan *chrom* baik berupa padat, cair atau gas. Cara yang paling mudah melakukan *chromising* adalah memasukan baja yang akan dilapisi ke dalam kotak yang berisi *Ferrochrom* 40–45%, *Chamote* 45–50 %, dan *Amonium Cloride* 3 – 5 %. Kemudian dipanaskan sampai 1100°-1150°C selama 10–15 jam.

2.6 Macam–macam Pengujian Bahan

2.6.1 Pengujian tanpa merusak bahan

a. Pengujian ketukan

Tujuannya untuk mengetahui kerusakan benda ataupun mengetahui kualitas suatu bahan diketuk, suaranya didengarkan melalui osilograf. Benda yang retak berbeda dengan benda yang utuh.

- Kekerasannya tinggi suaranya nyaring.
- Keuntungan alat ini sangat sederhana sekali.

b. Pengujian magnafluks : (Magnetografis)

- Tujuannya untuk mengetahui cacat bahan seperti retak, rongga penyusutan dan lain-lain.
- Benda harus bersifat magnet seperti besi dan baja.
- Benda yang akan diselidiki dijadikan magnet terlebih dahulu dengan aliran listrik, serbuk besi halus ditaburkan pada bagian yang diperiksa, bila ada keretakan serbuk besi akan meremukan pada bagian yang terjadi keretakan.

c. Pengujian dengan Sinar-X

Tabung sinar-X mengeluarkan radiasi yang akan melewati logam benda uji dan menimbulkan bayangan pada film photografi yang terletak dibelakang benda uji. Sinar-X akan lebih mudah menembus daerah benda uji berisi rongga udara, cacat, atau retakan akan menghasilkan bayangan yang lebih gelap.

d. Pengujian Sinar-δ

Kemampuannya lebih besar dari sinar- X sehingga mampu menembus logam yang relatif tebal. Sinar ini menembus baja kurang lebih 1,5 cm

e. Pengujian dengan Gelombang Ultrasonik

Gelombang frekuensi tinggi ditambahkan melalui benda uji dengan menggunakan alat yang dapat mengirim dan menerima gelombang suara yang dinamakan " Proba ".

Bila dalam benda uji terdapat cacat, maka suara yang dikirim akan dipantulkan dan diterima kembali oleh Proba.

2.6.2 Pengujian Dengan Merusak Bahan

2.6.2.1.Pengujian kekerasan

Prinsip dasar pengujian kekerasan adalah ketahanan material terhadap deformasi plastis. Sedangkan arti kekerasan adalah daya tahan dari suatu material untuk melawan benda lain yang digoreskan atau ditekankan kepadanya.

Macam – macam kekerasan :

1. Kekerasan Brinell
2. Kekerasan Vickers
3. Kekerasan Rockwell

2.6.2.1.1 Pengujian Kekerasan Brinell

Pengujian kekerasan menurut brinell bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap bola baja yang ditekankan pada permukaan material uji.

Pengertian, notasi, dan satuan besaran :

1. Angka kekerasan Brinell (BHN) adalah hasil bagi dari beban uji (P) dibagi luas permukaan lekukan.

   Bola baja memiliki garis tengah D, sedangkan bekas luka tekan memiliki garis tengah d .

2. Rumus angka kekerasan brinell :

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

Proses pengujian :

1. Bola baja disinggungkan permukaan material uji, kemudian diberi beban tegak lurus terhadap permukaaan tersebut, bebas hentakan (beban kejut) dan secara sedemikian rupa berangsur–angsur sehingga beban uji tercapai dalam waktu 15 detik.

   Lama pengujian (pembebanan uji) untuk :

   - Semua jenis baja 15 detik
   - Metal bukan besi 30 detik

2. Pada umumnya pusat tempat pengujian berjarak sekurang-kurangnya 2d dari tepi material uji dan jarak tempat pengujian yang satu terhadap yang lain sekurang–kurangnya 3d.

   Percobaan harus dilakukan sedemikian rupa, sehingga tidak ada hal–hal yang menyebabkan kelirunya hasil uji, misalnya : tonjolan pada pinggiran luka tekan atau terlemparnya bola uji. Sesudah pengujian dilaksanakan, permukaan material uji bagian bawah sama sekali tidak boleh memperlihatkan tanda–tanda deformasi.

Tabel 2.2 Tabel Benda Uji Brinell
(Sumber : Suroto Ant, Sudibyo S. Ilmu Logam, Diktat ATMI. Hal 16)

Garis tengah bola uji D (mm)	Tebal Material pada tempat pengujian (mm)	Beban P (kg)			
		Baja dan besi tuang $P=30.D^2$	Brons, tembaga keras, kuningan keras $P=10.D^2$	Metal ringan, paduan metal ringan $P=5.D^2$	Metal lunak $P=2,5.D^2$
10	6	3000	1000	500	250
5	3	750	250	125	62,5
2,5	3	187,5	62,5	31,25	15,6

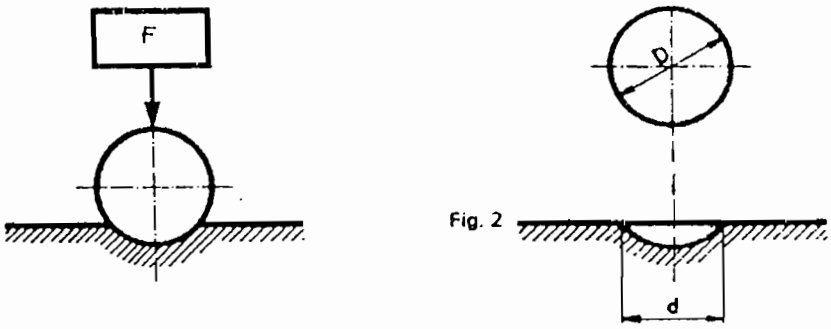


Fig. 2

3. Notasi BHN dilengkapi dengan indeks yang menyatakan syarat-syarat pengujian, yaitu :

   P = beban yang diterapkan, kg

   D = diameter bola, mm

   d = diameter lekukan, mm

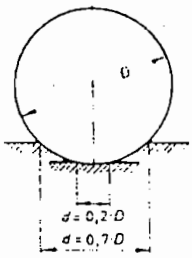
4. Besar beban yang bekerja pada penetrator tergantung pada :

   a. diameter penetrator

   b. jenis logam benda uji

Perlengkapan Pengujian :

1. Benda tekan berupa bola baja yang dikeraskan, jika bola baja mengalami deformasi atau kerusakan, maka hasil pengujian tidak dapat diterima. Bola baja yang rusak tersebut harus diganti dengan yang baru.

2. 

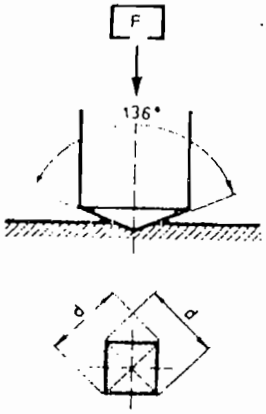
   Beban uji dipilih sedemikian rupa sehingga garis tengah luka tekan d tidak lebih kecil daripada 0,2 x D (d sukar diukur) dan tidak lebih besar dari pada 0,7 x D (penyok ke luar mengganggu pengukuran d).

2.6.2.1.2 Pengujian Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan menurut Vickers bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap diamond/intan berbentuk piramida yang ditekankan pada permukaan material.

Pengertian, notasi dan satuan besaran :

1. Angka kekerasan Vickers (VHN) adalah hasil bagi dari beban uji P dan luas permukaan bekas luka tekan piramida intan D.



Notasi	Arti	Satuan
-	Sudut dalam antara dua bidang mantel piramida (=136°)	°
P	Beban uji	P
D	Panjang diagonal bekas luka tekan	mm
A	Luas permukaan bekas luka tekan	mm^2
-	Angka kekerasan vickers	VHN

2. Rumus angka kekerasan Vickers :

$$\text{VHN} = \frac{P \times 1{,}8544}{D^2}$$

Proses pengujian :

1. Piramida diamond disinggungkan (tegak lurus pada permukaan) material uji. Pembebanan dilaksanakan dalam keadaan bebas hentakan dan bebas getaran sampai tercapai beban P yang dikehendaki. Menurut aturan standar, lama pembebanan uji 15 detik.
2. Pada umumnya pusat tempat pengujian berjarak sekurang–kurangnya 2,5 d dari tepi material uji atau dari pusat tempat pengujian yang lain.

   Jika keadaan material uji memungkinkan biasanya dipilih beban uji yang menghasilkan bekas luka dengan diagonal d sekurang–kurangnya 0,4 mm.

Tabel 2.3 Tabel Benda Uji Vickers
(Sumber : Suroto Ant, Sudibyo S. Ilmu Logam, ATMI hal 18)

Kekerasan Vickers HV	Tebal material uji (mm)									
	Di bawah 0,1	0,1 sampai 0,2	0,2 sampai 0,3	0,3 sampai 0,4	0,4 sampai 0,5	0,5 sampai 0,6	0,6 sampai 0.7	0,7 sampai 1,0	1,0 sampai 1,4	Di atas 1,4
Di bawah 200	-	-	(1)	(1)	(1)	5	5	10	30	50
200...300	-	-	(1)	5	5	10	10	30	50	(100)
300...400	-	(1)	(1)	5	10	10	30	30	(80)	(100)
400...600	-	(1)	5	10	10	10	30	50	(80)	(100)
600...800	-	(1)	5	10	10	30	50	(50)	(100)	(100)
800...1000	-	(1)	10	10	30	50	(80)	(100)	(100)	(100)

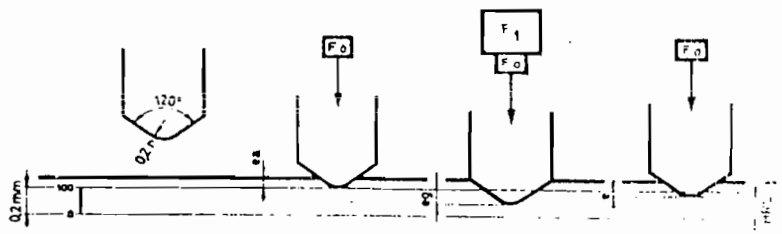
3. Pengujian material tipis :
   a) Beban uji dipilh kecil agar tidak terjadi lubang tembus.
   b) Beban uji dipilih sedemikian rupa sehingga permukaan material uji bagian bawah tidak memperlihatkan tanda–tanda deformasi.

2.6.2.1.3 Pengujian Rockwell

Pengujian kekerasan menurut Rockwell bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap benda penguji (dapat berupa bola baja atau kerucut intan) yang ditekankan pada permukaan material uji. Untuk baja dipakai kerucut intan sebagai benda penguji dan disebut pengujian Rockwell-C (C = cone = tirus), sedangkan untuk material lain dipakai bola baja dan disebut pengujian Rockwell-B (B = ball = bola).

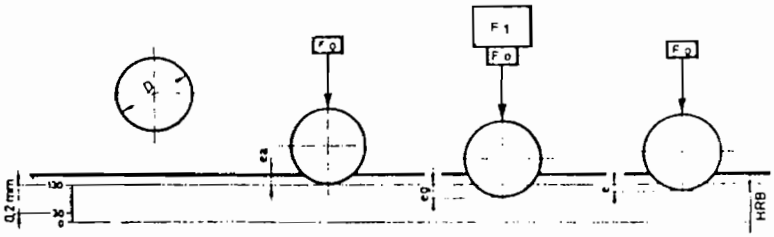
Pengertian, notasi dan satuan besaran :

1. Angka kekerasan Rockwell (HRC atau HRB) adalah selisih antara sebuah konstanta dan dalamnya luka tekan permanen e yang dibagi dengan 0,002 mm.
2. Pengujian dengan kerucut intan (Rockwell –C).



Simbol	Arti	Satuan
-	Sudut Lancip kerucut diamond (= 120°)	°
-	Radius ujung kerucut diamond (=0,2 mm)	mm
F_0	Beban uji awal (=98,1 N)	N
F_1	Bebann uji utama (=1373,4 N)	N
F	Beban uji total (=1471,5 N)	N
ea	Dalamnya luka tekan akibat beban uji awal	mm
eg	Dalamnya luka tekan akibat beban uji utama	mm
e	Dalamnya luka tekan permanen jika beban utama F_1 dihilangkan	mm
-	Angka kekerasan Rockwell-C $= 100 - \frac{e(mm)}{0{,}002mm}$	HRC

3. Pengujian dengan bola baja (Rockwell-B).



Simbol	Arti	Satuan
D	Diameter bola baja ($=\frac{1}{16}$")	Inchi
F_0	Beban uji awal (= 98,1 N)	N
F_1	Beban uji utama (= 882,9 N)	N
F	Beban total (= 98,1 N)	N
ea	Dalamnya luka tekan akibat beban uji awal	mm
eg	Dalamnya luka tekan akibat beban uji utama	mm
e	Dalamnya luka tekan permanen jika beban uji utama F_1 dihilangkan	mm
-	Angka kekerasan Rockwell-B $= 130 - \frac{e(mm)}{0{,}002mm}$	mm

Proses pengujian

1. Benda tekan disinggungkan (tegak lurus pada permukaan) material uji, kemudian ditekan dengan beban awal F_o = 98,1 N dalam keadaan bebas hentakan dan hati–hati agar besarnya beban awal ini tidak dilampui.
2. Dalamnya luka tekan diukur dengan dial indicator yang ketelitiannya 0,002 mm. Sesudah beban awal dicapai, jarum penunjuk dari dial indicator dipasang pada angka 0, pembebanan dilanjutkan dengan beban uji utama F_1 = 1373,4 (Rockwell-C)atau F_1 = 882,9 N (Rockwell-B) yang dicapai dalam waktu 3 sampai 6 detik. Beban uji total $F = F_0 + F_1$ ditahan sampai jarum penunjuk tidak bergerak lagi.
3. Beban uji utama F_1 dihilangkan sehingga material hanya menahan beban uji awal F_0.
4. Pertambahan dalamnya luka tekan permanen e dapat dibaca dari dial indikator. Biasanya skala dial indicator dibuat langsung dengan satuan HRB atau HRC.

2.6.2.2 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan dengan memberikan beban dengan cara ditarik pada batang benda uji secara perlahan–lahan sampai bagian benda uji yang diamati mengecil dan putus. Pada pengujian ini yang diamati adalah batas mulur, kekuatan tarik, pengecilan luas penampang bagian

benda uji yang diamati dan sebagainya. Pembebanan yang terjadi pada pengujian dilakukan dengan cara menambahkan beban secara terus menerus sampai benda uji putus.

I. Untuk mengetahui kekuatan tarik dari bahan yang ditarik memakai rumus

$$\sigma_U = \frac{P}{Ao}\frac{kg}{mm^2}$$

Dengan : σ_U = kekuatan tarik (kg / mm^2)

P = beban (kg)

A_0 = luas penampang awal (mm^2)

II. Tegangan patah dari bahan yang ditarik memakai rumus :

$$\sigma_B = \frac{P}{Ao}\frac{kg}{mm^2}$$

Dengan : σ_B = tegangan patah (kg / mm^2)

P = beban (kg)

A_0 = luas penampang awal (mm^2)

III. Perbandingan antara pertambahan panjang (ΔL) dengan panjang awal benda uji (Lo) disebut regangan (ε).

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{Lo} \times 100\%$$

Dengan : ε = regangan (%)

ΔL = pertambahan panjang (mm)

Lo = panjang awal benda uji (mm)

IV. Perbandingan antara perubahan penampang setelah pengujian dengan sebelum pengujian disebut kontraksi (Ψ), dengan persamaan :

$$\Psi = \frac{(A_0 - A_.)}{A_0}$$

Dengan : Ψ = kontraksi

A_o = luas penampang awal benda uji (mm^2)

A_f = luas penampang setelah pengujian tarik (mm^2)

Hubungan antara tegangan yang timbul σ (σ = F/A) dan regangan yang timbul (ε) selama pengujian dapat dilihat pada gambar 2.9. Penjelasannya sebagai berikut :

σ_P = tegangan proporsional

σ_y = yielding stress (tegangan elastis)

σ_l = tegangan luluh

σ_t = tegangan tarik

σ_B = tegangan patah

ε_X, ε_T, ε_B = masing-masing merupakan regangan pada saat pembebanan berada pada titik X, T, B (XX' // TT' // BB' // PO).

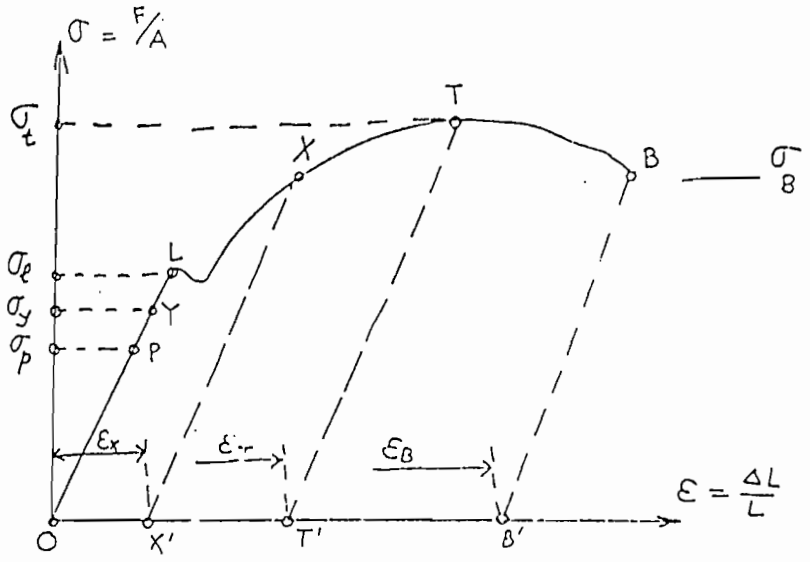
Tegangan pada titik P pada grafik tegangan–regangan disebut σ_P menunjukkan batas dimana hukum Hooke ($\sigma = \varepsilon \times E$) masih berlaku.

Catatan : Hukum Hooke hanya berlaku pada benda-benda yang memiliki batas proporsional seperti baja lunak, sedang pada benda-benda yang tidak

memiliki batas proporsional seperti besi tuang dan tembaga, hukum Hooke tidak berlaku.

Beban tarik diperbesar sampai ke titik Y (ada pertambahan panjang ΔL), kemudian beban diturunkan sampai ke titik O (beban ditiadakan), maka benda uji akan kembali ke panjang semula (L). Tetapi bila pembebanan sudah berada di atas titik Y (dengan pertambahan panjang tertentu), kemudian diturunkan sampai titik O (beban ditiadakan), maka benda uji tidak akan kembali kepanjang semula. Dalam hal ini benda uji telah mempunyai regangan permanen atau disebut pula regangan plastis. Dalam kondisi ini dapat disimpulkan bahwa titik Y merupakan titik batas elastis benda uji dan tegangan pada titik Y disebut tegangan elastis bahan (σ_y).

Tegangan maksimum σ_t merupakan tegangan tertinggi yang dimiliki benda uji sebagai reaksi terhadap beban yang diberikan. Setelah titik T, tegangan turun dan benda uji akhirnya putus pada tegangan σ_B. Selama pembebanan berlangsung pada titik O sampai titik T, diameter benda uji mengecil secara seragam (terjadi pertambahan panjang). Selama pembebanan berlangsung dari titik T sampai titik B, diameter benda uji berubah tidak seragam melainkan terjadi pengecilan setempat lebih cepat dibandingkan tempat-tempat lainnya. Pengecilan diameter setempat ini disebut *"necking"* dan pada akhirnya benda uji putus pada pada daerah necking tersebut.



Gambar 2.6 Kurva tegangan dengan regangan pada pengujian tarik

a. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah ukuran kekakuan suatu bahan. Makin besar modulus elastis, makin kecil regangan elastis yang dihasilkan akibat pemberian tegangan. Gaya ikat antara atom dalam suatu bahan menentukan besar kecilnya modulus elastis pada bahan tersebut. Modulus elastisitas tidak bisa diubah tanpa adanya perubahan mendasar dari sifat bahannya. Sifat ini hanya bisa diubah dengan adanya penambahan paduan, perlakuan panas atau pengerjaan dingin.

b. Batas Proporsional

Batas proporsional adalah tegangan maksimum elastis bahan, jadi jika tegangan-regangan yang dialami suatu bahan tidak melebihi batas proposional, maka bahan tidak mengalami deformasi dan akan kembali kebentuk semula.

Tegangan tarik maksimum adalah beban tarik maksimum yang dapat ditahan material sebelum material itu putus. Tegangan tarik maksimal pada baja lunak berkisar antara 125 MPa sampai dengan 345 MPa.

c. Tegangan Luluh

Tegangan luluh adalah tegangan dimana deformasi plastis atau batas luluh mulai terlihat. Kekuatan luluh adalah tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah kecil deformasi plastis.

d. Ketidakstabilan pada Tegangan Tarik

Penyempitan setempat biasanya mulai terjadi pada beban maksimum dari suatu deformasi tarik logam yang ulet. Suatu bahan plastik ideal, dimana tidak terdapat pengerasan regang, akan menjadi tidak stabil pada saat diberi bahan tarik dan segera menyempit setelah tegangan luluhnya tercapai. Pada saat tegangan patahnya tercapai pada bagian yang menyempit akan putus.

2.7.3 Pengamatan Struktur Mikro

Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari benda uji.

Sebelum benda uji diamati dengan mikroskop logam, benda uji pada bagian permukan yang diamati harus benar–benar rata agar dapat memantulkan sinar dengan baik. Benda uji diamplas kemudian dipoles dan dietsa (dikikis bagian permukaannya dengan bahan kimia). Tujuan etsa

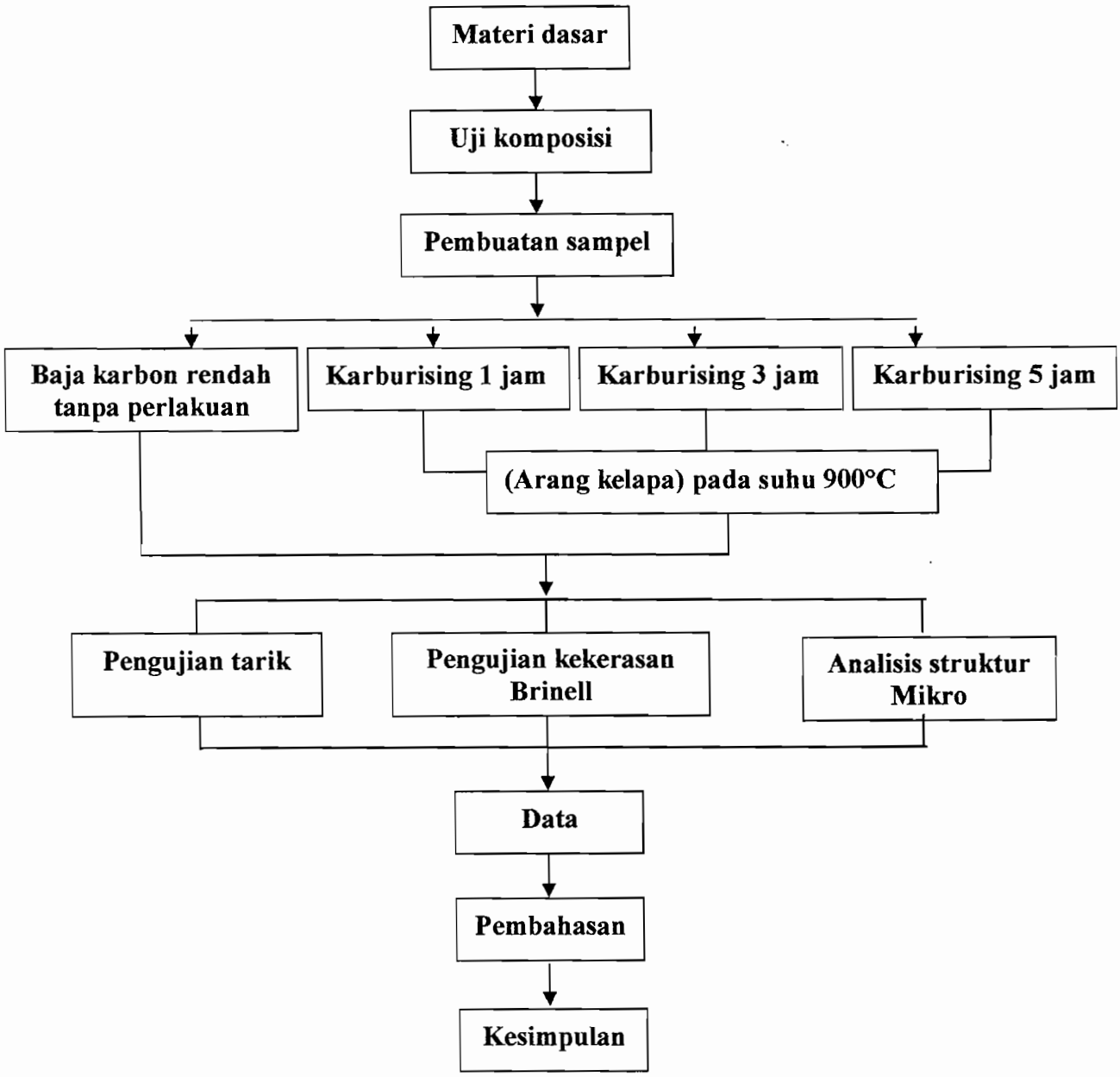
adalah mengkikis batas butir pada permukaan benda uji sehingga sebagian batas butir akan tampak dan komponen-komponen tertentu (fasa–fasa) akan tampak. Zat etsa yang digunakan berbeda–beda tergantung dari jenis logamnya. Untuk baja karbon dan besi cor biasanya digunakan *zat etsa Nital* yaitu campuran *asam nitrat* (HNO_3) dan *alkohol,* dengan perbandingan 1–5 ml HNO_3 pekat dengan 95–99 ml *alkohol.* Foto–foto fasa struktur mikro dari baja sebelum dikarburising dengan sesudah dikarburising dapat dilihat pada bab 4.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Skema Penelitian

Skema penelitian ditujukkan dalam Gambar 3.1 berikut :



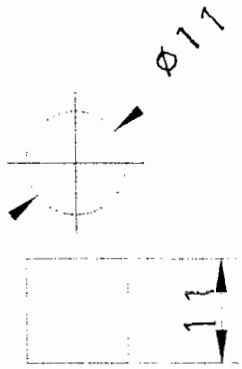
3.2 Bahan

Bahan yang digunakan adalah baja karbon rendah yang dibeli dari Toko Suryo Prayatno, Jln Mas Suharto Yogyakarta.

3.3 Bentuk Spesimen

Bentuk spesimen yang dipakai dalam penelitian ini pada dasarnya ada dua jenis yaitu :

1. Untuk uji kekerasan Brinell dan foto struktur mikro, bentuk dan ukuran spesimen seperti yang digambarkan dalam gambar 3.2.

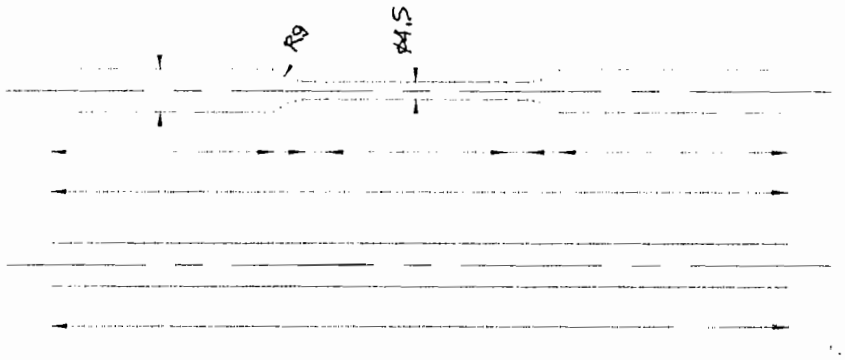


Gambar 3.2 Bentuk spesimen Uji Kekerasan

Jumlah 4 spesimen untuk baja karbon rendah yang dinormalising, 4 spesimen untuk baja karbon rendah yang dikarburising selama 1 jam, 4 spesimen untuk baja karbon rendah yang dikarburising selama 3 jam, 4 spesimen untuk baja karbon rendah yang dikarburising selama 5 jam, jadi jumlah keseluruhan untuk uji kekerasan Brinell 16 benda uji. Sedangkan untuk untuk foto struktur mikro dibutuhkan 4 buah spesimen,

1 untuk normalising, 1 untuk karburising 1 jam, 1 untuk karburising 3 jam, 1 untuk karburising 5 jam.

2. Untuk meneliti kekuatan tarik dipakai pengujian tarik yang dilakukan di Lab Ilmu Logam USD. Jumlah spesimen 20. 5 spesimen untuk baja karbon rendah normalising, 5 spesimen untuk baja karbon rendah karburising 1 jam, 5 spesimen untuk baja karbon rendah karburising 3 jam, 5 spesimen untuk baja karbon rendah karburising 5 jam. Bentuk dan ukuran spesimen seperti yang ditunjukan dalam gambar 3.3.



Gambar 3.3 Bentuk spesimen Uji Tarik

3. Pembuatan kotak Sementasi/*Pack karburising*

Benda kerja yang akan diproses dengan medium padat, diletakkan atau disusun dalam kotak sementasi.

Kotak sementasi harus memiliki karakteristik kotak sementasi :

1. Harus rapat sehingga tidak mungkin adanya kebocoran dari gas yang terbentuk.
2. Tahan suhu tinggi untuk relatif waktu yang lama.

3. Memiliki sifat mekanik yang memadai sehingga tidak terjadi perubahan bentuk padat saat mengalami pemanasan pada waktu yang lama.

Pembuatan kotak sementasi disesuaikan dengan benda uji dengan menggunakan bahan dari plat baja yang dibentuk kotak :

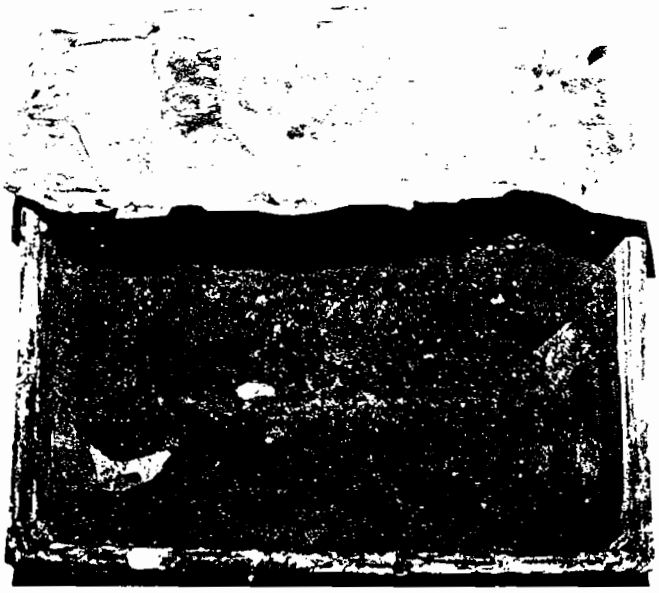
tebal dinding plat : 3 mm

panjang : 18 cm

tinggi : 5,5 cm

lebar : 11 cm

Tutup atas disesuaikan dengan ukuran kotak, keterangan gambar 3.4.



Gambar 3.4 Pack Karburising

3.4 Proses Perlakuan Panas

Untuk semua benda uji dilakukan proses normalising dengan suhu 900°C. Setelah konstan ± 1 jam ditahan selama 1 jam terlebih dahulu, kemudian didinginkan dengan udara ruangan (dalam oven) selama 1 malam.

Setelah itu pada benda uji dilakukan proses karburising pada suhu 900°C. Dengan variasi waktu penahanan 1 jam, 3 jam dan 5 jam, kemudian didinginkan dengan udara ruangan (dalam oven) selama 1 malam.

3.5 Proses pelaksanaan karburising

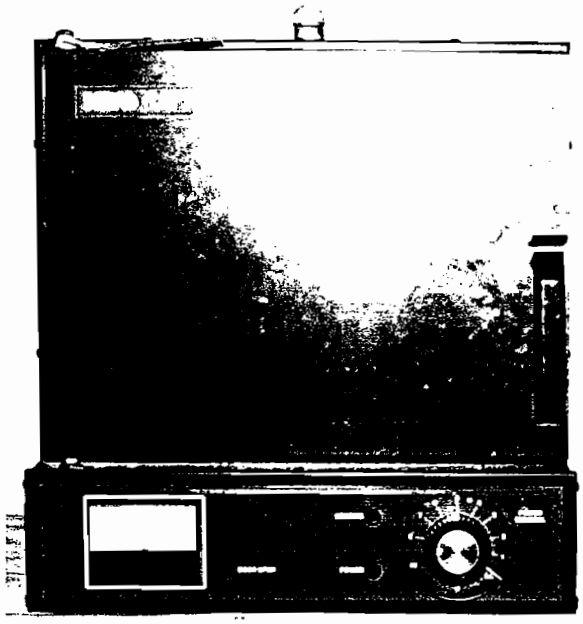
Tujuan penelitian ini adalah meningkatkan ketahanan aus dengan mempertinggi kekerasan permukaan logam dengan cara *carburizing* kemudian dibandingkan dengan benda uji yang hanya dinormalising. Dalam penelitian ini proses karburising dilakukan dengan menggunakan medium karburasi padat/*pack karburising*.

Langkah–langkah dalam proses tersebut :

1. Peralatan yang disiapkan berupa :
    a. Oven .
    b. Arang tempurung kelapa/arang bathok.
    c. Kotak sementasi
    d. Bahan campuran pemberi karbon :
        - Soda makan/Sodium Carbonat ($NaCO_3$)
        - Kalsium (Ca) atau dapat digunakan Calsium Carbonat ($CaCO_3$).

e. Stop Watch/jam.

2. Bahan medium, arang tempurung kelapa dihaluskan (lembut atau dalam buku ± 1,5 – 3 mm) kemudian dicampur dengan komposisi :
   - Arang 70 %
   - Soda makan 25 %
   - Kalsium 5 %
3. Benda uji dimasukkan ke dalam kotak sementasi sampai tertutup semua permukaan dengan campuran–campuran bahan tersebut.
4. kotak sementasi dimasukkan ke dalam oven..
5. Waktu karburising, dimulai saat kotak sementasi sudah berwarna merah, ini semua berlaku untuk semua benda uji dengan lama waktu yang sudah ditentukan.



Gambar 3.5 Oven

3.5 Pengujian bahan

3.5.1 Pengujian Kekerasan Brinell

Pengujian kekerasan Brinell dilakukan menggunakan penjejak bola baja dengan diameter yang sudah ditentukan sesuai dengan tebal benda uji penekanan dilakukan pada permukaan benda uji yang telah halus dibersihkan permukaannya dengan cara tertentu. Hasil penekanan dicatat diameternya dan kekerasan (HB) dihitung dari perbandingan antara gaya P dan luasan A dari segmen bola dari penekanan.

Besar beban yang bekerja pada penetrator tergantung pada :

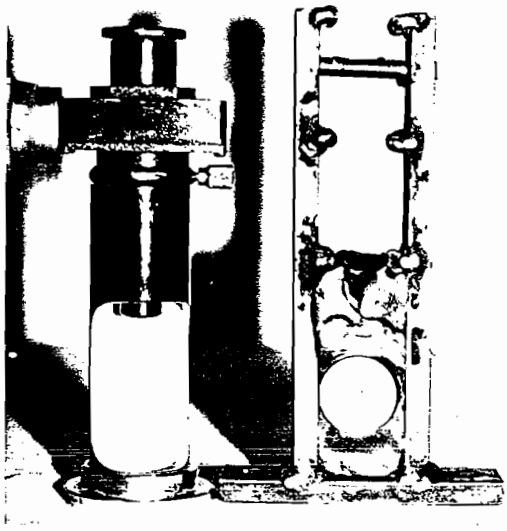
1. Diameter penetrator
2. Jenis logam benda uji

Langkah penelitian uji kekerasan Brinell

a. Alat uji yang digunakan

Type = 100 MR

Buatan = Italy



Gambar 3.6 Lup Mikrometer

Gambar 3.7 Alat Uji Brinell

b. Mempersiapkan bahan uji

Bahan uji dibersihkan sampai halus menggunakan amplas hingga permukaan menjadi rata. Bahan uji terdiri :

1. 4 spesimen yang mendapat perlakuan panas normalising mendapat 2 titik injakan.
2. 4 spesimen yang dikarburising 1 jam mendapat 2 titik injakan.
3. 4 spesimen yang dikarburising 3 jam mendapat 2 titik injakan.
4. 4 spesimen yang dikarburising 5 jam mendapat 2 titik injakan

c. Pelaksanaan pengujian

Pengujian dilakukan di laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma. Benda yang sudah dibersihkan ditaruh pada alat uji,

kemudian ditekan dengan gaya 250 kg oleh bola baja sebagai penetrator dengan diameter 5 mm dan dibiarkan sampai kurang lebih 30 detik, setelah mendapatkan bekas injakan kita gunakan lup mikrometer untuk meneliti besar injakan dari bola baja tersebut, kemudian besarnya injakan dicatat. Pengujian ini kurang efektif bila :

a. Bola baja kurang keras, maka pengujian kurang tepat.
b. Bola baja sudah tidak bulat dan diameternya berubah.
c. Disekitar bekas injakan terjadi kenaikan permukaan benda uji sehingga mengurangi ketelitian pengukuran bekas injakan.

3.5.2 Analisis Struktur Mikro

Analisa struktur mikro memakai bantuan mikroskop yang khusus untuk melihat struktur mikro logam.

Langkah penelitian dan alat analisa struktur mikro sebagai berikut :

a. Alat uji yang digunakan

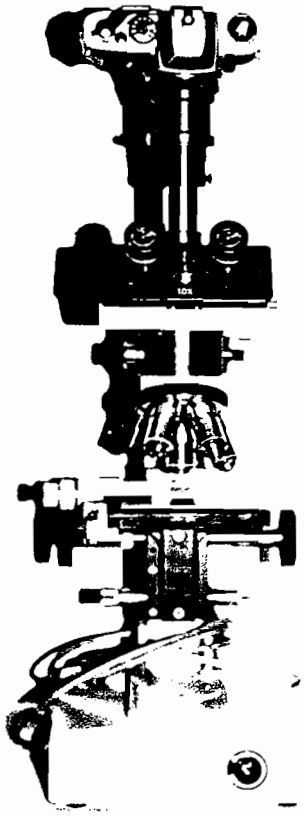
   Type = union mikroskop

   Buatan = Tokyo, Jepang

b. Mempersiapkan bahan uji

   Bahan uji dibersihkan permukaannya sampai bersih dan sejajar dengan amplas 1500 setelah itu digosok autosol dengan menggunakan kain bersih hingga permukaannya menjadi mengkilap. Bagian yang sudah mengkilap tadi lalu dietsa dengan menggunakan HNO_3 atau

alkohol 75% untuk bagian bawah dari benda uji cukup digosok dibuat rata.



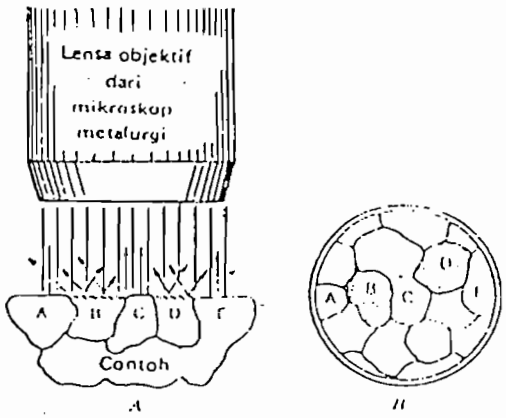
Gambar 3.8 Alat Analisa Struktur Mikro

c. Pelaksanaan penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan di laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma. Dengan pertolongan mikroskop dapat diteliti permukaan logam yang telah dipolis. Apabila bahan tersebut

belum bisa dilihat sebaiknya bahan tersebut digosok lagi menggunakan autosol dan dietsa lagi.

Pada gambar dibawah ini akan tampak arah pemantulan cahaya akibat etsa. Bila cahaya yang dipantulkan masuk kedalam lensa mikroskop, permukaan tampak dengan jelas. Berkas dipantulkan dan tidak mengenai lensa daerah itu akan tampak hitam. Batas butir tampak seperti alur mengelilingi setiap butir dan cahaya tidak dipantulkan dalam lensa, maka batas butir tampak seperti garis hitam.



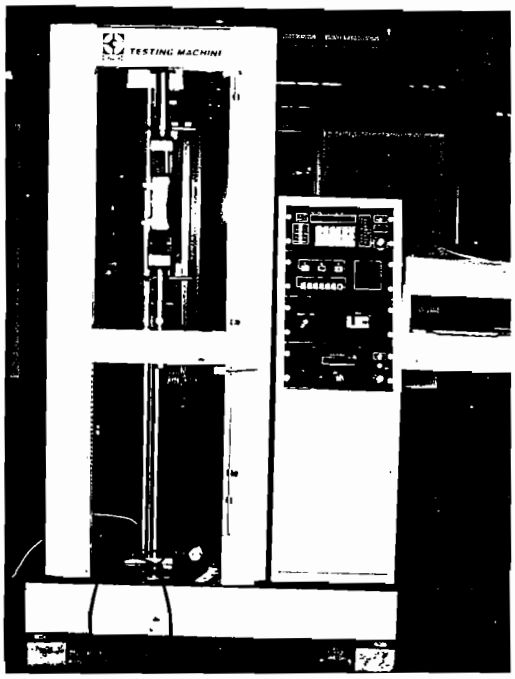
Gambar 3.9 Pemeriksaan benda yang sudah dietsa

d. Tujuan analisa struktur

1. Memeriksa struktur logam.
2. Mempelajari sifat–sifat logam baik yang mendapat perlakuan panas atau belum mendapat perlakuan panas.

3.5.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan dengan memberikan beban dengan cara ditarik pada batang benda uji secara perlahan–lahan sampai bagian benda uji yang diamati mengecil dan putus. Pada pengujian ini yang diamati adalah kekuatan tarik, tegangan patah, elongasi dan pengecilan luas penampang bagian benda uji yang diamati. Pembebanan yang terjadi pada pengujian ini dilakukan dengan cara menambahkan beban secara terus menerus sampai benda uji putus. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium di USD menggunakan mesin GOTECH TESTING MACHINE buatan Taiwan dengan kapasitas 1000 kg.



Gambar 3.10 Alat Uji Tarik

BAB IV

DATA PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Kekerasan Brinell

Pengujian kekerasan benda menggunakan sebuah peluru baja yang dikeraskan, ditekankan pada permukaan benda yang sudah dibersihkan dengan beban tertentu. Hasil penekanan dicatat diameternya dan kekerasan (HB) dihitung dari beban P dibagi luas permukaan lekukan. Rumus angka kekerasan tersebut adalah :

$$\text{BHN} = \frac{P}{(\frac{\pi}{2} \times D) \times (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \qquad (\frac{kg}{mm^2})$$

Dengan :

P = Beban yang diterapkan (kg)

D = Diameter bola penetrator (mm)

d = Diameter bekas injakan atau penekanan (mm)

Setelah dilakukan pengujian pada masing-masing benda uji dengan beban (P) = 250 kg dan diameter penetrator (D) = 5 mm, maka akan didapat data-data untuk nilai kekerasan Brinellnya sebagai berikut :

Tabel 4.1 Nilai Kekerasan untuk Spesimen Mula-mula

No	Benda Uji	Diameter bekas injakan (mm)	BHN (kg /mm^2)
1	1	1,81	93,87
2		1,9	84,87
3	2	1,8	94,95
4		1,91	83,95
5	3	1,81	93,87
6		1,92	83,6
7	4	1,82	92,8
8		1,94	81,26
Harga rata – rata			88,65
Nilai standar deviasi			5,08

Tabel 4.2 Nilai Kekerasan untuk Spesimen Karburising 1 jam

No	Benda Uji	Diameter bekas injakan (mm)	BHN (kg/mm^2)
1	1	1,7	106,86
2		1,72	104,31
3	2	1,74	101,85
4		1,82	92,8
5	3	1,77	98,31
6		1,8	94,95
7	4	1,75	100,65
8		1,81	93,87
Harga rata – rata			99,2
Nilai standar deviasi			4,9

Tabel 4.3 Nilai Kekerasan untuk Spesimen Karburising 3 jam

No	Benda Uji	Diameter bekas injakan (mm)	BHN (kg/mm^2)
1	1	1,55	129,23
2		1,56	127,53
3	2	1,58	124,24
4		1,6	121,07
5	3	1,53	132,71
6		1,55	129,22
7	4	1,57	125,87
8		1,62	118,02
Harga rata –rata			125,99
Nilai standar deviasi			5

Tabel 4.4 Nilai Kekerasan untuk Spesimen Karburising 5 jam

No	Benda Uji	Diameter bekas injakan (mm)	BHN (kg/mm^2)
1	1	1,52	134,51
2		1,55	129,23
3	2	1,53	132,71
4		1,55	129,23
5	3	1,55	129,23
6		1,58	124,24
7	4	1,56	127,53
8		1,61	119,53
Harga rata –rata			128,28
Nilai harga standar			4,7

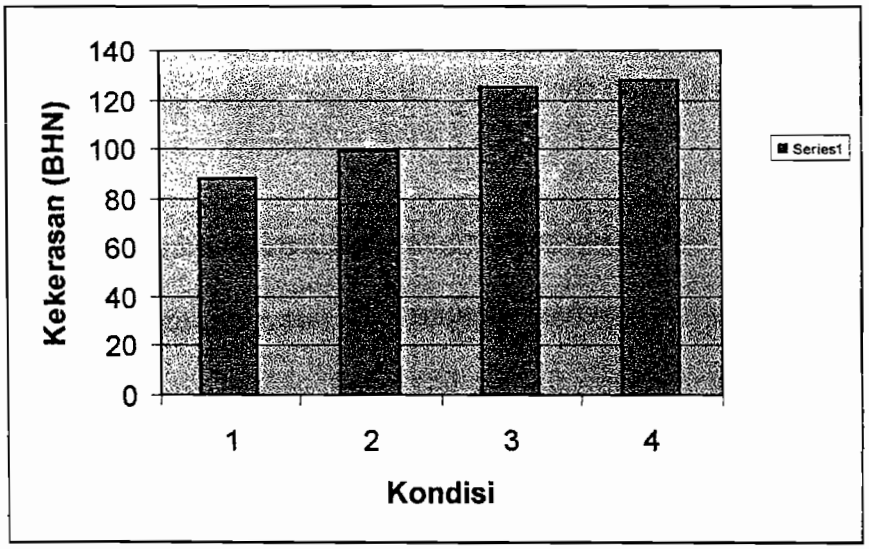
4.1.1 Pembahasan pengujian Kekerasan

Hasil perhitungan data yang sudah dirata-rata dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil rata-rata Pengujian Kekerasan

Perlakuan, Suhu, Waktu	BHN (kg/mm²)
Mula-mula	89
Karburising 900°C, 1 jam	99
Karburising 900°C, 3 jam	126
Karburising 900°C, 5 jam	128

Hubungan antara kekerasan dengan waktu karburising agar dapat lebih mudah dipahami maka dibuat dalam bentuk grafik.



Gambar 4.1 Grafik Kekerasan dengan Kondisi

Keterangan :

Kondisi 1 = Spesimen mula-mula

Kondisi 2 = Spesimen karburising 1 jam

Kondisi 3 = Spesimen karburising 3 jam

Kondisi 4 = Spesimen karburising 5 jam

Grafik diatas menunjukkan pengaruh proses karburising pada baja karbon rendah terhadap kekerasannya. Kekerasan pada spesimen karburising mengalami peningkatan jika dibandingkan dengan spesimen mula-mula. Hal itu dikarenakan semakin lama penahanan karburising maka akan semakin keras baja tersebut. Pada penahanan 3 jam dan 5 jam, kekerasannya hampir sama (perbedaannya tidak terlalu jauh). Hal itu terjadi kemungkinan dikarenakan baja karbon pada penahanan 3 dan 5 jam tersebut mendekati jenuh mengingat ukuran spesimen yang tidak terlalu besar sedangkan pada proses karburising sendiri masuknya karbon pada dinding adalah 0,1 mm per jam.

Satu kemungkinan lagi yang menyebabkan hasil karburising tidak terlalu baik yaitu pada saat pencampuran karbon dengan bahan tambahan kurang tercampur dengan baik. Hal itu dikarenakan arang bathok yang kurang lembut pada saat penghancurannya jadi saat dicampur dengan bahan tambahan adonan karburising tidak merata komposisinya. Pencampuran yang kurang baik tersebut mempengaruhi difussi karbon pada spesimen, bagian spesimen yang dekat dengan adonan yang komposisinya merata tadi kekerasannya akan baik.

Hasil karburising ini pada setiap dinding spesimen tidak sama, jika dilakukan pengujian kekerasan pada satu spesimen diambil lebih dari satu titik akan menghasilkan pembacaan data yang berbeda, kemungkinan terjadi karena hal-hal yang dibahas tadi atau karena kesalahan pada saat pengambilan data.

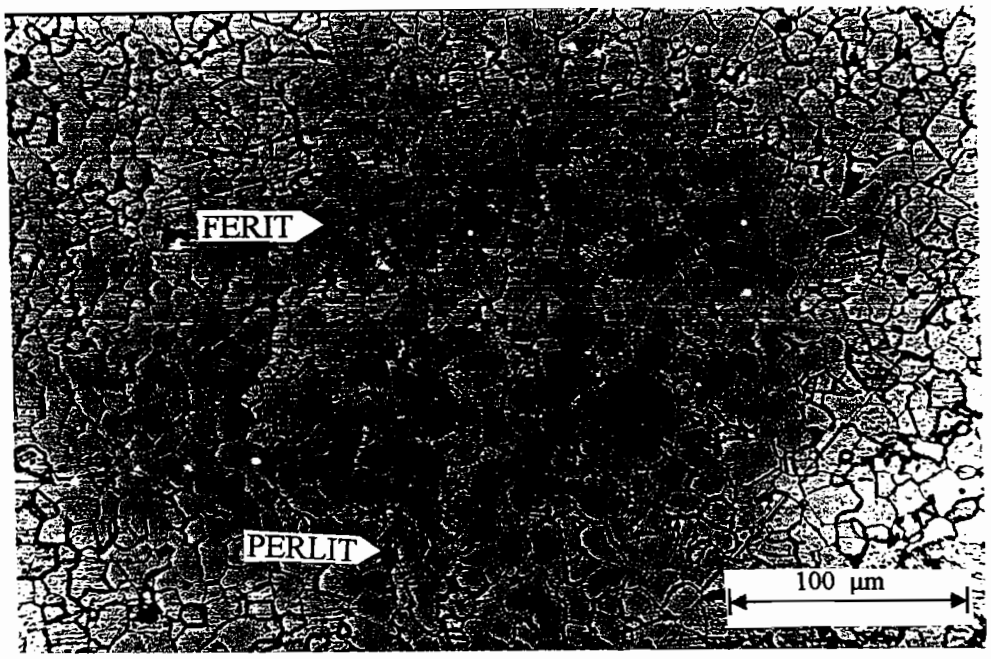
4.2 Pengamatan Struktur Mikro

Tujuan penelitian struktur mikro adalah untuk mengetahui hubungan antara kompisis kimia dari benda uji dengan bentuk struktur mikro dari benda uji.

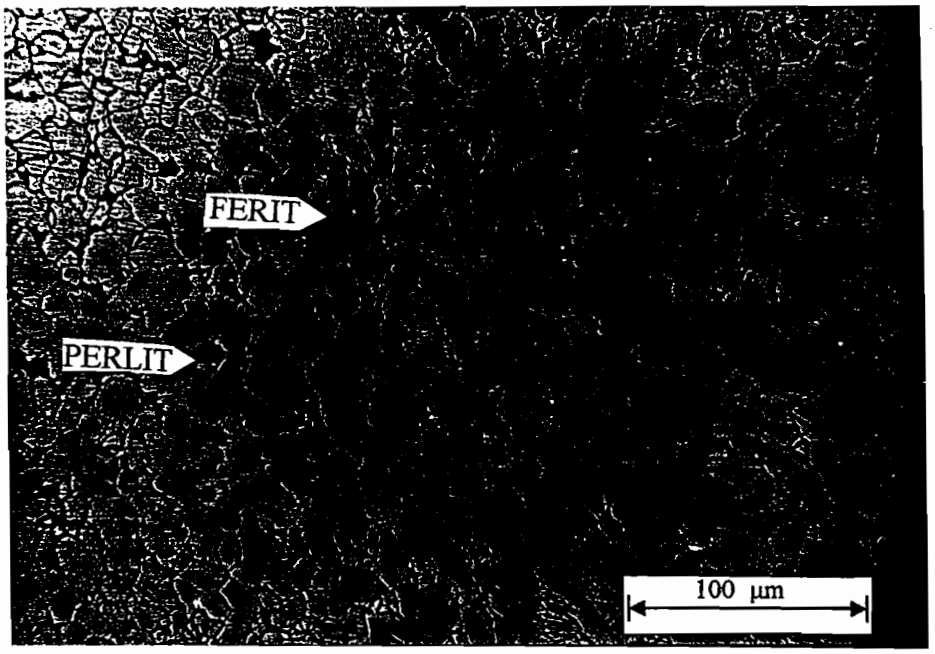
Butir karbon dengan bantuan mikroskop akan dapat dilihat srtuktur mikronya. Setelah logam dipolis dan dietsa dengan asam tertentu maka pada permukaan logam akan terlihat butir-butir karbonnya.

Kondisi pengujian sebelum proses karburising, terlihat adanya komposisi ferit dan perlit. Besar butir ferit lebih besar daripada perlit. Pada proses karburising kondisinya sudah berubah perlit sudah terlihat semakin banyak, terjadi karena kadar karbon naik akibat proses karburising.

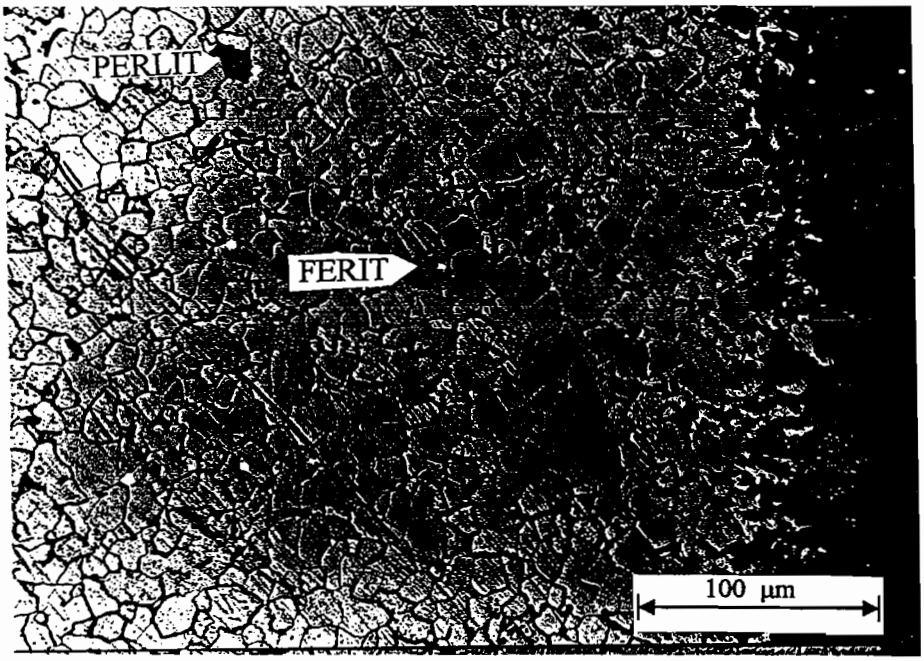
Karburising yang dilakukan disini adalah untuk melakukan pengerasan permukaan dengan penambahan karbon yang dilakukan oleh arang bathok. Analisis struktur mikro disini adalah untuk melihat banyaknya penambahan karbon yang masuk pada dinding baja karbon rendah,



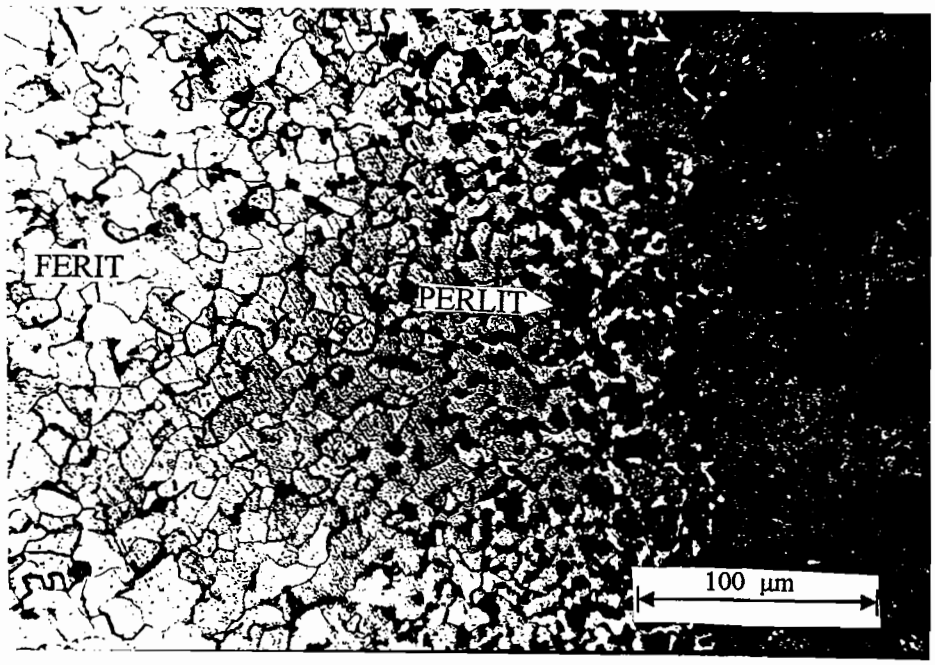
Gambar 4.2 Struktur Mikro pada Spesimen Mula-mula



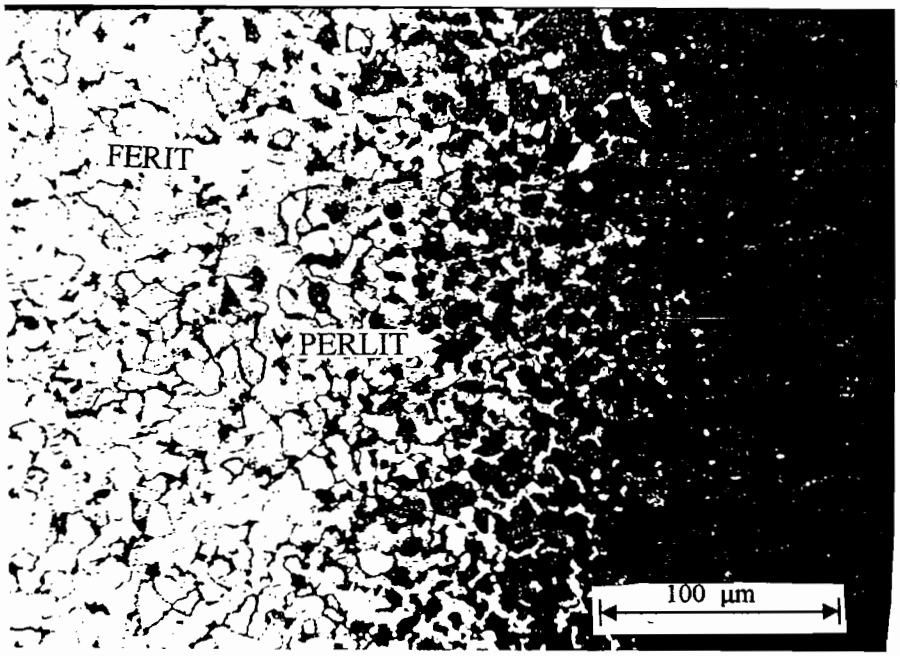
Gambar 4.3 Struktur Mikro pada Dinding Spesimen Mula-mula



Gambar 4.4 Struktur Mikro pada Spesimen Karburising 1 jam



Gambar 4.5 Struktur Mikro pada Spesimen Karburising 3 jam



Gambar 4.6 Struktur Mikro pada Spesimen Karburising 5 jam

4.2.1 Pembahasan analisa struktur Mikro

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan antara struktur mikro dengan jumlah butiran karbon yang berdifussi pada permukaan atau dinding baja karbon rendah.

Pada proses pengujian sebelum dilakukan proses karburising bentuk butiran karbon pada dinding belum terlalu terlihat. Sesudah dilakukan proses karburising pada dinding butiran karbon semakin tampak dan semakin lama waktu proses karburising semakin banyak butiran karbon pada permukaan dinding baja karbon rendah.

Proses karburising adalah proses pengerasan permukaan baja yang disebabkan suatu media pengkarbon. Kondisi baja karbon rendah sebelum dikarburising tampak ferit lebih mendominasi daripada perlit tapi kondisi karbon baja rendah berubah setelah mengalami proses karburising jumlah

perlit mengalami peningkatan. Peningkatan perlit tersebut karena proses karburising adalah proses difussi karbon pada permukaan baja yang akan menyebabkan peningkatan kekerasan.

Penyebaran karbon pada permukaan baja karbon rendah akan semakin besar jika penahanannya lebih lama, jadi semakin lama penahanannya butir karbon pada permukan baja akan semakin banyak.

Struktur mikro pada spesimen karburising 3 jam dan 5 jam jumlah butir karbon yang berdifussi tidak terlalu terlihat perbedaannya, hal itu kemungkinan terjadi karena proses karburising pada 3 jam dan 5 jam mengalami kejenuhan pada karbon. Kejenuhan itu terjadi karena baja sudah tidak mau menyerap karbon lagi.

4.3 Pengujian Tarik

I. Perhitungan untuk pengujian tarik

$$\sigma_U = \frac{P_U}{A_0}\left(\frac{kg}{mm^2}\right)$$

Dengan : σ_U = Kekuatan tarik (kg/ mm^2)

P_U = Beban (kg)

A_0 = Luas penampang awal (mm^2)

$$\sigma_U = \frac{543{,}7}{15{,}55}\left(\frac{kg}{mm^2}\right) = 34{,}96\left(\frac{kg}{mm^2}\right)$$

II. Tegangan patah dari bahan yang ditarik memakai rumus :

$$\sigma_B = \frac{P_B}{A_0}\left(\frac{kg}{mm^2}\right)$$

Dengan : σ_B = Tegangan patah (kg/ mm^2)

P_B = Beban (kg)

A_0 = Luas penampang awal (mm^2)

$$\sigma_B = \frac{355,2}{15,55}(\frac{kg}{mm^2}) = 22,84(\frac{kg}{mm^2})$$

III. Perbandingan antara pertambahan panjang (ΔL) dengan panjang awal benda uji (L_0) disebut regangan (ε).

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$$

Dengan : ε = Regangan (%)

ΔL = Pertambahan panjang benda uji (mm)

L_0 = Panjang awal benda uji (mm)

$$\varepsilon = \frac{13,5}{40} \times 100\% = 34\%$$

IV. Perbandingan antara perubahan penampang setelah pengujian disebut kontraksi (Ψ), dengan persamaan :

$$\Psi = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100\%$$

Dengan : Ψ = Reduksi penampan

A_0 = Luas penampang awal (mm^2)

A_f = Luas penampang setelah pengujian tarik (mm^2)

$$\Psi = \frac{15,55 - 3,8}{15,55} \times 100\% = 76\%$$

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Pengujian Tarik untuk Spesimen Mula-mula

No	ΔL (mm)	σ_U (kg/ mm^2)	σ_B (kg/ mm^2)	ε_B (%)	Ψ (%)
1	13,5	34.96	22,84	34	76
2	14,6	36,08	22,33	37	74
3	14,18	34,56	19,03	36	78
4	14,4	35,55	20,22	36	77
5	14,6	35.61	19,86	37	76
Rata-rata		35.35	20,86	36	76,2
Standar deviasi		0,35	2,77	1,5	2,8

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Pengujian Tarik untuk Spesimen

Karburising 1 jam

No	ΔL (mm)	σ_U (kg/ mm^2)	σ_B (kg/ mm^2)	ε_B (%)	Ψ (%)
1	11,1	39,86	26,74	28	57
2	10,9	41,03	27,65	27	54
3	11	39,41	25,08	28	62
4	12,5	38,77	27,55	31	59
5	11,4	39,69	25,97	29	60
Rata-rata		39,75	26,6	28,6	58,4
Standar deviasi		0,68	1,18	2,3	9,3

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Pengujian Tarik untuk Spesimen

Karburising 3 jam

No	ΔL (mm)	σ_U (kg/ mm^2)	σ_B (kg/ mm^2)	ε_B (%)	Ψ (%)
1	7,6	47,43	30,34	19	29
2	7,6	47,93	35,44	19	29
3	6,6	47,79	39,17	17	29
4	7,7	48,06	40,64	19	25
5	7,6	47,19	40,46	19	27
Rata-rata		47,68	37,21	18,6	27,8
Standar deviasi		0,13	16,48	0,8	3,2

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Pengujian Tarik untuk Spesimen Karburising 5 jam

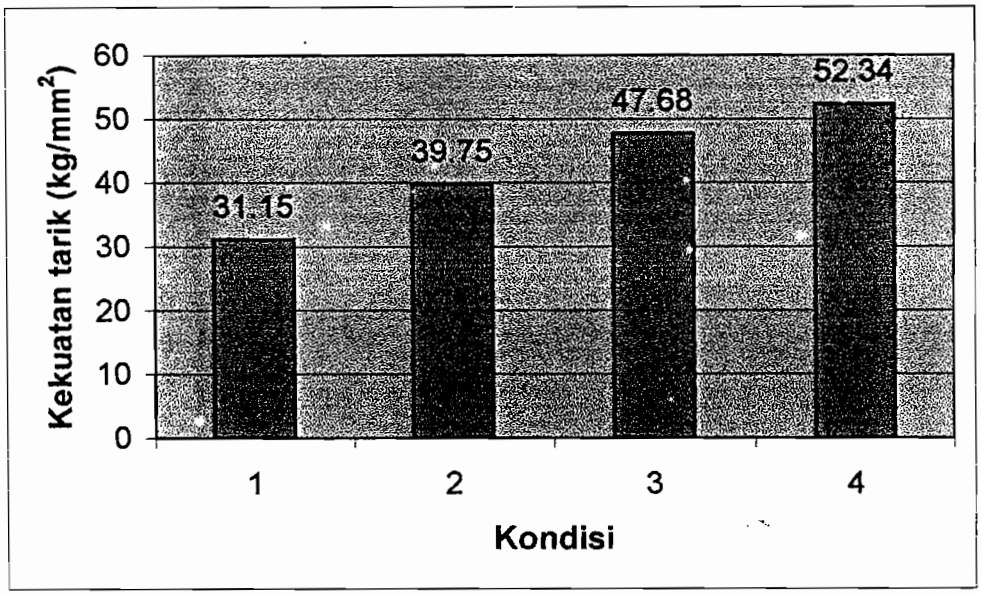
No	ΔL (mm)	σ_U (kg/ mm^2)	σ_B (kg/ mm^2)	ε_B (%)	Ψ (%)
1	6,2	51,82	41,26	16	28
2	6,9	52,32	46,08	17	25
3	5,8	53,59	51,05	15	18
4	6,5	51,98	47,73	16	18
5	6,1	51,99	50,45	15	23
Rata-rata		52,34	47,31	15,8	22,4
Standar deviasi		0,5	15,68	0,7	19,3

4.3.1 Pembahasan pengujian Tarik

Berdasarkan perhitungan data yang dilakukan didapatkan hasil rata-rata yang dapat dilihat lebih jelasnya pada tabel 4.10 Hasil rata-rata uji tarik.

Tabel 4.10 Hasil rata-rata Pengujian Tarik

Spesimen	σ_U (kg/ mm^2)	σ_B (kg/ mm^2)	ε_B (%)	Ψ (%)
Mula-mula	31,15	20,86	36	76,2
1 jam karburising	39,75	26,6	28,6	44,8
3 jam karburising	47,68	37,21	18,6	27,8
5 jam karburising	52,34	47,31	15,8	22,4



Gambar 4.7 Grafik Kekuatan Tarik dengan Kondisi

Keterangan :

Kondisi 1 = mula-mula

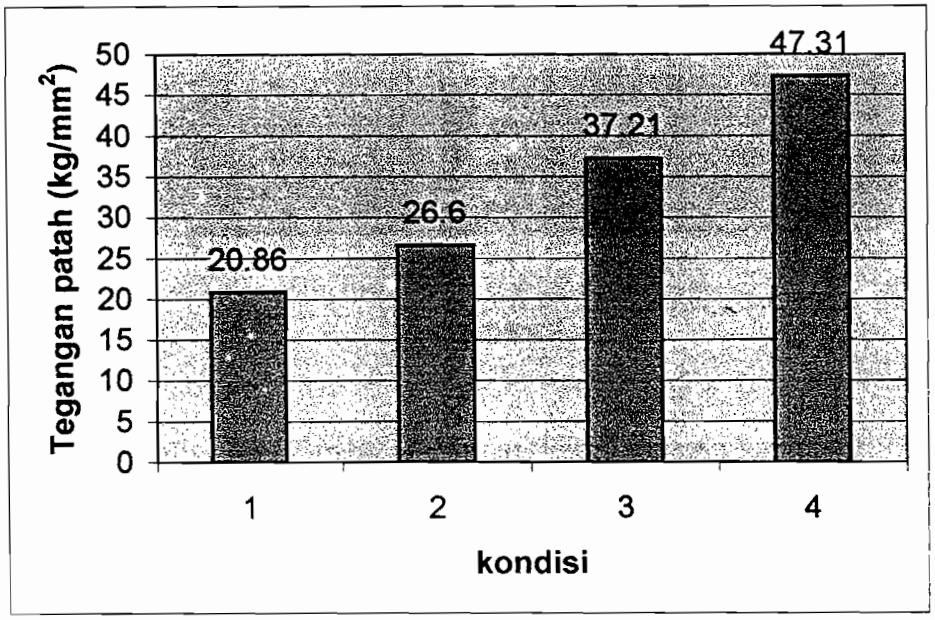
Kondisi 2 = karburising dengan penahanan waktu 1 jam

Kondisi 3 = karburising dengan penahanan waktu 3 jam

Kondisi 4 = karburising dengan penahanan waktu 5 jam

Gambar grafik ini menunjukkan peningkatan kekuatan tarik pada setiap penambahan waktu penahanan karburising. Karbon yang berdifussi pada permukaan baja mempengaruhi peningkatan kekuatan tarik. Karena karburising mengakibatkan permukaan baja menjadi keras tapi tetap mempunyai keuletan yang tinggi jadi kekuatan tarik yang dihasilkan pada proses karburising bukanlah kekuatan tarik yang sesungguhnya. Mengingat disini ukuran spesimen yang digunakan tidak terlalu besar maka karbon yang

berdifussi pada proses karburising ini hampir semua spesimen menjadi keras, karbon yang masuk pada setiap jamnya 0,1 mm (per jam) pada suhu 900°C.



Gambar 4.8 Grafik Tegangan Patah dengan Kondisi

Keterangan :

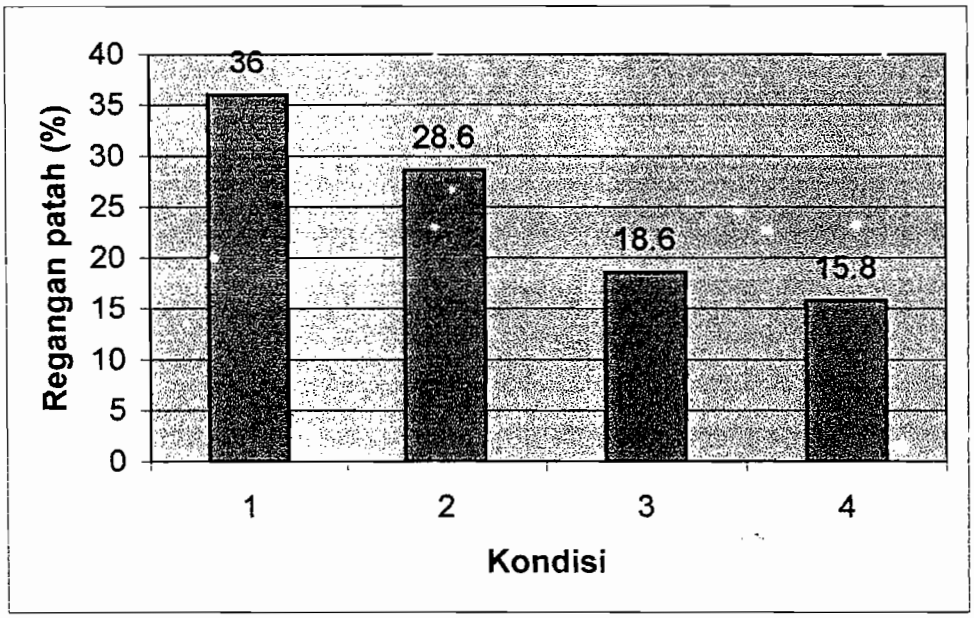
Kondisi 1 = mula-mula

Kondisi 2 = karburising dengan waktu penahanan 1 jam

Kondisi 3 = karburising dengan waktu penahanan 3 jam

Kondisi 4 = karburising dengan waktu penahanan 5 jam

Gambar grafik menunjukkan peningkatan tegangan patah pada setiap penambahan waktu penahanan karburising. Pengaruh proses karburising pada tegangan patah ini sama dengan yang mempengaruhi pada kekuatan tarik maksimum.



Gambar 4.9 Grafik Regangan Patah dengan Kondisi

Keterangan :

Kondisi 1 = mula-mula

Kondisi 2 = karburising dengan penahanan waktu 1 jam

Kondisi 3 = karburising dengan penahanan waktu 3 jam

Kondisi 4 = karburising dengan penahanan waktu 5 jam

Grafik diatas menunjukkan semakin lama penahanan waktu karburising regangan patah harganya akan semakin turun. Proses karburising pada prinsipnya adalah pengerasan permukaan jadi disini baja karbon rendah yang terkarburasi menjadi menjadi keras sehingga keuletan baja karbon rendah akan turun. Keuletan baja karbon rendah turun sehingga akan mempengaruhi regangan. Penahanan waktu karburising pada setiap penambahan jamnya akan mengakibatkan penurunan regangan. Pembahasan pada tegangan tarik maksimum juga mempengaruhi pada regangan tarik ini.

Kekuatan tarik yang didapat digunakan untuk menentukan kekuatan bahan yang bersangkutan. Kekuatan tarik adalah salah satu hal yang perlu diketahui dalam hal perancangan sebuah mesin.

Hasil pengujian ini menunjukkan perubahan kekuatan tarik pada baja karbon rendah setelah proses karburising. Data spesimen mula-mula bila dibandingkan dengan data spesimen yang sudah dikarburising (dalam waktu 1,3,5 jam) akan terlihat bahwa tegangan tarik dan tegangan patah semakin besar sesuai dengan lama waktu karburising. Sementara untuk regangan dan kontraksi akan semakin kecil sesuai dengan lama waktu karburising. Berdasarkan hasil patahan spesimen juga dapat dilihat perbedaan bentuk patahan, untuk patahan spesimen mula-mula terlihat patah ulet sedangkan untuk spesimen hasil karburising terlihat patah getas.

SPESIMEN MULA-MULA

SPESIMEN KARBURISING

Gambar 4.11 Hasil patahan spesimen dari Uji Tarik

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Untuk lebih mudah dalam membandingkan pengaruh proses karburising dengan spesimen mula-mula, maka dapat dilihat dari hasil pengujian dalam bentuk kesimpulan dibawah ini.

Kekerasan pada proses karburising ini mengalami peningkatan jika dibandingkan dengan spesimen mula-mula. Peningkatan kekerasan optimum dalam prosentase adalah 42,12%, batas nilai minimumnya 0,08 dan batas maksimumnya 10,08. Bertambahnya kekerasan ini dipengaruhi oleh lama waktu penahanan karburising, semakin lama waktu penahanan maka baja tersebut akan semakin keras.

Struktur mikro spesimen mula-mula dengan spesimen yang sudah dikarburising benar-benar berbeda, pada spesimen mula-mula butir-butir karbon tidak terlalu terlihat (ferit lebih mendominasi dari pada perlit) tetapi setelah dikarburising butiran karbon semakin banyak (perlit semakin terlihat pada dinding baja), peningkatannya dipengaruhi lama waktu penahanan karburising.

Kekuatan tarik dan tegangan patah pada proses karburising mengalami peningkatan. Dibandingkan dengan spesimen mula-mula sifat mekanis tersebut mengalami peningkatan yang lebih baik. Peningkatan kekuatan tarik optimum dalam prosentase adalah 34,88% dan penurunan regangan dalam

prosentase adalah 48,33%. Proses karburising dengan arang tempurung kelapa ini dapat memperbaiki atau meningkatkan kekuatan tarik dan tegangan patah baja karbon rendah sedangkan regangan dan kontraksi pada proses karburising mengalami penurunan jika dibandingkan dengan spesimen mula-mula.

5.2 Saran

Penulis dari hasil penelitian ini memberikan beberapa saran akan permasalahan yang timbul antara lain :

1. Pack karburising/kotak sementasi, harus betul-betul rapat dan terhindar dari kebocoran agar karbon tidak keluar sia-sia.
2. Arang ditumbuk yang halus sekali agar pada saat pencampuran dengan bahan tambahan lebih merata sehingga pada saat proses karburising karbon yang masuk pada spesimen merata.
3. Ukuran spesimen lebih diperhatikan agar tidak terjadi kesulitan pada saat uji kekerasan dan uji komposisi.

DAFTAR PUSTAKA

Amstead, B. H., Phillip F. Ostwald, Myronl. Begeman, *Teknologi Mekanik*, jilid 1, Edisi ketujuh, Penerbit Erlangga - Jakarta.

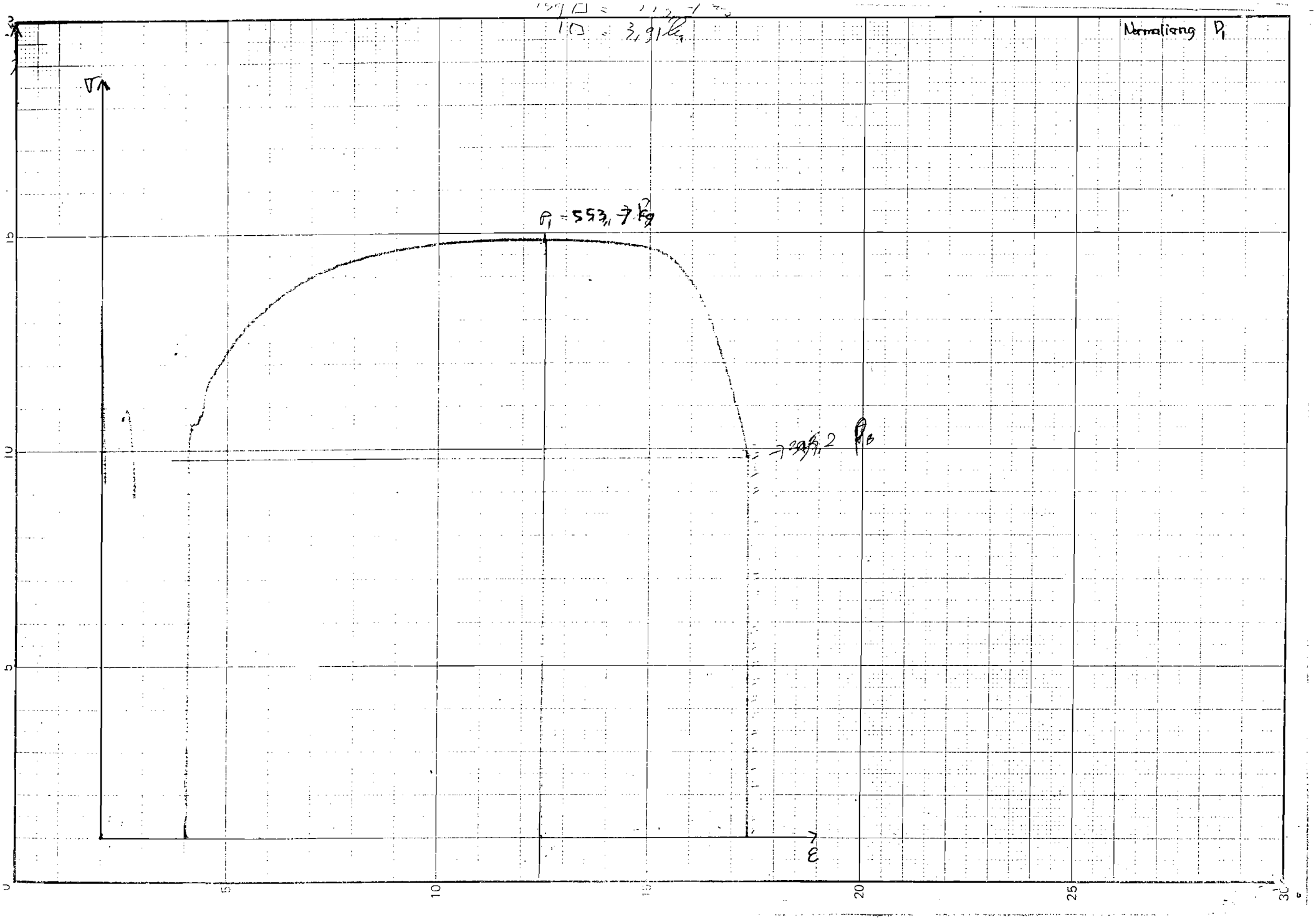
Dieter, G. E. diterjemahkan oleh Sriati Djapri, *Metalurgi Mekanik*, Edisi ketiga, jilid 1, Penerbit Erlangga - Jakarta.

Smallman, R. E., *Metalurgi Fisik Modern*, Edisi keenam, Penerbit Erlangga - Jakarta.

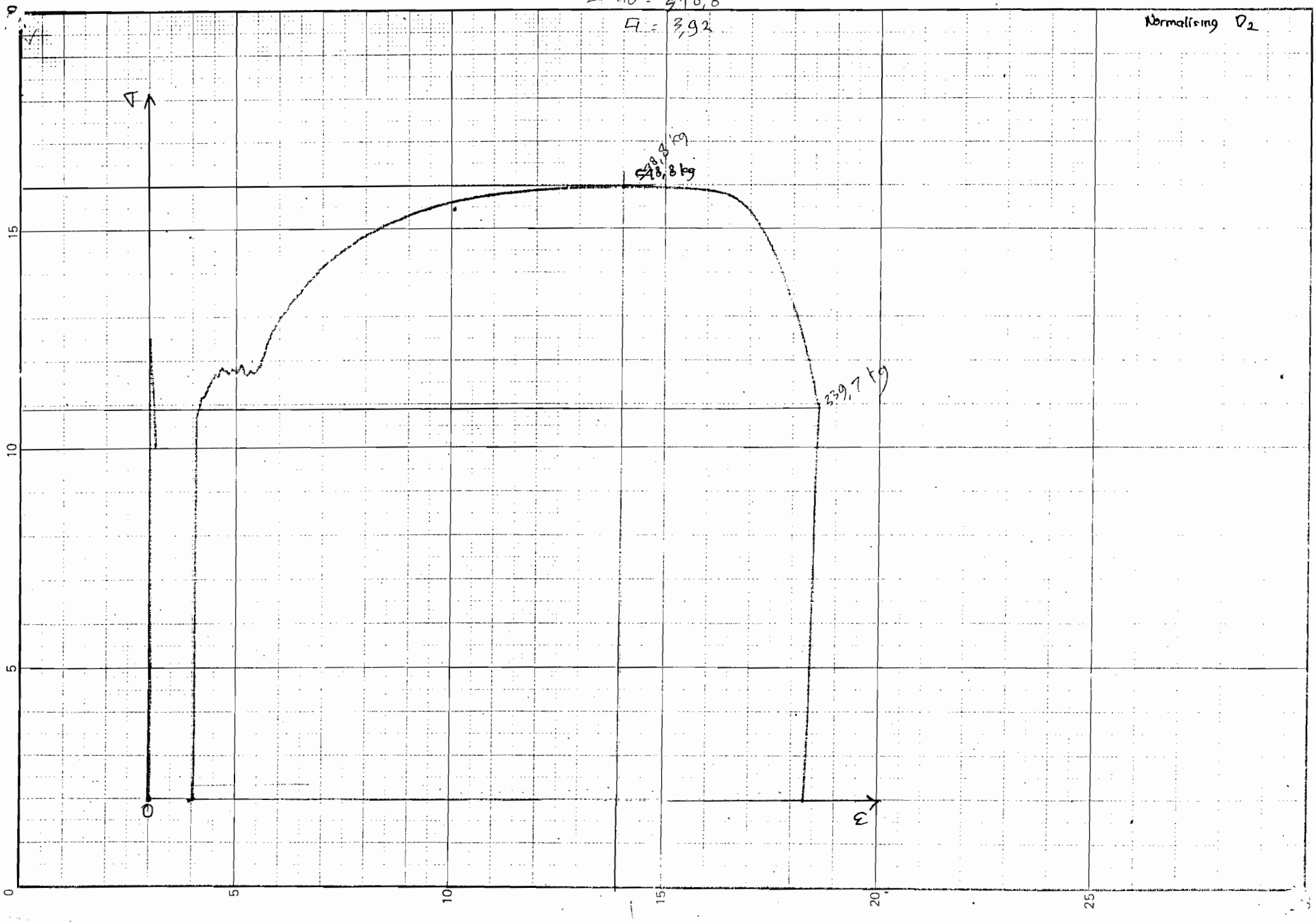
Suroso, Sudibyo. S, *Ilmu Logam*, materi kuliah ATMI Surakarta.

Surdia, T , Sito, S, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Cetakan kelima, Penerbit PT Pradnya Paramita - Jakarta.

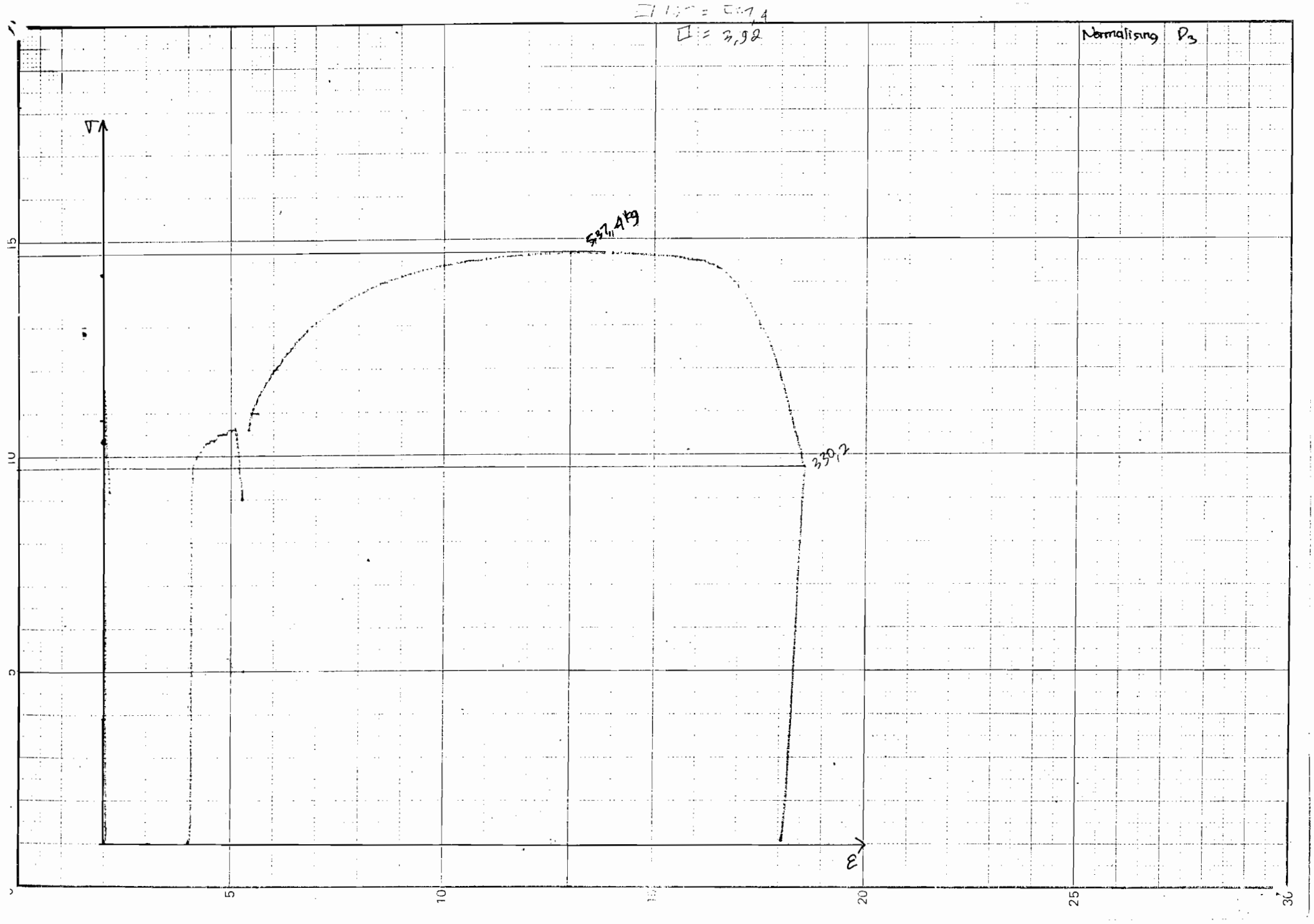
LAMPIRAN



13,4



□'10 = 518,8
□ = 3,92
Normalising D2
σ
ε
0
5
10
15
20
25
518,8 kg
339,7 kg

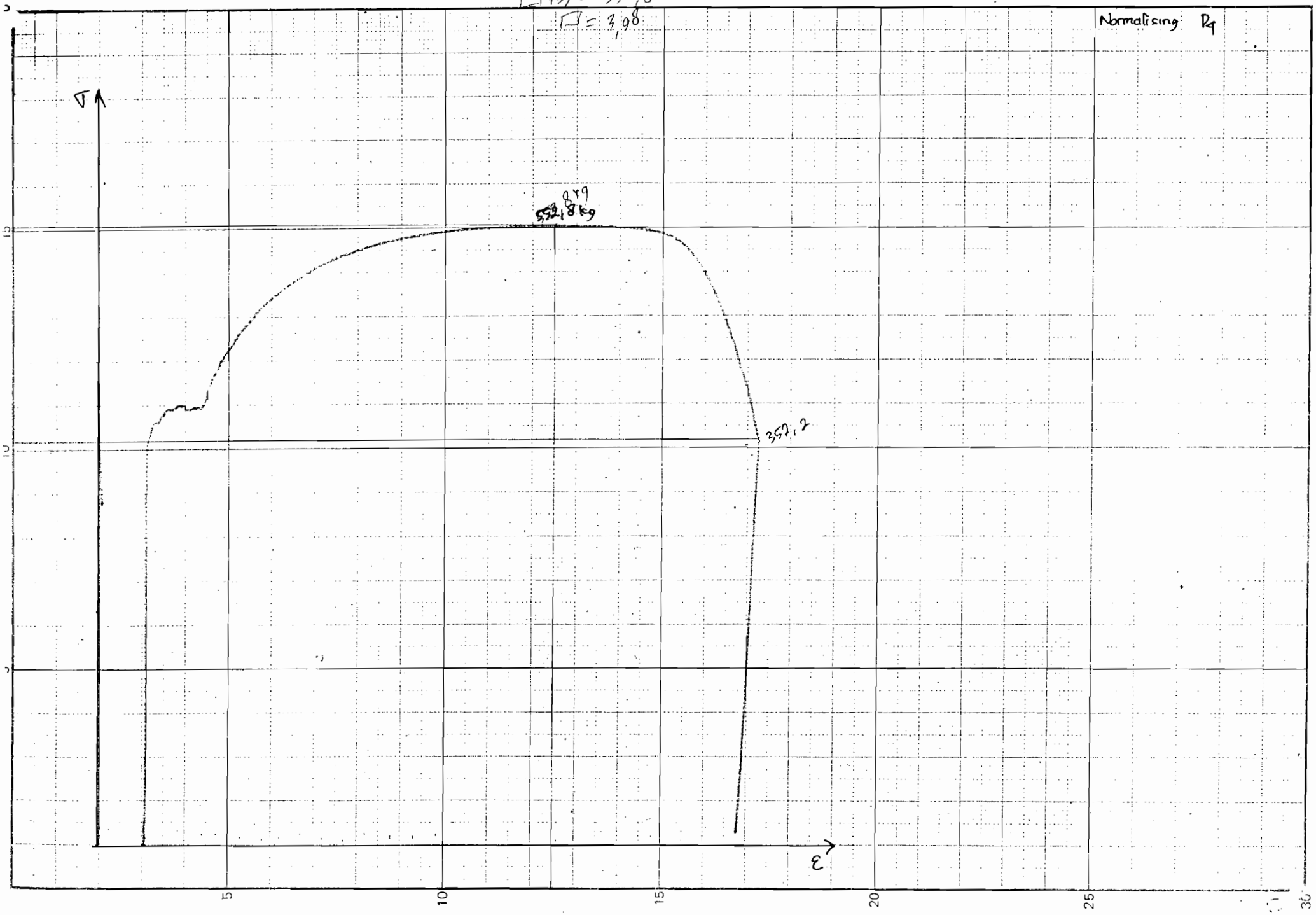


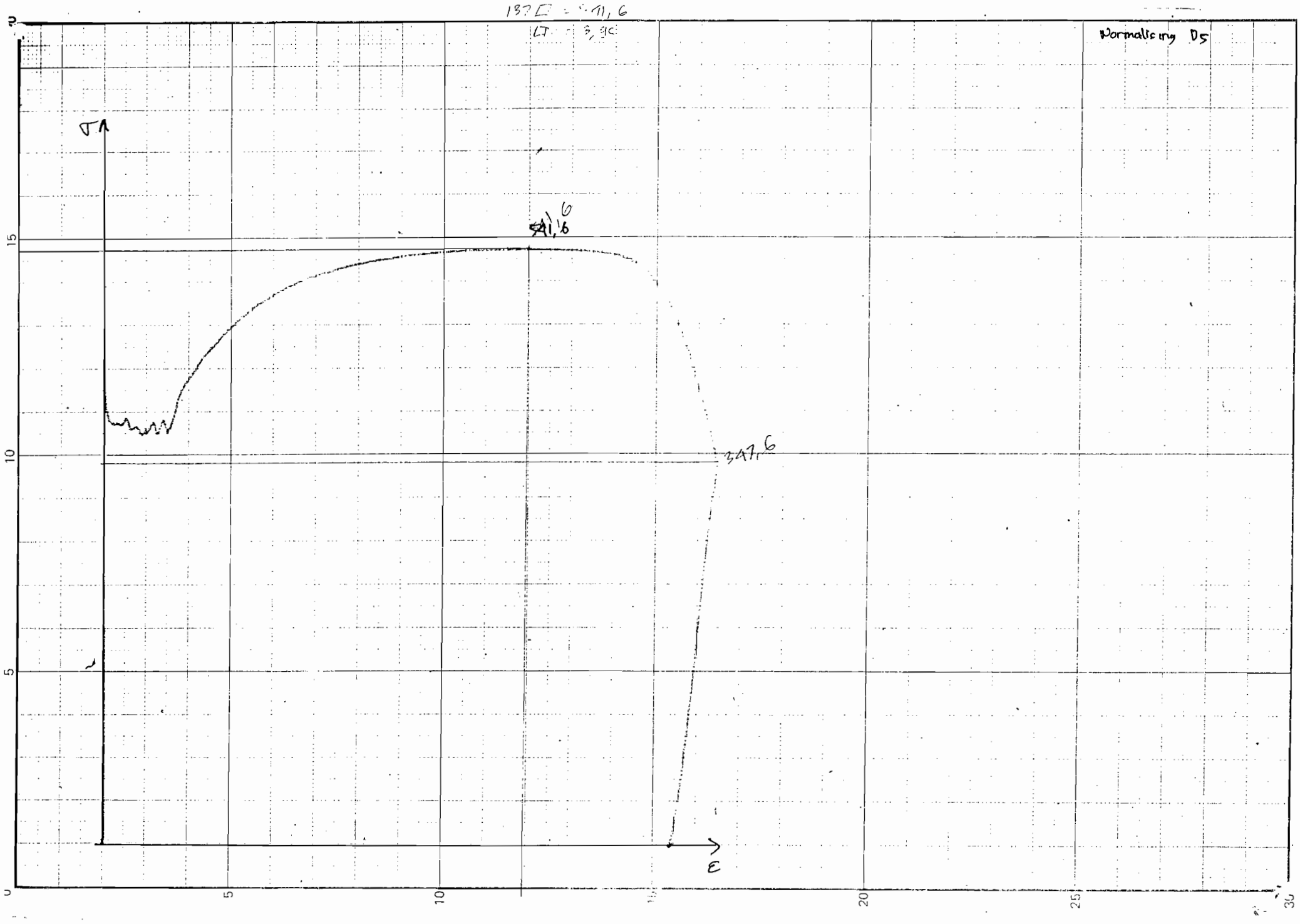
Normalising D_3
□ = 3,92
537,4 kg
330,2
σ
ε
5
10
20
25
30
15
10
5

□ 189 = 552,8

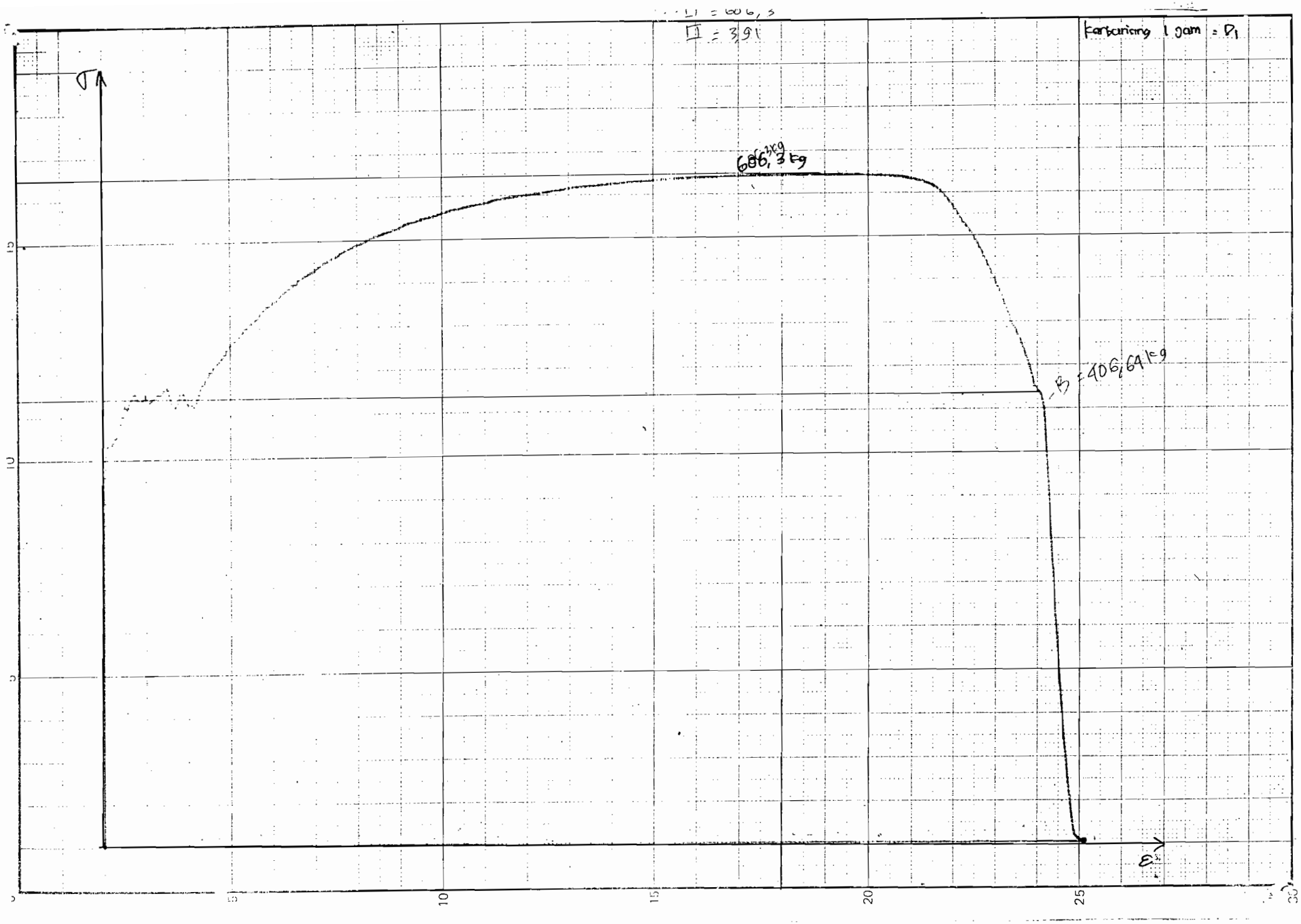
□ = 3,98

Normalising R4

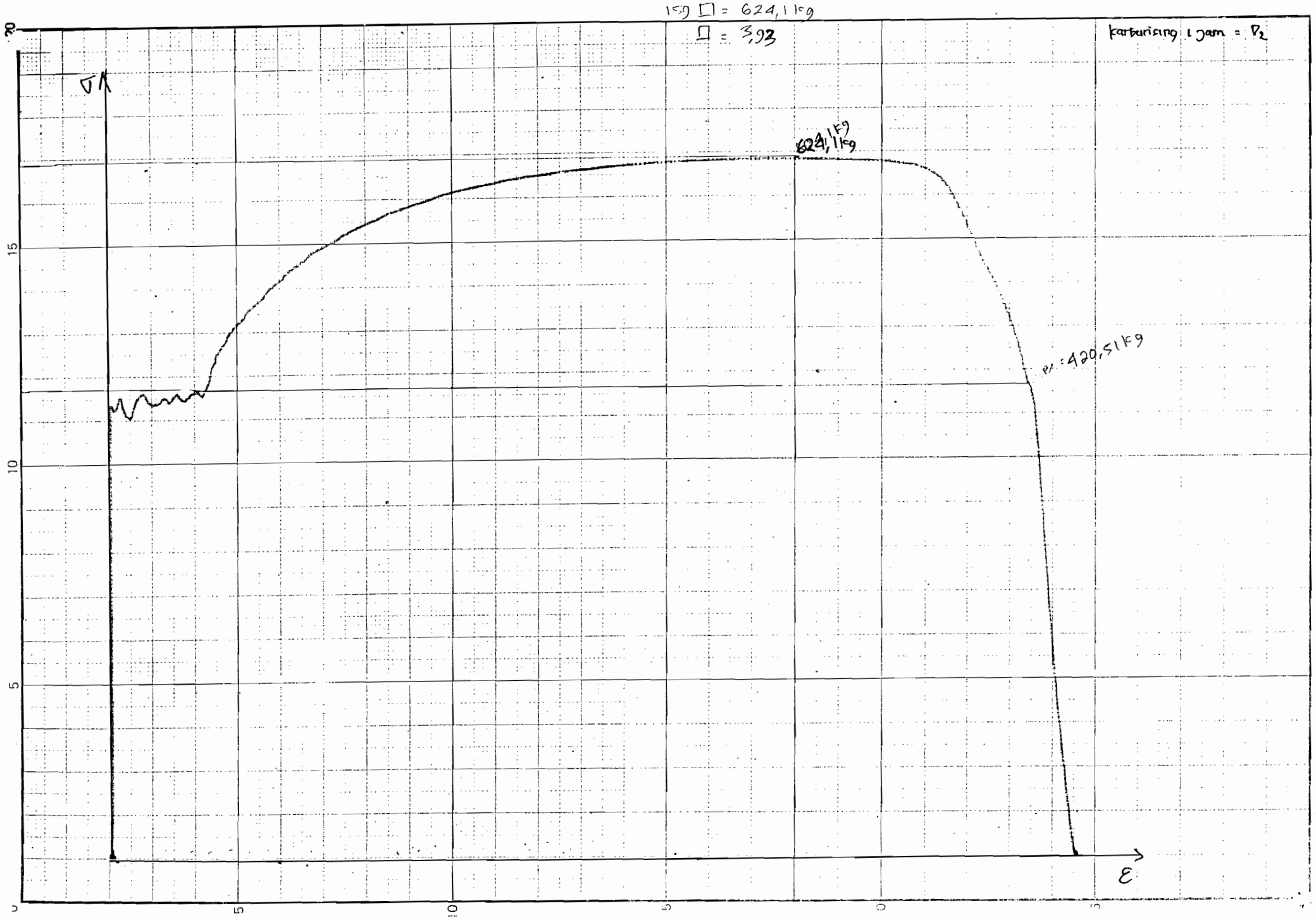




Normalising D5
σ
ε
541,6
347,6
0
5
10
15
20
25
30

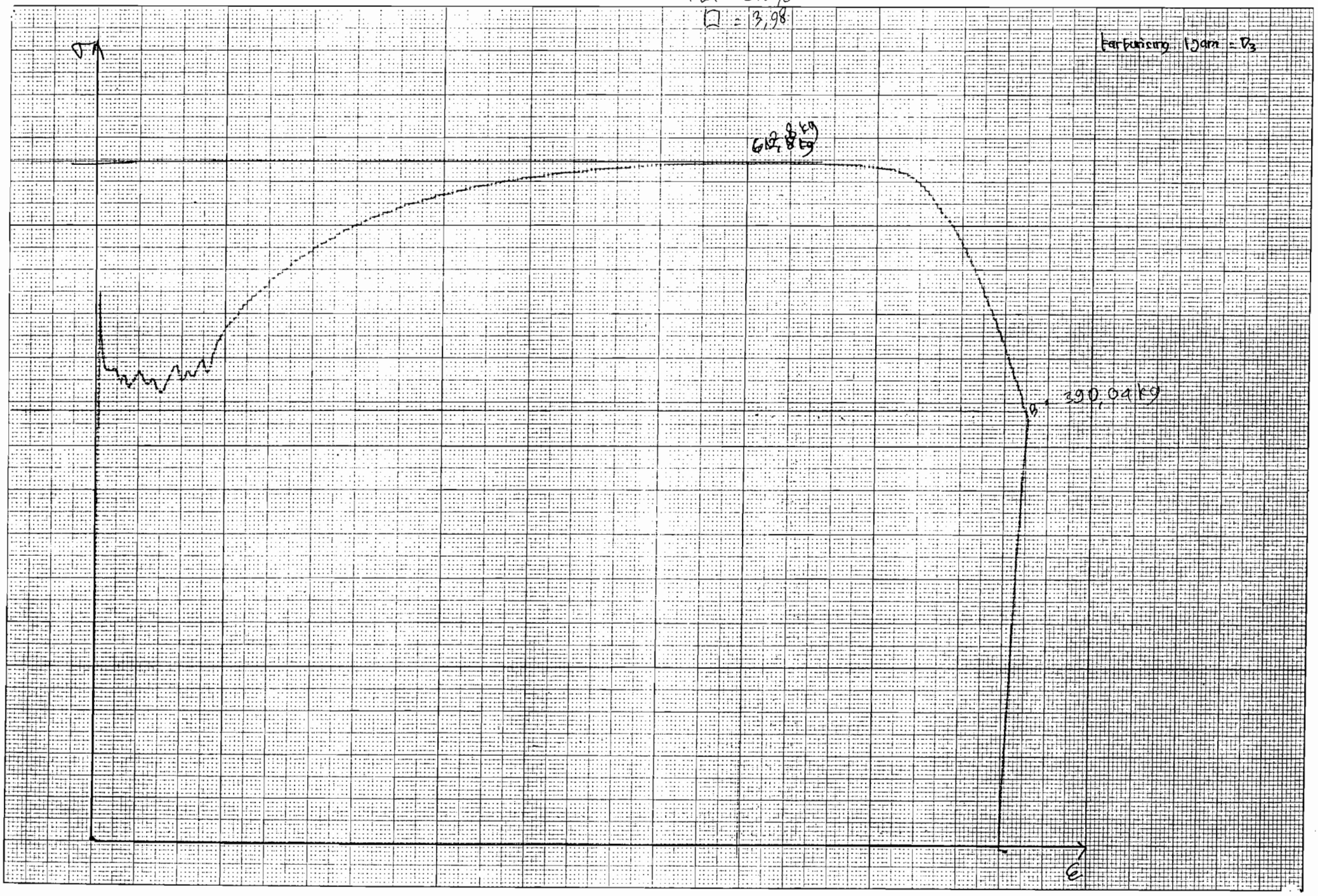


= 606,3
= 3,91
Karbunking 1 jam = D1
σ
606,3 kg
B = 406,64 kg
ε
5
10
15
20
25
30


15g □ = 624,1 kg
□ = 3,93
karburising 1 jam = P2
σ
624,1 kg
P1 = 420,5 kg
ε
20
15
10
5
0
5
10
5
0
5

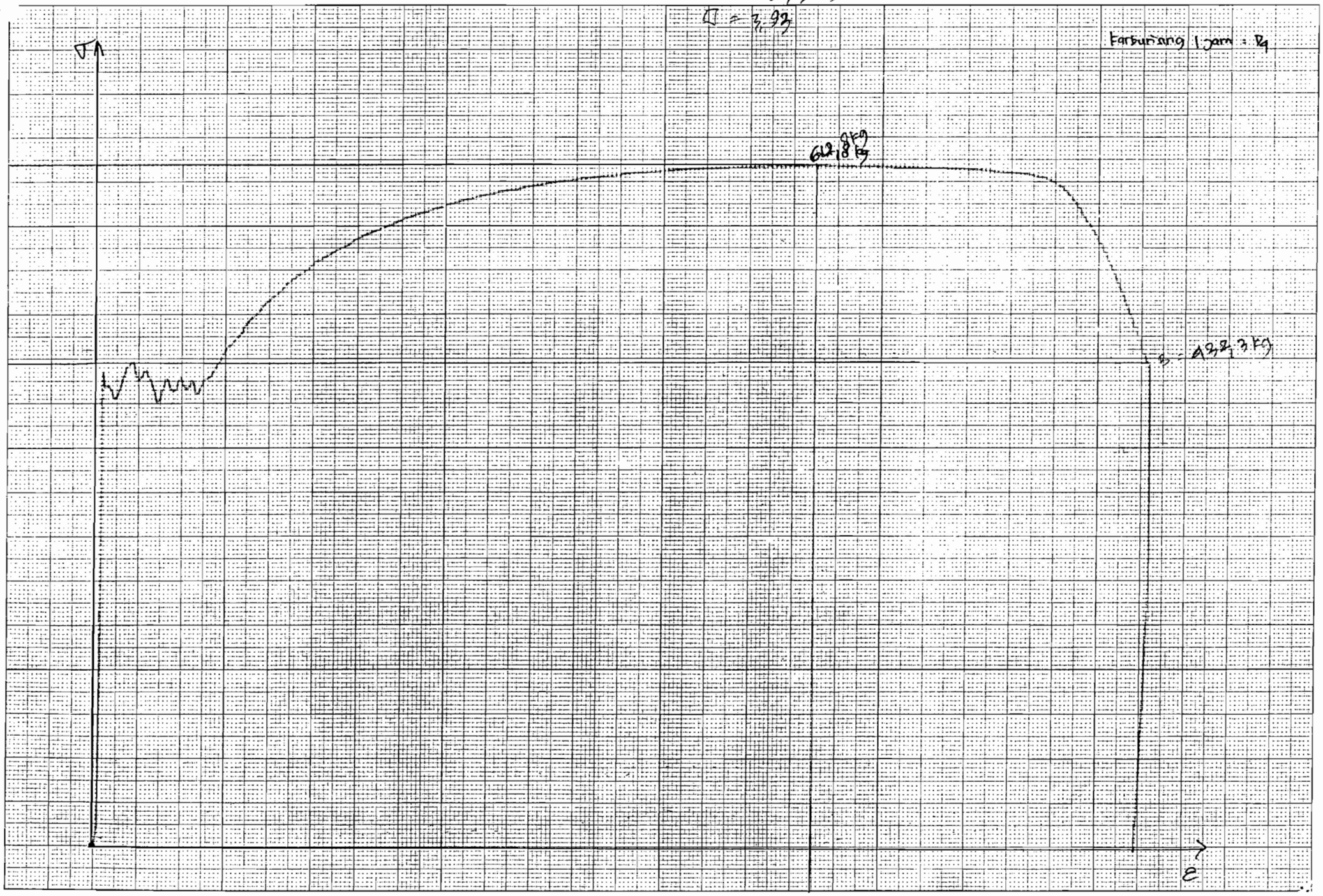
154 □ = 612,8

□ = 3,98



155 □ = 608,8 kg

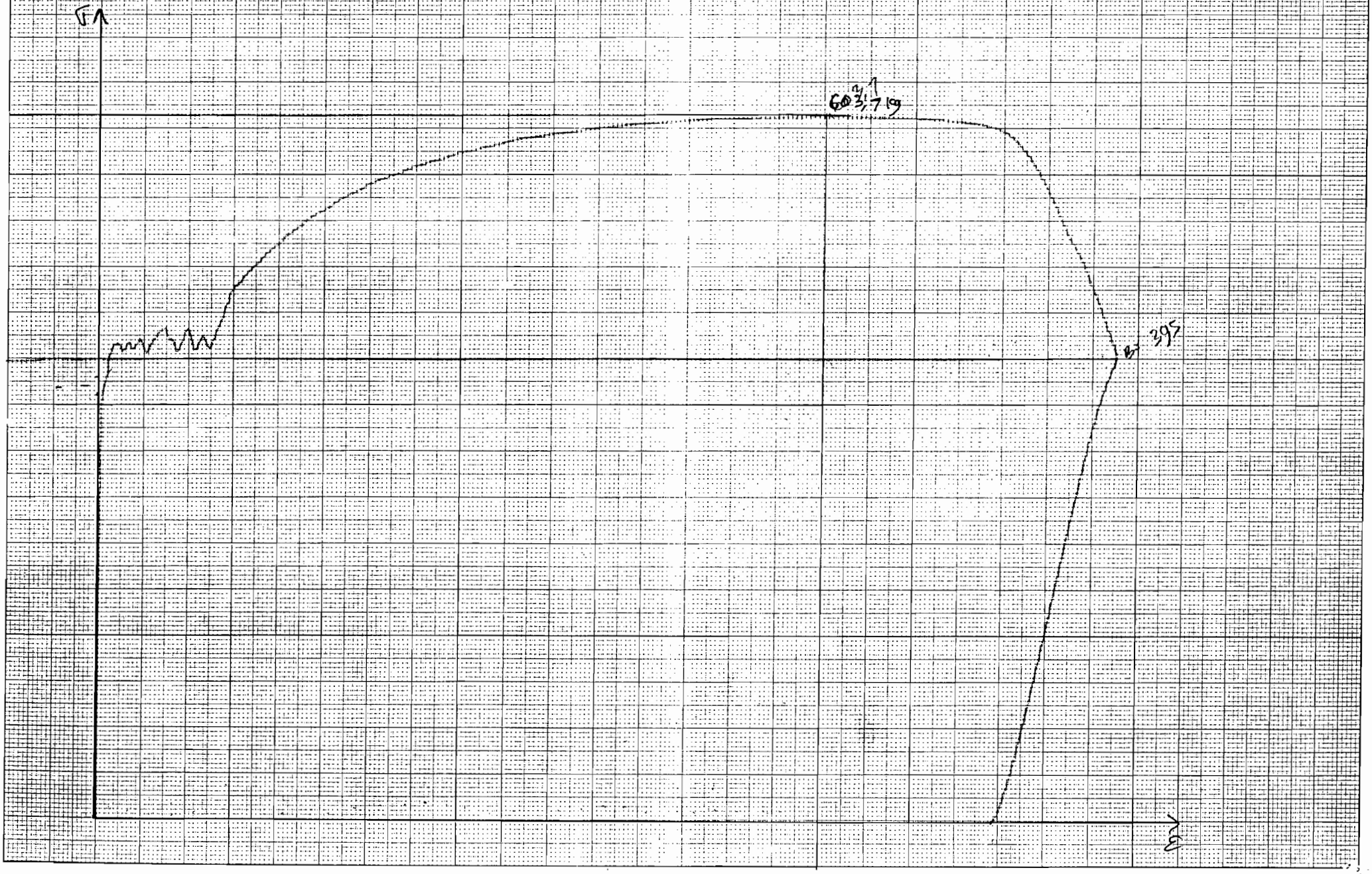
□ = 3,92

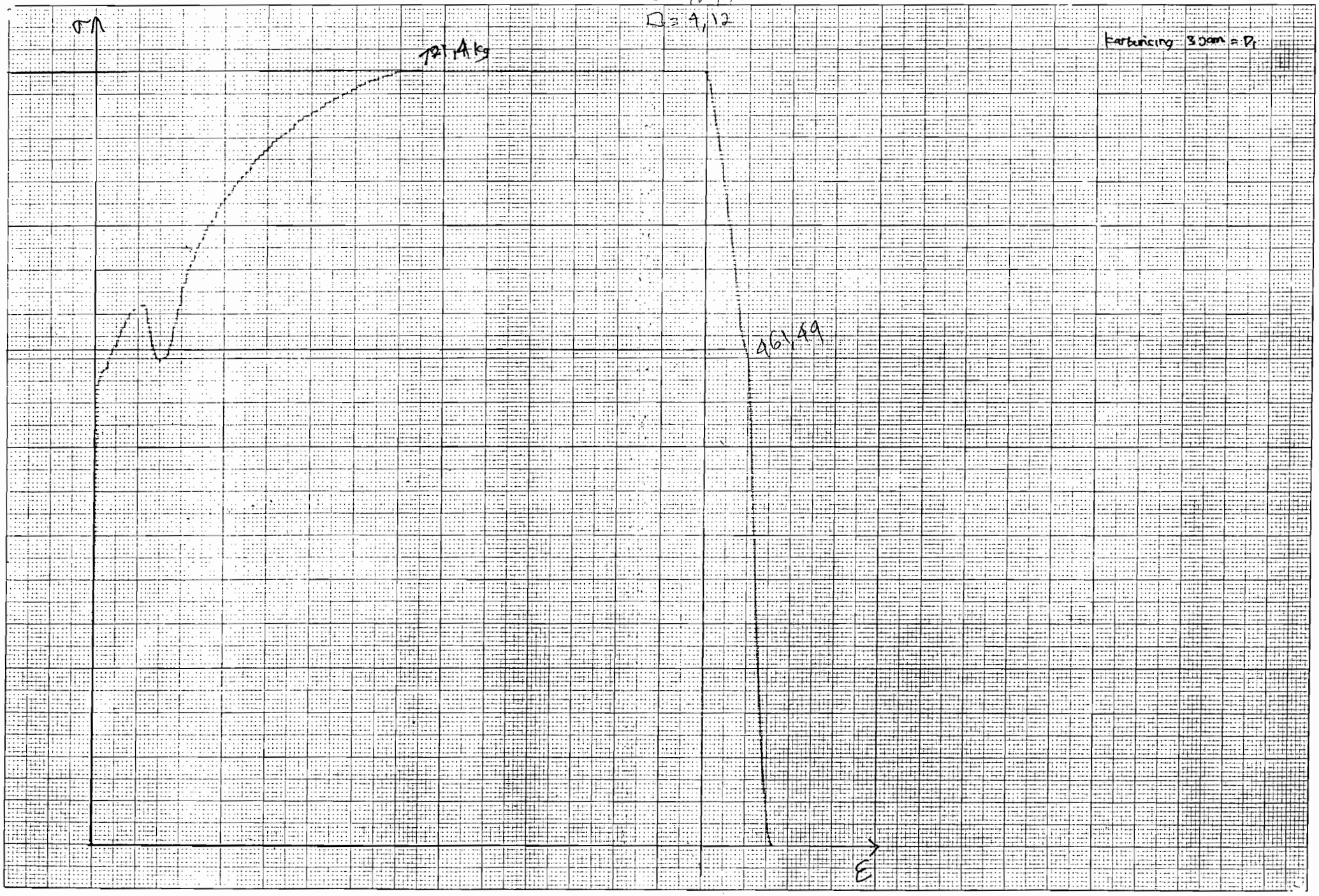


153 □ = 603,7

□ = 3,95

Karbonang 1 jam : D_5



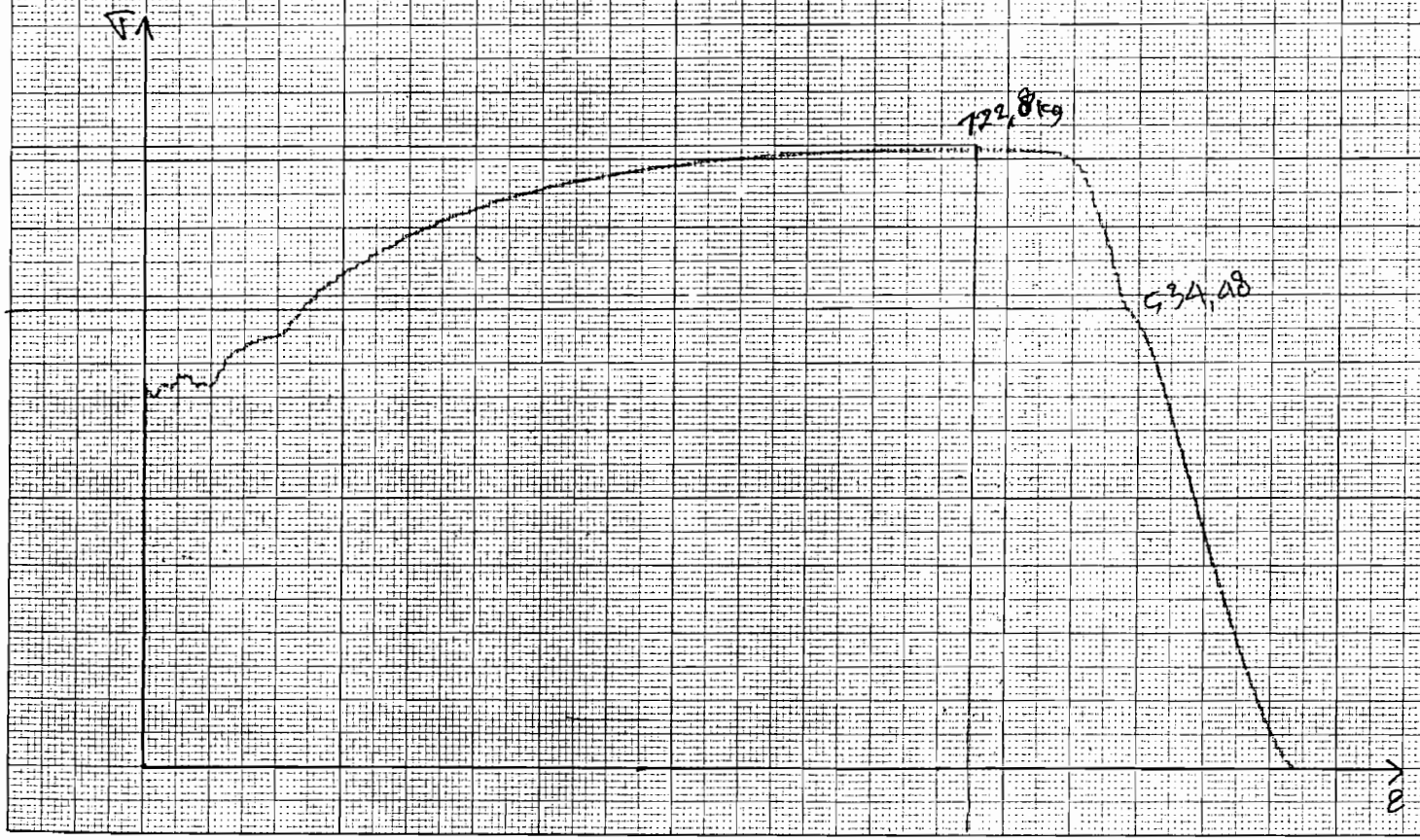


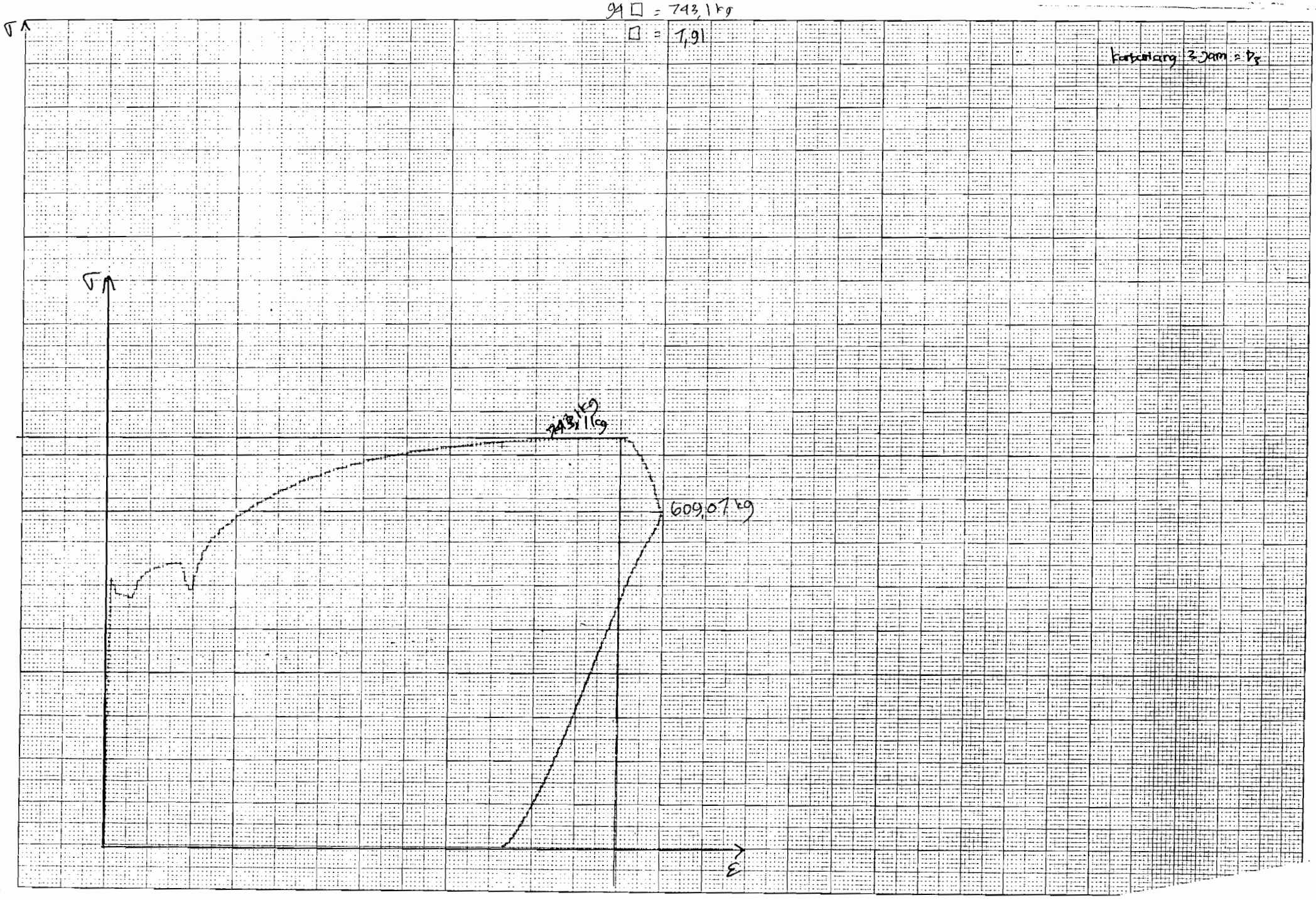
σ
721,4 kg
□ = 4,12
Karbunsing 3 jam = D1
461,49
ε

92 □ = 722,8 kg

□ = 7,86

karburising 3 jam = P_2

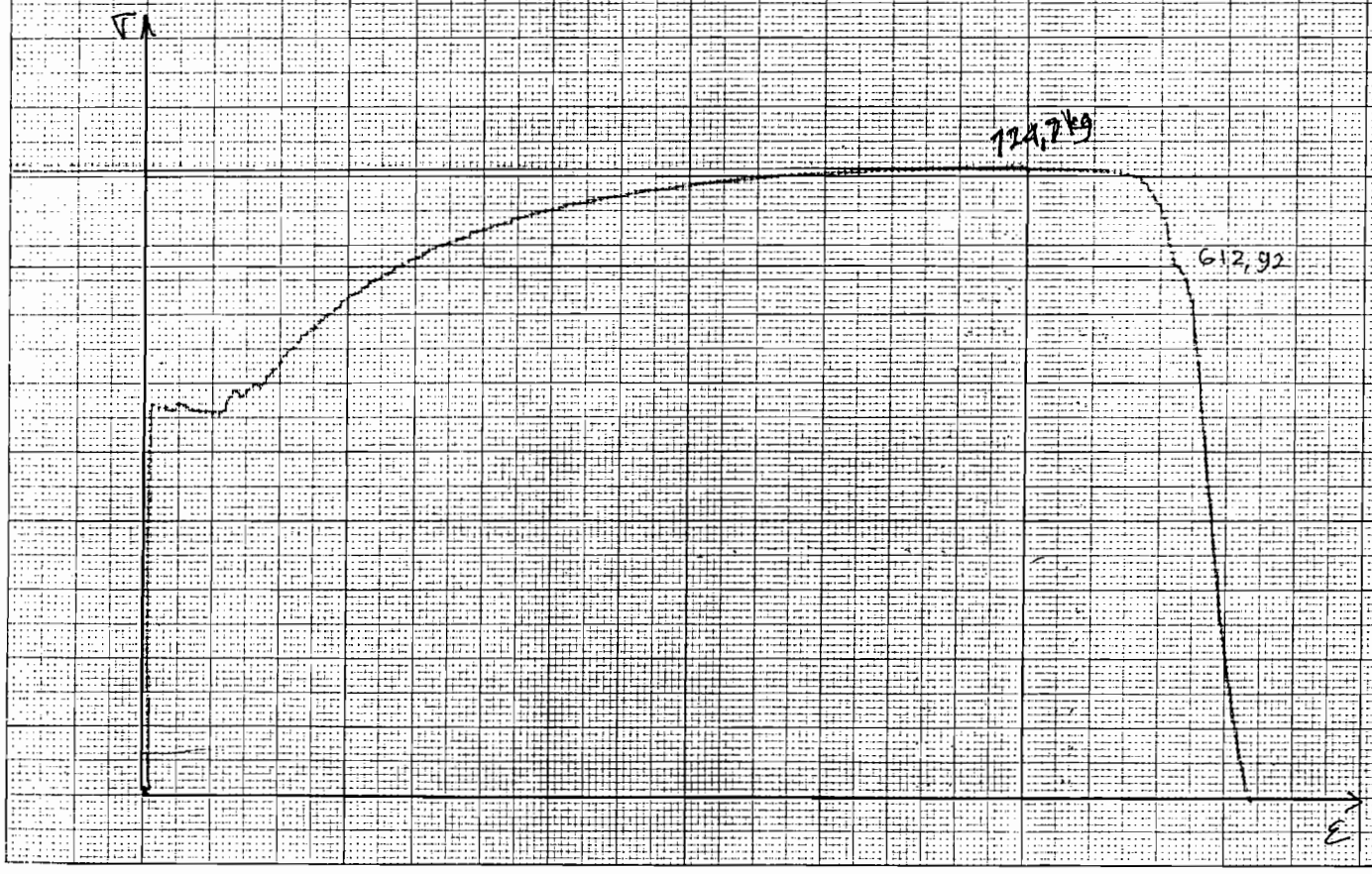



94 □ = 743,1 kg
□ = 7,91
karbonang 3 jam = D_3
σ
σ
743,1 kg
609,07 kg
ε

91 □ = 724,7kg

□ = 7,96

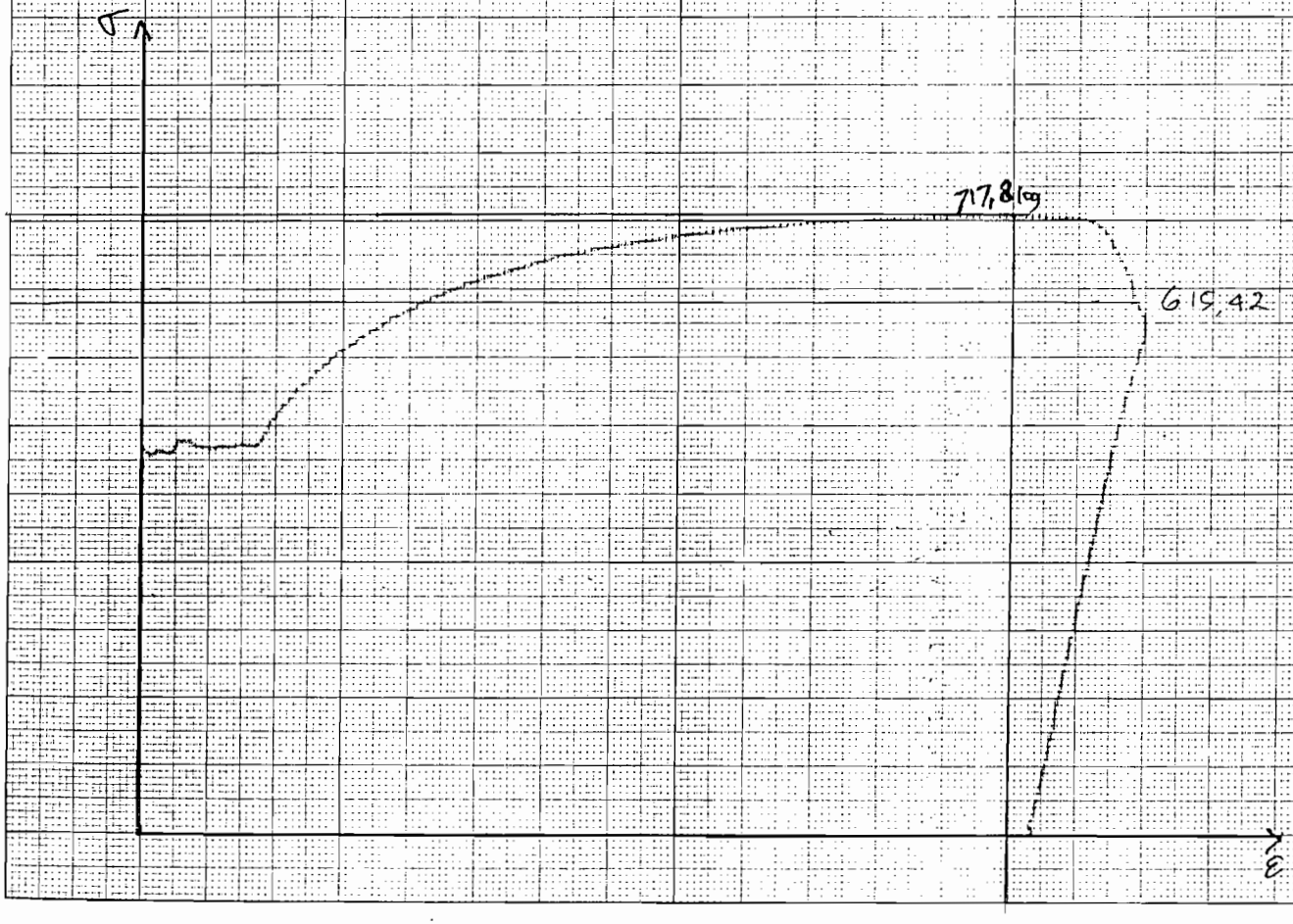
karburisang 3,5mm = Dg



91 □ = 717,8

□ = 7,89

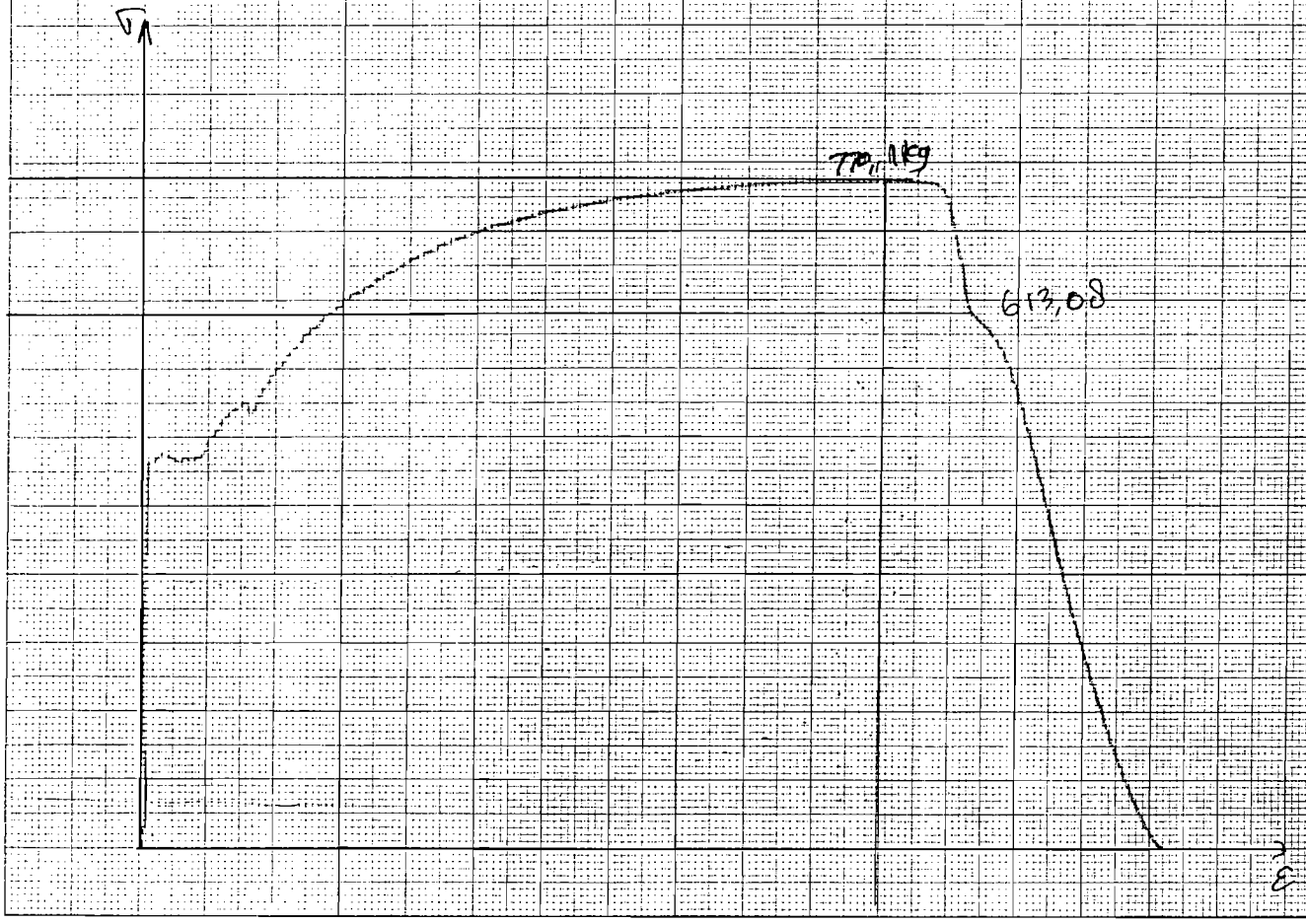
Carburising 3 jam : D5



98 □ = 770,1 kg

□ = 7,86

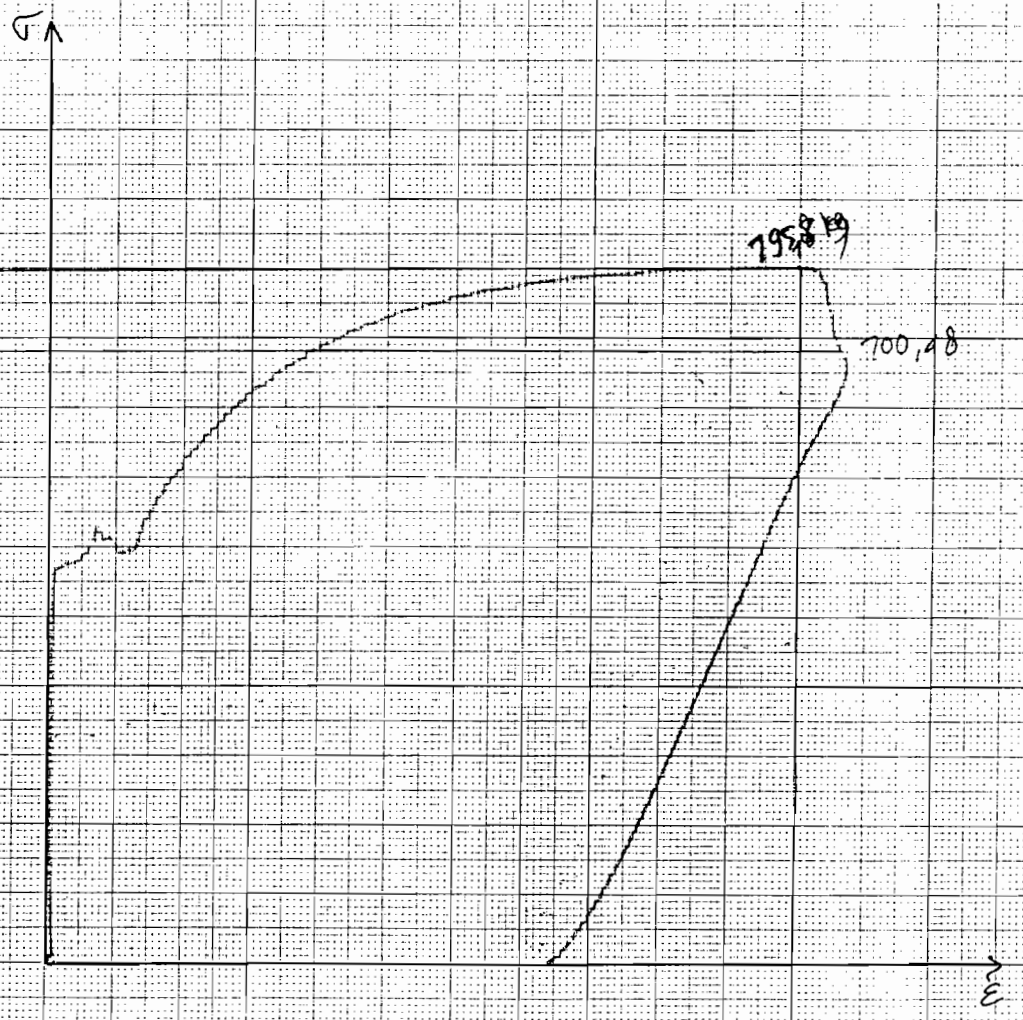
Karbunsing 5 jam = D1



$100 \square = 795,8$ kg

$\square = 7,96$

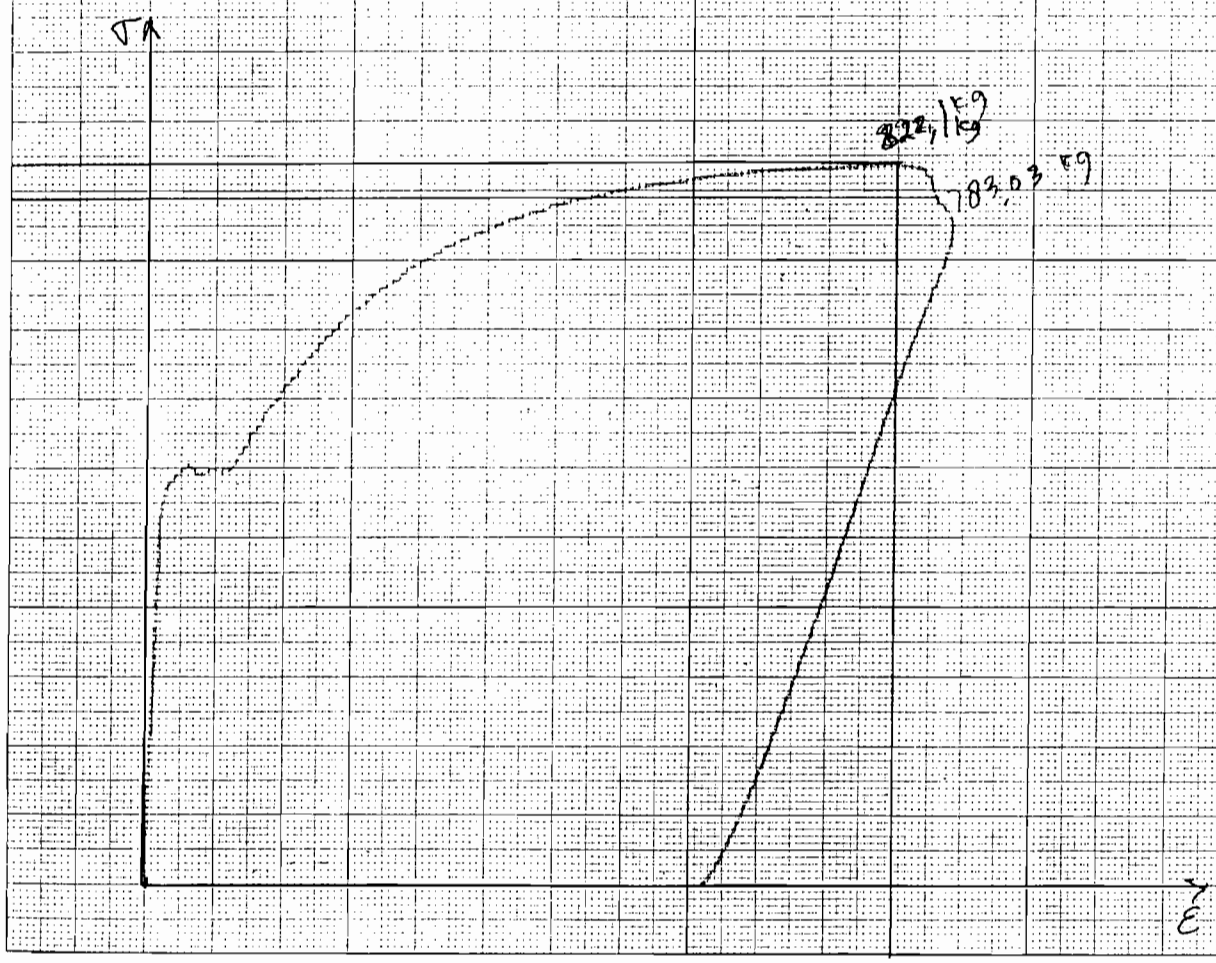
Karburising 5 Jam = D_2

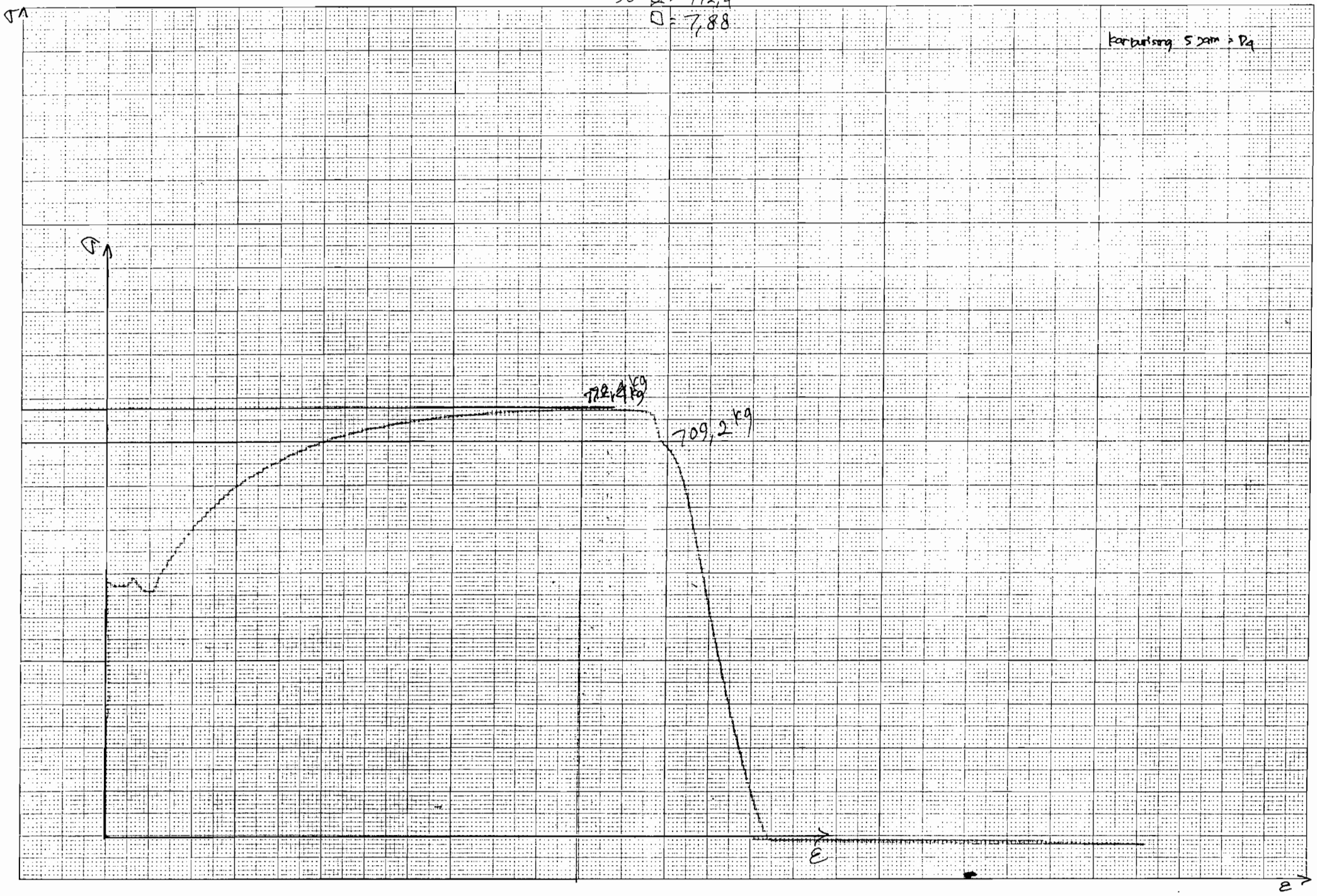


$104\square = 822{,}1$

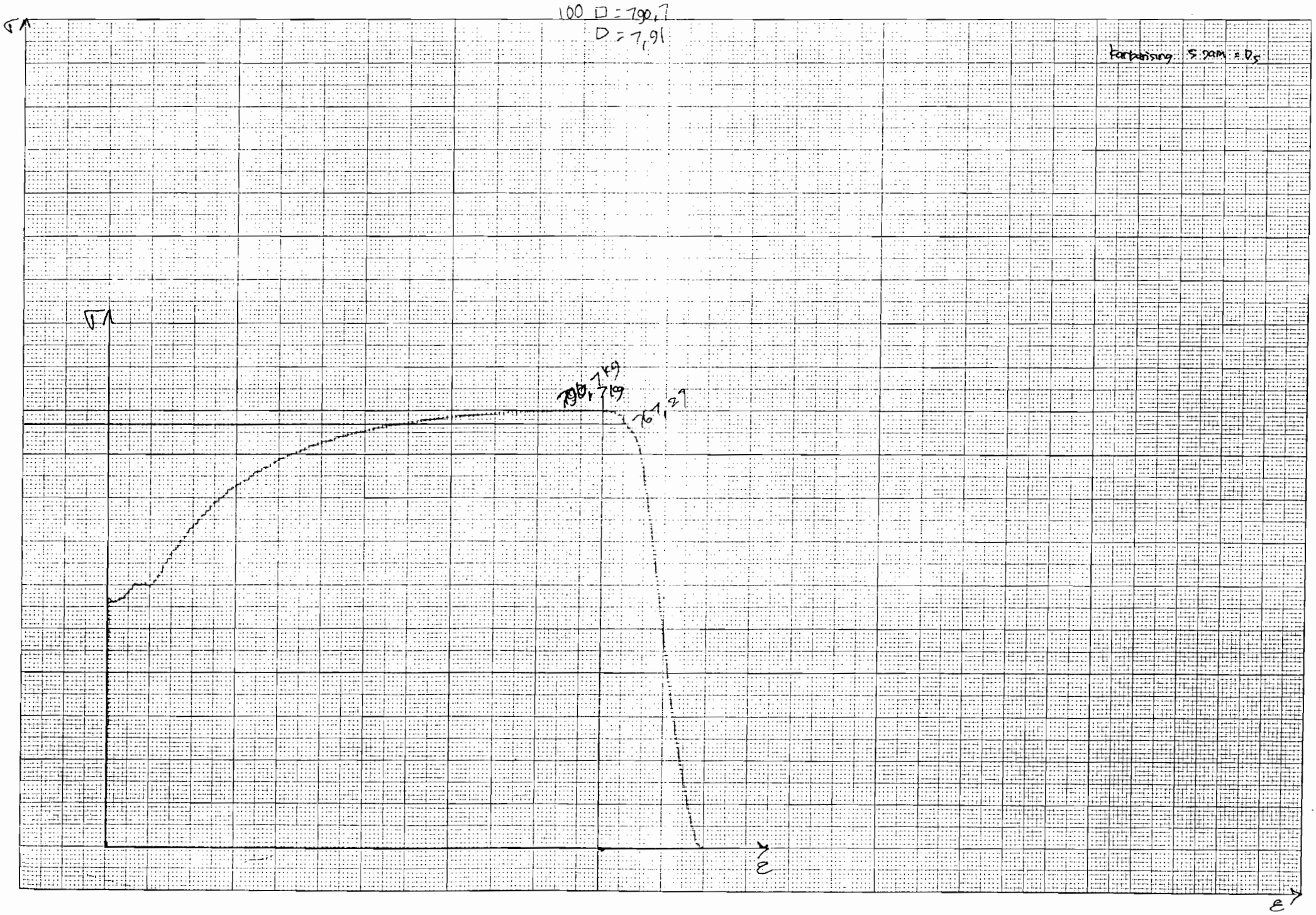
$D = 7{,}91$

Karburising 5 jam = D_3





38 ▭ = 772,4
□ = 7,88
karburisasi 5 jam = D4
σ
772,4 kg
709,2 kg
ε


100 □ = 790,7
D = 7,91
Karbonising 5 jam = D5
σ
ε
790,749
767,27

DAFTAR HADIR SEMINAR TUGAS AKHIR

"THE EFFECT OF CARBURIZING WITH CHARCOAL COCONUT SHELL OF LOW CARBON STEEL"

Agatha Lilik W. H.

995214102

No	Nama	NIM	Tanda Tangan
1	ERICK	995214168	
2	FIRISKA	995214146	
3	Yonatan	995214159	
4	Andoyo Wanyu	995214136	
5	ANTONIUS DHANIS	995214128	
6	BAYU SURYO S.	995214160	
7	Nia	009114023	
8	Siska	009114079	
9	Yeny	009114075	
10	Ronie	998114196	
11.	Henny	995214025	
12.	JONI	995214124	
13.	Eko. P.	995214147	
14	Priyo Hastomo	985214049	
15.	Al. Alex Prabowo	985214061	
16	Avianto	975214006	
17	widiatmoko	005214039	
18	Herdani	995314009	
19	Rita	995314138	
20.	Th. Avila Findasari	025214026	
22	Heru Widodo	995214162	

Mengetahui
Dosen Pembimbing

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

UJIAN PENDADARAN TUGAS AKHIR SKRIPSI
TANGGAL : 21 Nopember 2003

NAMA Mhs. : AGATHA FILIK WAHYU HANDAYANI

NIM : 995214102

JUDUL :
The effect carburizing with charcoal coconut shell of low carbon stell

Pembimbing Utama : Budi Setyahandana, S.T., M.T.

Pembimbing Kedua : Ir. YB. Lukiyanto, M.T.

USULAN REVISI DARI DOSEN PENGUJI

1. 1 lembar untuk mahasiswa
2. 1 lembar untuk dosen pembimbing

* Istilah insert ganti diffusi ✓
* Sumbu² dalam grafik di lampiran di jelaskan nama & satuan.
* Daftar Pustaka perbaiki ✓
* Editorial : kesalahan ketik, bahasa dsb ✓ dapat dilihat dalam naskah !
* Satuan u/ DHN cantumkan ✓
* Penunjukkan gambar, tabel dalam kalimat harus diawali dg. huruf kapital ✓
* Sumber, Gambar, Dieter → ganti yg sebenarnya ✓
* Kata Pengantar, perbaiki
* Batasan masalah & Tujuan Penelitian ✓
* Kesimpulan → kuantitatif

Acc - 4-12-2003