

# **THE EFFECTS OF SPUTTERING ON THE HARDNESS, TENSILE STRENGTH AND TOUGHNESS OF LOW CARBON STEEL**

## **TUGAS AKHIR**

Untuk memenuhi sebagian persyaratan  
mencapai derajat sarjana S-1

Program Studi Teknik Mesin  
Jurusan Teknik Mesin



**Diajukan Oleh:**

**EKO PRASETYO**  
99 5214 147

**Kepada**

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SANATA DHARMA  
YOGYAKARTA  
2004**

## TUGAS AKHIR

### PENGARUH SPUTTERING PADA BAJA KARBON RENDAH TERHADAP KEKERASAN, KEKUATAN TARIK DAN KELIATAN BAHAN

Yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : EKO PRASETYO

NIM : 99 5214 147

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Pada Tanggal 16 Desember 2004

#### Susunan Dewan Penguji:

##### Pembimbing Utama




Budi Setyanandana, S.T., M.T.

##### Anggota Dewan Penguji

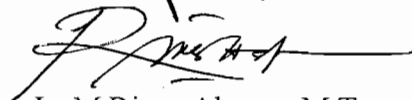


Ir. Gusti Ketut Puja, S.T., M.T.


##### Sekretaris



Budi Sugiharto, S.T., M.T.



Ir. M Rines Alapan, M.T.



D. Doddy Hurwadianto, S.T., M.T.

Tugas akhir ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Yogyakarta 16 Desember 2004

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SANATA DHARMA

YOGYAKARTA

Dekan



Ir. Greg. Heliarko, S.J., S.S., B.S.T., M.A., M.Sc.

## **PERNYATAAN**

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu 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 19 Oktober 2004

Eko Prasetyo



**JURUSAN TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SANATA DHARMA**  
Kampus III, Paingan Maguwoharjo, Sleman -Yogyakarta  
Telp.(0274) 883037, 883968, 886530; Fax.(0274) 886529; Email :teknik@staff.usd.ac.id

**TUGAS AKHIR/SKRIPSI PROGRAM S-1**  
**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIV. SANATA DHARMA YOGYAKARTA**

No: 473 / FT .USD / TM / Oktober / 2004

NAMA : Eko Prasetyo  
NIM : 995214147  
Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik , Univ. Sanata Dharma Yogyakarta  
Judul TGA :  
Selidiki Pengaruh Sputtering pada Baja Karbon rendah terhadap  
kekerasan, kekuatan tarik dan Keliatan Bahan  
Tanggal dimulai : 6 Maret 2004

Pembimbing II

Yogyakarta , 19 Oktober 2004

Pembimbing I

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

## PERSEMBAHAN

- *Tuhan itu baik, Ia tak akan meninggalkan orang yang berharap kepada-Nya*
- *Segala tulisan yang diilhamkan Allah memang bermanfaat untuk mengajar, untuk menyatakan kesalahan, untuk memperbaiki kelakuan dan untuk mendidik orang dalam kebenaran  
( II Timotius 3:16 )*

*Kupersembahkan karya kecilku ini kepada:*

- *My Lord Jesus Crist, dari pada-Nyalah semua terjadi*
  - *Ayahanda dan Ibunda tersayang*
- *Adik-adikku tersayang R-na dan R-lin*
- *Almamater-ku Teknik Mesin. USD.*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas segala rahmat dan karunia-Nya yang dilimpahkan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul ***"PENGARUH SPUTTERING PADA BAJA KARBON RENDAH TERHADAP KEKERASAN, KEKUATAN TARIK DAN KELIATAN BAHAN"***.

Penulisan skripsi ini disusun dengan maksud untuk memenuhi salah satu prasyarat akademik dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

Dalam penulisan skripsi ini penulis telah banyak mendapatkan bantuan, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Dan pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Ir. Greg. Heliarko, S.J.,S.S.,B.S.T.,M.A.,M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
2. Yosef Agung Cahyanta S.T.,M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
3. Budi Setyahandana S.T.,M.T selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan bimbingan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Drs. B. A. Tjipto Sujitno, M.T., APU. selaku Kepala Kelompok Akselerator yang telah memberi ijin untuk melakukan penelitian di BATAN, Yogyakarta.

5. Bpk Karmadi yang telah membantu dan memberikan masukan dan saran dalam melakukan penelitian.
6. Mas Martono selaku pegawai Laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma, yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Bapak, Ibu dan kedua adikku yang selalu memberi semangat dan doa serta memberi dorongan baik material maupun spiritual selama penyusunan skripsi ini.
8. Anak-anak angkatan 99 TM USD klas B terima kasih kuucapkan.
9. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna dan terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis bersedia menerima saran maupun kritik yang membangun demi perbaikan selanjutnya.

Akhirnya penulis berharap semoga penulisan Tugas Akhir ini dapat memberikan tambahan wawasan ilmu pengetahuan dan teknologi yang berguna bagi semua pihak yang berkepentingan.

Yogyakarta, April 2004

Penulis

Eko Prasetyo

## ABSTRACT

### ***“THE EFFECTS OF SPUTTERING ON THE HARDNESS, TENSILE STRENGTH AND TOUGHNESS OF LOW CARBON STEEL”***

The research had done to know the increasing of surface hardness of low carbon steel through deposition carbon on the surface low carbon steel by using sputtering plasma method.

In this research, it has been fabricated a carbon thin film on low carbon steel substrat using sputtering plasma method. Sputtering parameters used in this experiments were pressure =  $4 \times 10^{-2}$  Torr, current = 40 mA, voltage = 2,5 kV and time deposition 1 hours. Process the sputtering done with the variation of temperature from 150°C to 350°C with 50° C interval.

The experiment has been done by the hardness tested, tensile strength and impact test. And the tested done, it's found that carbon ion deposition on to low carbon steel substrat can increase its hardness. Optimum hardness in order of 217,567 kgf/mm<sup>2</sup> and achieved at temperature 250° C while for the examination of tensile strength and impact tested had not shown the significant increasing value.



## INTISARI

### ***“PENGARUH SPUTTERING PADA BAJA KARBON RENDAH TERHADAP KEKERASAN, KEKUATAN TARIK DAN KELIATAN BAHAN”***

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui peningkatan kekerasan permukaan baja karbon rendah melalui pendeposisian unsur karbon pada permukaan baja karbon rendah dengan menggunakan metode plasma sputtering.

Dalam penelitian ini dibuat lapisan tipis karbon pada substrat baja karbon rendah dengan metode plasma sputtering. Parameter sputtering yang digunakan adalah tekanan  $4 \times 10^{-2}$  Torr, arus = 40 mA, tegangan 2,5 kV dan waktu pendeposisian 1 jam. Proses sputtering dilakukan dengan variasi suhu dari 150°C – 350° C dengan interval 50° C.

Pengujian yang dilakukan dengan uji kekerasan, uji kekuatan tarik dan uji dampak. Dan hasil uji secara umum dapat dikatakan bahwa pendeposisian unsur karbon pada permukaan baja karbon rendah dapat meningkatkan kekerasan. Nilai kekerasan optimal 217,567 kgf/mm<sup>2</sup> dengan suhu substrat 250° C sedangkan untuk uji kekuatan tarik dan uji dampak tidak memperlihatkan kenaikan nilai yang berarti.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN UJIAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN SOAL</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>INTI SARI</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>DAFTAR LAMBANG NOTASI</b> .....	xv
<b>BAB I      PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Batasan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Metode Penulisan .....	4
<b>BAB II     LANDASAN TEORI</b> .....	5
2.1 Produksi Baja.....	5
2.2 Sifat Baja .....	6
2.3 Jenis-jenis Baja.....	8
2.3.1 Baja Karbon.....	8
2.3.2 Baja Paduan Rendah .....	8
2.3.3 Baja Tahan Karat.....	10

2.3.4	Baja Tuang/cor .....	11
2.3.5	Baja Perkakas .....	11
2.3.6	Baja Spesial .....	12
2.4	Diagram Fasa Besi Karbon .....	13
2.5	Perlakuan Panas .....	16
2.6	Pelapisan Permukaan .....	19
2.7	Pendeposisian Lapisan Tipis dengan Metode Sputtering..	23
2.7.1	Dasar Teori .....	23
2.7.2	Kelebihan Metode Sputtering .....	28
2.7.3	Pembentukan Lapisan Tipis .....	28
2.8	Bahan-bahan Proses Sputtering .....	31
2.8.1	Baja Karbon Rendah .....	31
2.8.2	Karbon .....	32
2.8.3	Gas Argon .....	35
2.9	Pengujian Bahan .....	36
<b>BAB III</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>44</b>
3.1	Skema penelitian .....	44
3.2	Bahan dan Bentuk Spesimen .....	45
3.2.1	Bahan .....	45
3.2.2	Bentuk Spesimen .....	45
3.2.3	Proses Perlakuan Panas .....	47
3.2.4	Proses Plasma Sputtering .....	48
3.3	Proses Pengujian .....	51
3.3.1	Pengujian Kekerasan Vickers .....	51
3.3.2	Pengujian Kekuatan Tarik .....	54
3.3.3	Pengujian Impak .....	55

<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	58
	4.1 Komposisi kimia.....	58
	4.2 Hasil Pengujian Kekerasan Vickers .....	58
	4.2.1 Pembahasan.....	61
	4.3 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik.....	62
	4.3.1 Pembahasan.....	65
	4.4 Hasil Pengujian Takik .....	66
	4.4.1 Pembahasan.....	68
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	69
	5.1 Kesimpulan.....	69
	5.2 Saran .....	70
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	71
	<b>LAMPIRAN</b> .....	72

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Struktur dan sifat-sifat baja karbon sebelum pengerasan .....	7
Gambar 2.2.	Diagram Fe-C .....	9
Gambar 2.3.	Diagram keseimbangan besi-karbon .....	16
Gambar 2.4.	Suhu menormalkan baja .....	18
Gambar 2.5.	Suhu pengerasan pada baja .....	18
Gambar 2.6.	Proses sputtering secara fisis .....	24
Gambar 2.7.	Tumbukan ion dan partikel yang tersputter.....	27
Gambar 2.8.	Hubungan tegangan-regangan dan cara memperoleh kekuatan mulur .....	36
Gambar 2.9.	Metode pengujian kekerasan .....	38
Gambar 2.10.	Hubungan antara kandungan karbon dengan kekerasan baja .....	40
Gambar 3.1.	Spesimen uji kekerasan .....	46
Gambar 3.2.	Spesimen uji tarik .....	46
Gambar 3.3.	Spesimen uji impak .....	47
Gambar 3.4.	Tumbukan ion-ion pada permukaan target .....	49
Gambar 3.5.	Skema sistem plasma sputtering .....	51
Gambar 3.6.	Panumbuk piramida intan .....	53
Gambar 4.1.	Grafik perbandingan kekerasan terhadap suhu sputter .....	60
Gambar 4.2.	Grafik perbandingan kekuatan tarik terhadap suhu sputter.....	64
Gambar 4.3.	Grafik perbandingan tegangan patah terhadap suhu sputter.....	65
Gambar 4.4.	Grafik perbandingan regangan terhadap suhu sputter.....	65
Gambar 4.5.	Grafik perbandingan keliatan bahan terhadap suhu sputter .....	68

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Pengaturan unsur-unsur paduan pada baja .....	10
Tabel 2.2.	Jenis-jenis baja menurut AISI dan SAE .....	13
Tabel 2.3.	Karakteristik berbagai pengujian kekerasan .....	40
Tabel 4.1.	Komposisi kimia baja karbon rendah.....	58
Tabel 4.2.	Hasil perhitungan nilai rata-rata kekerasan .....	60
Tabel 4.3.	Data hasil percobaan uji tarik .....	62
Tabel 4.4.	Hasil perhitungan nilai rata-rata pengujian tarik.....	64
Tabel 4.5.	Data hasil percobaan uji impak .....	66
Tabel 4.6.	Hasil perhitungan nilai rata-rata keliatan bahan .....	67

## NOTASI / LAMBANG

$E_i$	=	Energi kinetik rata-rata ion gas sputter
$E_t$	=	Energi yang ditransfer
$M_i$	=	Massa atom ion gas sputter
$M_s$	=	Massa atom target
$Q$	=	Sudut datang ion gas sputter dengan normal
$K$	=	Konstanta bahan target
$\lambda$	=	Jalan bebas rerata hamburan elastis
$N_o$	=	Jumlah atom-atom kisi persatuan volume
$R$	=	Jari-jari tumbukan untuk model bola tegar
$C$	=	Suatu konstanta
$\alpha_o$	=	Jari-jari atom
$e$	=	Muatan electron
$\epsilon_o$	=	Konstanta dielektrikan dalam hampa
$Z_{ic}$	=	Muatan untuk $M_i$
$Z_{sc}$	=	Muatan untuk $M_s$
$S$	=	Produksi sputter
$U$	=	Kecepatan pengikisan atom-atom target
$\alpha$	=	Rapat arus ion pada permukaan target
$\rho$	=	Rapat jenis target
$D$	=	Laju deposisi / kecepatan pertumbuhan lapisan
$HV$	=	Nilai kekerasan Vickers
$P$	=	Beban tekan
$A$	=	Luas penekanan
$d$	=	Diagonal penekanan
$\sigma_U$	=	Kekuatan tarik
$\sigma_B$	=	Tegangan patah

$\varepsilon$	=	Keuletan / regangan
$\psi$	=	Konstraksi
$\Delta L$	=	Pertambahan panjang
$A_o$	=	Luas penampang mula-mula
$A_f$	=	Luas penampang akhir benda uji
$L_o$	=	Panjang uji mula
$F_{maks}$	=	Beban maksimal
$F_{Break}$	=	Beban patah
$G$	=	Berat pendulum
$W$	=	Tenaga patah



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Penerapan teknologi dalam negara-negara industri semakin maju dan meningkat 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 sebagai “Ilmu yang mempelajari bagaimana cara mengubah atau mengerjakan bahan yang disediakan oleh alam menjadi barang jadi atau barang 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. Suatu bahan yang dirancang dalam waktu penggunaan yang lama sangatlah membutuhkan tingkat ketelitian yang sangat tinggi, berbagai perlakuan telah dilakukan untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik yang diinginkan seperti kekerasan, kekuatan, ketahanan dan lain-lain sebagai akibat dari tuntutan kebutuhan untuk mendapatkan sifat mekanik yang tegangan dan kekuatannya mempunyai harga yang wajar dan memuaskan.

Kerusakan suatu material/komponen suatu mesin selalu diawali dari permukaan, kerusakan tersebut dapat disebabkan karena korosi atau berinteraksi dengan benda lain seperti misalnya bergesekan dengan

komponen lain. Sebagai suatu usaha dalam upaya meningkatkan kualitas dan mutu permukaan material/komponen sesuai dengan yang diinginkan maka digunakanlah suatu proses perlakuan permukaan.

Dalam bidang rekayasa permukaan bahan, cara meningkatkan kualitas permukaan suatu komponen pada dasarnya dapat ditempuh melalui dua cara yaitu yang pertama dengan penambahan unsur tertentu secara difusi yang dilaksanakan pada suhu tinggi dan diikuti oleh pengolahan panas tertentu. Permukaan baja juga akan mengalami perubahan komposisi kimia dan strukturnya sehingga kekerasan permukaan baja bertambah, sedangkan yang kedua dengan cara mengubah fasa atau struktur kristalnya melalui pemanasan pada suhu tertentu kemudian diikuti dengan pendinginan cepat atau pendinginan lambat sesuai struktur kristal yang akan dituju.

Cara perlakuan permukaan dengan Carburising, Nitriding, Cyaniding dan Carbonitriding serta Diffusion Coating adalah cara yang sudah sejak lama dikenal dan dilakukan untuk mendapatkan suatu permukaan yang keras. Dengan kemajuan ilmu teknologi, khususnya ilmu perlakuan permukaan telah dihasilkan cara pengerasan permukaan dengan membentuk lapisan tipis yang keras pada permukaan material yaitu dengan cara Evaporasi, Chemical Vapour Deposition, Plasma lucutan pijar, Plasma sputtering dan Implantasi ion. Di beberapa negara maju aplikasi Plasma lucutan pijar, Plasma sputtering maupun Implantasi ion sudah diaplikasikan secara mantap di berbagai industri elektronika, industri nuklir dan dibidang magnet listrik.

Berdasarkan uraian diatas, maka penulis dalam tugas akhir ini tertarik untuk menyusun penelitian proses sputtering menggunakan lapisan unsur karbon terhadap baja karbon rendah dengan judul “ **Pengaruh Sputtering pada Baja Karbon Rendah terhadap Kekerasan , Kekuatan Tarik dan Keliatan Bahan**”.

## **1.2 Batasan Masalah**

Agar lebih jelas dan mempermudah pemahaman maka penelitian yang dilakukan memiliki beberapa batasan, penulis memberikan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Bahan yang digunakan adalah baja karbon rendah.
2. Dilakukan proses sputtering pada semua spesimen dengan penambahan unsur karbon.
3. Dilakukan variasi suhu, sedangkan parameter lainnya dibuat konstan.
4. Dilakukan pengujian kekerasan, kekuatan tarik dan impak bahan.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh pendeposisian karbon pada substrat baja karbon rendah terhadap sifat kekerasan bahan.
2. Mengetahui pengaruh kekuatan tarik baja karbon rendah yang telah mengalami proses sputtering.

3. Mengetahui pengaruh tenaga patah baja karbon rendah yang telah mengalami proses sputtering.

#### **1.4 Metode Penulisan**

Dalam menyelesaikan penelitian ini, penulis menggunakan metode-metode sebagai berikut:

##### **1. Observasi**

Melakukan pengamatan dan pencatatan secara langsung terhadap obyek yang diteliti yang dilakukan di Laboratorium Akselerator Badan Tenaga Nuklir Nasional Yogyakarta, di Laboratorium Struktur dan Mekanika Bahan PS-IT UGM, di Laboratorium Mekanika Bahan Program Diploma UGM dan di Laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

##### **2. Konsultasi**

Melakukan konsultasi kepada pihak-pihak yang mempunyai pengalaman dalam hal ini.

##### **3. Studi literatur**

Mempelajari buku-buku maupun tulisan-tulisan yang telah dipertanggung jawabkan kebenarannya sebagaimana layaknya sebuah karya tulis sebagai dasar acuan dan referensi yang mencakup landasan teori, gambar, grafik dan segala sesuatu yang berhubungan dengan penulisan.

## BAB II LANDASAN TEORI

### 2.1. Produksi Baja

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

a. Konverter (*Converter*):

- 1) Proses Bessemer
- 2) Proses Thomas
- 3) Proses Oksigen Berlebih.

b. Dapur Tungku terbuka (*Open Heart Furnace* atau *Siemens Martin*):

- 1) *Basic Open-Heart*
- 2) *Acid Open-Heart*

c. Dapur Listrik (*Electric Furnace*):

- 1) *Electric Arc-Furnace*
- 2) *Induction Furnace*

## 2.2. Sifat Baja

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

a. *Malleability* /dapat ditempa

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

b. *Ductility* /dapat ditarik/ulet

Logam dapat dibentuk dengan tarikan tanpa menunjukkan gejala putus.

c. *Toughness* /ketangguhan

Kemampuan suatu logam untuk dibengkokkan beberapa kali tanpa mengalami retak.

d. *Hardness* /kekerasan

Ketahanan suatu logam terhadap penetrasi atau penusukan logam lain.

e. *Strength* /kekuatan

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

f. *Weldability* /mampu mesin

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

g. *Corrosion resistance* /tahan korosi

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

h. *Machinability* /mampu mesin

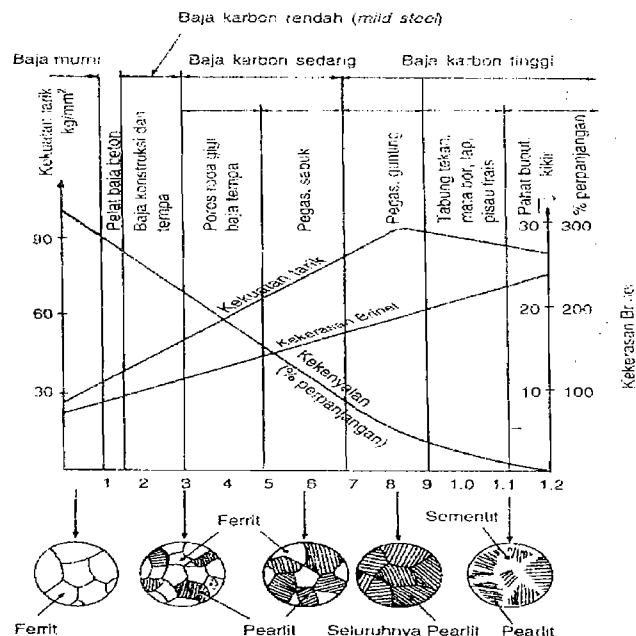
kemampuan suatu logam untuk dikerjakan dengan mesin, misalnya dengan mesin bubut, mesin skrap, mesin frais dan lain-lain.

i. *Elasticity*

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

j. *Brittleness* /kerapuhan

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



Gambar 2.1: Struktur dan sifat-sifat baja karbon sebelum pengerasan.

### 2.3. Jenis-jenis Baja

Baja dapat dibedakan atas beberapa kategori seperti:

#### 2.3.1. Baja Karbon Biasa

Merupakan jenis baja yang paling awal dikenal orang. Baja ini mempunyai komponen utama Fe dan C, baja ini masih dibedakan:

- a. baja karbon rendah dengan kandungan karbon berkisar 0,05-0,30 %
- b. baja karbon sedang dengan kandungan karbon 0,30 - 0,50 %
- c. baja karbon tinggi dengan kandungan karbon lebih besar dari 0,50 %

#### 2.3.2. Baja Paduan Rendah

Mengandung unsur-unsur paduan sebagai elemen tambahan pada Fe dan C. Unsur-unsur paduan tersebut dapat berupa: Mn (Mangan), Ni (Nikel), Cr (Khromium), Mo (Molibden), Si (Silicon) dan lain-lain. Umumnya kandungan masing-masing elemen paduan lebih kecil dari 5 %. Baja ini pada umumnya telah mendapat perlakuan panas (*heat treatment*) oleh pabrik pembuatnya. Tabel 2.2 menunjukkan kode dan komposisi kandungan yang terdapat pada baja. Dua angka pertama (pada baja paduan) menunjukkan kode paduannya dan dua angka terakhir menunjukkan kandungan karbon (C). Maksud penambahan unsur-unsur paduan adalah untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja serta memperbaiki sifat-sifat baja. Unsur-unsur paduan pada baja dapat membuat baja lebih kuat dan ulet yang bereaksi dengan Fe seperti : Ni, Mn, Cr, Mo terutama digunakan

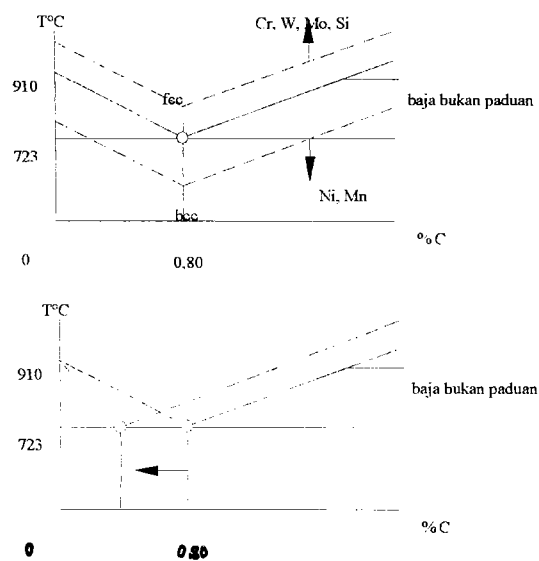


untuk baja konstruksi dandapat membuat baja lebih keras yang bereaksi dengan C seperti Cr, W, Mo, V terutama digunakan untuk baja perkakas dan baja pembentuk seperti pembentuk huruf nama.

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

a. *Perubahan struktur fcc-bcc*. Suhu kritis akan berpindah ke atas (Cr, W, Mo, Si) atau kebawah (Ni, 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, di bawah suhu kamar.



Gambar 2.2: Diagram Fe-C.

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

c. *Kecepatan pendinginan* kritis akan lebih lambat.

Tabel 2.1: Pengaruh unsur-unsur paduan pada baja.

Unsur-unsur paduan	Pengaruh pada baja
S (Sulfur)  dan  P (Phosfor)	Semua baja mengandung S dan P. Unsur-unsur ini sebagian berasal dari kotoran terbawa bijih besi sebelum diolah dalam dapur tinggi. Kadar P dan S harus dibuat sekecil mungkin karena unsur P dan S akan menurunkan kualitas baja. Kadar S dalam jumlah banyak menjadikan baja rapuh pada suhu tinggi (panas) sedang P menjadikan baja rapuh pada suhu rendah (dingin). Kadang-kadang unsur P perlu ditambahkan pada baja agar mudah dikerjakan dengan mesin perkakas dan juga mendapatkan ukuran tatal lebih kecil ketika dikerjakan dengan mesin otomatis (Pb membawa pengaruh seperti P)
Mn (Mangan)	Semua baja mengandung Mn karena diperlukan dalam proses pembuatan baja. Kadar Mn lebih kecil dari 0,6% tidak dianggap sebagai unsur paduan karena tidak mempengaruhi sifat baja secara mencolok. Unsur Mn dalam proses pembuatan baja berfungsi sebagai deoksidator (pengikat O <sub>2</sub> ) sehingga proses peleburan dapat berlangsung baik. Kadar Mn rendah dapat juga menurunkan kecepatan pendinginan kritis.
Ni (nikel)	Unsur Ni memberi pengaruh sama seperti Mn, yaitu menurunkan suhu kritis dan kecepatan pendinginan kritis. Kadar Ni cukup banyak menjadikan baja pada suhu kamar. Ni membuat struktur butiran halus dan menaikkan keuletan baja.
Si (Silikon)	Unsur Si selalu terdapat pada baja. Unsur ini menurunkan laju perkembangan gas sehingga mengurangi sifat berpori baja. Si akan menaikkan tegangan tarik, menurunkan kecepatan pendinginan kritis. Unsur Si harus selalu ada dalam baja walaupun dalam jumlah kecil untuk memberi sifat mampu las dan mampu tempa pada baja.
Cr (Chromium)	Cr dapat memindahkan titik eutektik ke kiri. Cr dan C akan membentuk carbide yang akan menaikkan kekerasan baja. Cr akan meningkatkan kemampuan potong dan daya tahan alat perkakas, tetapi menurunkan keuletan. Cr akan menurunkan kecepatan pendinginan kritis dan menaikkan suhu kritis baja.
Co (Cobalt)	Biasanya unsur Co digunakan bersama-sama dengan paduan lainnya. Co menaikkan daya tahan aus dan menghalangi pertumbuhan butiran.
W (Tungsten) Mo (Molibden) V (Vanadium)	Seperti Cr, unsur-unsur ini akan membentuk carbide 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 pada kecepatan tinggi. Unsur ini tidak begitu mempengaruhi kecepatan pendinginan baja tetapi menaikkan titik eutektik baja. Unsur paduan ini terutama digunakan pada baja HSS (High Speed Steel)

### 2.3.3. Baja Tahan Karat

Baja tahan karat dapat dibedakan atas:

- a. Baja tahan karat austenitik (*austenitic stainless steel*).
- b. Baja tahan karat feritik (*ferritic stainless steel*).
- c. Baja tahan karat martensitik (*martensitic stainless steel*).

Semua jenis baja tahan karat ini mempunyai daya tahan terhadap korosi yang berbeda tergantung pada kandungan kromium (Cr). Baja austenitic termasuk grup baja Cr-Ni (seri 300). Baja ferritik (masuk dalam seri 400) tidak dapat dikeraskan dengan perlakuan panas.

#### **2.3.4. Baja Tuang/Cor**

Mempunyai komposisi yang hampir sama dengan baja tempa (*wrought steel*) kecuali pada komposisi Si dan Mn mempunyai jumlah lebih besar yang berfungsi untuk mengikat O<sub>2</sub> dan gas-gas lainnya. Baja cor komersial masih dibedakan atas:

- a. Baja karbon rendah dengan  $C < 0,2\%$ .
- b. Baja karbon sedang dengan  $C 0,20-0,50\%$ .
- c. Baja karbon tinggi dengan  $C < 0,50\%$ .
- d. Baja paduan rendah dengan jumlah total elemen paduan  $< 8\%$ .
- e. Baja paduan tinggi dengan jumlah total elemen paduan  $> 8\%$ .

#### **2.3.5. Baja Perkakas**

Pada umumnya harus mempunyai persyaratan sebagai berikut:

- a. Kemampuan mempertahankan kekerasan dan kekuatan pada suhu tinggi.
- b. Kemampuan terhadap beban kejut/takik.
- c. Kemampuan untuk mempertahankan diri terhadap keausan dan gesekan.

Baja perkakas biasanya mengandung unsur-unsur Cr, W, V dan Mo dengan jumlah cukup besar sehingga baja tersebut menjadi lebih keras dan

tahan terhadap keausan. Sisi potong baja perkakas ini sering mendapat perlakuan khusus yaitu dengan melapisi permukaan sisi potong tersebut dengan TiC, TiN atau ZrN sehingga permukaannya menjadi sangat keras.

### 2.3.6. Baja spesial

Dapat digunakan untuk maksud-maksud tertentu seperti:

- a. Baja tahan suhu tinggi (*high temperature service*).
- b. Baja tahan suhu rendah (*low temperature environment*).
- c. Baja kekuatan tinggi (*ultrahigh strength steel*).

Untuk penggunaan pada suhu tinggi (950-1100°C) dapat dipilih baja tahan karat austenitik (misalnya seri 302, 309, 310, 316, 321, 327), tetapi kekuatannya turun drastis sampai temperatur 1100°C. dapat juga digunakan baja tahan karat jenis martensitik dan ferritik (misalnya seri 405, 410, 418, 430, 446) dengan suhu kerja 700-1100°C. Baja seri 4xx ini sama halnya dengan seri 3xx, kekuatannya turun drastis bila suhu kerja diatas 550°C. Dengan demikian baja-baja seri ini tidak dapat digunakan bila diinginkan bahan kekuatan tinggi pada suhu tinggi. Dalam perdagangan, kita dapat menemukan baja tahan karat kekuatan tinggi pada suhu tinggi seperti:

- |                   |                |
|-------------------|----------------|
| 1. Duranickel 301 | 5. Hastelloy B |
| 2. Monel 505      | 6. Udimet 500  |
| 3. Monel K 500    | 7. Waspoloy    |
| 4. Inconel X 700  |                |

Untuk penggunaan suhu rendah, banyak digunakan baja tahan karat austenitik. Dapat juga digunakan bahan nikel dan paduan nikel.

Tabel 2.2 : Jenis-jenis baja menurut AISI dan SAE.

Seri	Elemen Tambahan	Seri	Elemen tambahan
10xx	Baja karbon tanpa S dan P	48xx	Ni : 3,50% Mo : 0,23
11xx	Baja karbon dengan S	51xx	Cr : 0,80%
12xx	Baja karbon dengan S dan P	514xx	Corrosion and Resisting Steels
13xx	Mn : 1,60-1,90%	515xx	Corrosion and Resisting Steels
23xx	Ni : 3,50%	52xx	Cr5 : 1,50%
25xx	Ni : 5,00%	61xx	Cr : 0,78% V : 0,13%
31xx	Ni : 1,25% Cr : 0,60%	86xx	Ni : 0,55% Cr : 0,50% Mo : 0,20%
32xx	Ni : 1,75% Cr : 1,00%	87xx	Ni : 0,55% Cr : 0,50% Mo : 0,25%
33xx	Ni : 3,50% Cr : 1,50%	88xx	Ni : 0,55% Cr : 0,50% Mo : 0,35%
34xx	Ni : 3,00% Cr : 0,8%	92xx	Mn : 0,80% Si : 2%
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% Mo : 0,20%	97xx	Ni : 0,55% Cr : 0,17% Mo : 0,20%
43xx	Ni : 1,83% Cr : 0,80% Mo : 0,25%	98xx	Ni : 1% Cr : 0,80% Mo : 0,25%
46xx	Ni : 1,75% Mo : 0,25%		

#### 2.4. Diagram fase besi karbon

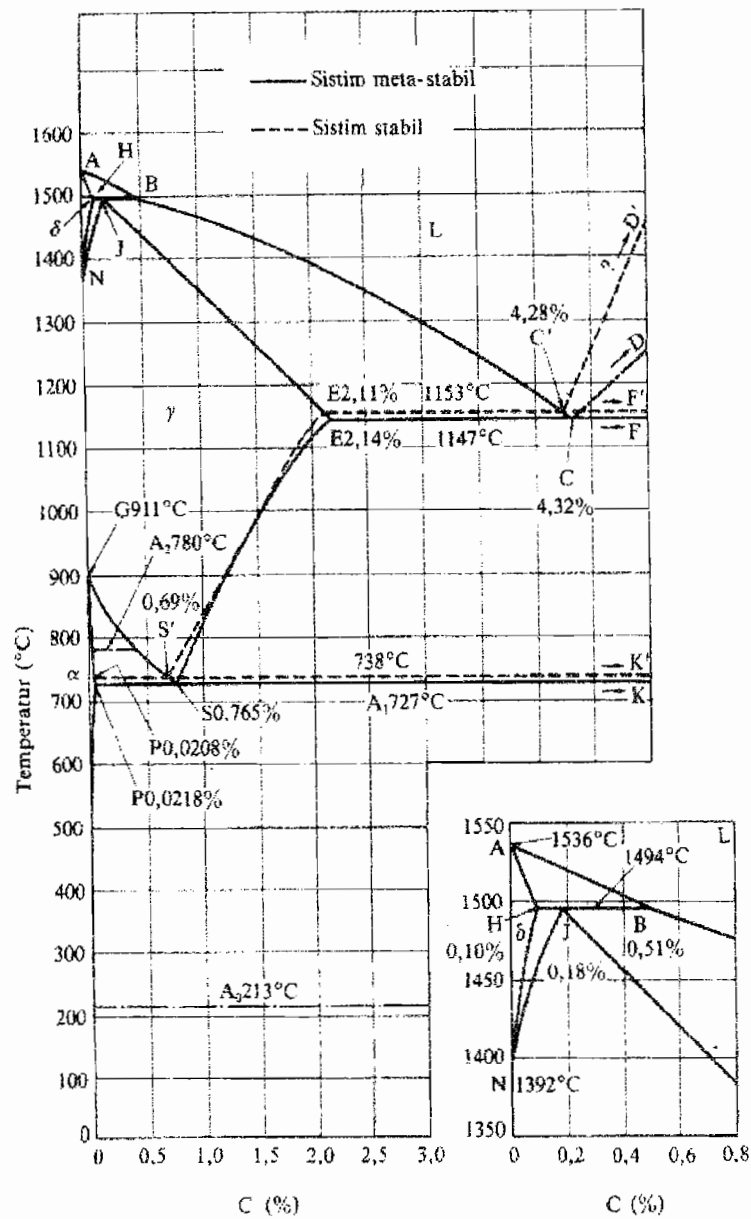
Diagram fasa Fe-C menunjukkan diagram keseimbangan besi-karbon sebagai dasar bahan yang berupa besi baja. Selain karbon pada besi dan baja terkandung kira-kira 0,25% Si, 0,3-1,5% Mn, dan unsur pengotor lain seperti P, S dan sebagainya. Karena unsur-unsur ini tidak memberi

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 fasa diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C terdapat titik-titik penting yang perlu diperhatikan:

- A : Titik cair besi
- B : Titik pada cairan yang ada hubungannya dengan reaksi *peritektik*.
- H : Larutan pada  $\delta$  yang ada hubungannya dengan reaksi *peritektik*, kelarutan maksimum adalah 0,10 %.
- J : Titik *peritektik*. Selama pendinginan *austenit* pada komposisi J, fasa  $\gamma$  terbentuk larutan padat  $\delta$  pada komposisi H dan cairan pada komposisi B.
- N : Titik transformasi dari besi  $\delta$  dan kebesi  $\gamma$ , titik transformasi A<sub>4</sub> dari besi murni.
- C : Titik *eutektik*, selama pendinginan fasa  $\gamma$  dengan komposisi E dan *sementit* pada posisi F (6,67 %C) terbentuk dari cairan pada komposisi C. Fasa *eutektik* ini disebut *ledeburit*.
- E : Titik yang menyatakan fasa  $\gamma$  ada hubungan dengan fasa *eutektik*. Kelarutan maksimum dari karbon 2,14 %. Paduan besi karbon sampai komposisi ini disebut baja.
- G : Titik transformasi besi  $\gamma$  dari dan ke besi  $\alpha$ . Titik transformasi A<sub>3</sub> untuk besi.

- P : Titik yang menyatakan ferrit, fasa  $\alpha$  ada hubungan dengan reaksi *eutektoid*. Kelarutan maksimum dari karbon kira-kira 0,02 %.
- S : Titik *eutektoid*. Selama pendinginan, ferrit 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 ferrit dari *austenit*. Garis ini disebut garis  $A_3$ .
- ES : Garis yang menyatakan hubungan antara temperatur dengan komposisi, dimana mulai dari terbentuk *sementit* dari *austenit*, dinamakan garis  $A_{cm}$ .
- $A_2$  : Titik transformasi *magnetic* untuk besi atau *ferrit*.
- $A_0$  : Titik transformasi *magnetic* untuk *sementit*.



Gambar 2.3: Diagram keseimbangan besi-karbon.

## 2.5. Perlakuan Panas

Perlakuan panas pada baja merupakan proses pemanasan baja sampai suhu tertentu dan dalam waktu tertentu serta kemudian mendinginkannya dengan cara tertentu pula. Perlakuan panas ini



dimaksudkan untuk memberikan sifat-sifat lebih baik pada baja tersebut. Untuk memanaskan baja digunakan dapur-dapur yang pada umumnya berupa dapur listrik, dapur gas atau dapur minyak. Pengukuran suhu kerja harus teliti mungkin agar sifat-sifat baja yang dihasilkan dapat sesuai keinginan. Perlakuan panas terhadap baja dapat berupa:

1. Annealing (anil)
2. Normalising (normalisasi)
3. Hardening (pengerasan)
4. Tempering (temper)

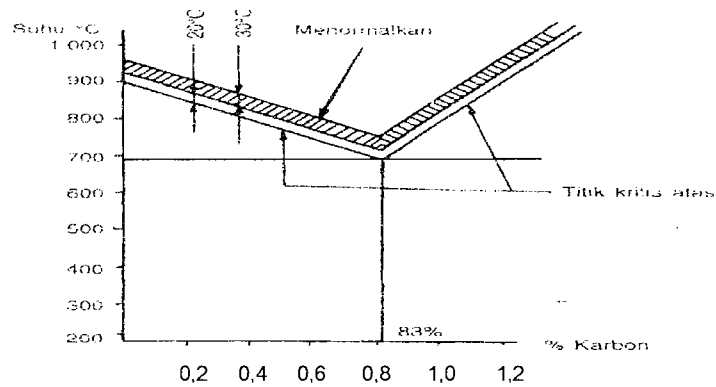
#### **2.5.1. Annealing ( anil )**

Tujuan yang utama dari proses anil adalah pelunakan sehingga baja yang keras menjadi lebih plastis dan liat dan dapat dikerjakan melalui pemesinan atau pengerjaan dingin. Hal ini dilakukan dengan memanaskannya sedikit diatas suhu kritis  $A_{c3}$  dibiarkan sampai suhu merata dan dilanjutkan dengan pendinginan secara perlahan-lahan sampai sampai suhu dibagian luar dan dalam kira-kira sama. Kecepatan pendinginan  $150^{\circ}$ - $200^{\circ}$ C tiap jam rata-rata.

#### **2.5.2. Normalising ( normalisasi )**

Proses normalising terdiri dari pemanasan baja  $30^{\circ}$ - $50^{\circ}$ C diatas daerah kritis  $A_{c3}$  disusul dengan pendinginan dalam udara. Proses ini biasa diterapkan pada baja karbon rendah dan sedang atau baja paduan agar struktur butiran lebih merata atau untuk menghilangkan tegangan dalam atau untuk memperoleh sifat-sifat fisis yang diinginkan. Baja setelah

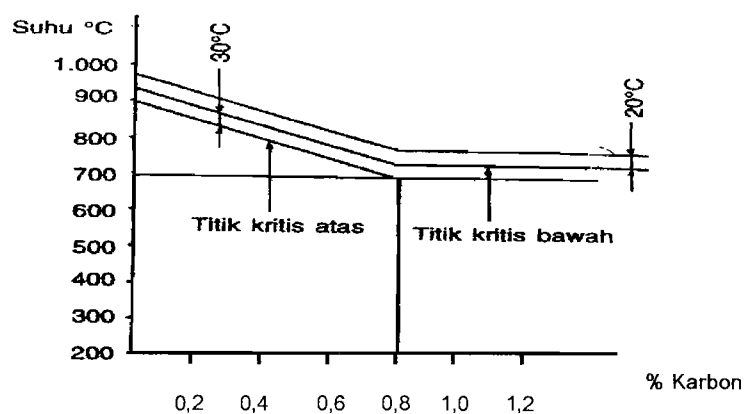
dinormalising akan mempunyai *yield point*, kekuatan tarik dan kuat bentur yang lebih tinggi dari pada di anil. Umumnya setelah digiling, ditempa, dipress, dicor baja mengalami proses normalising.



Gambar 2.4: Suhu menormalkan baja.

### 2.5.3. Hardening ( pengerasan )

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



Gambar 2.5: Suhu pengerasan pada baja.

#### **2.5.4. Tempering (temper)**

Proses perlakuan panas pada baja keras pada temperatur dibawah titik kritis untuk waktu tertentu dengan maksud untuk menghilangkan / mengurangi tegangan-tegangan dalam (*internal stress*). Pada proses ini, baja didinginkan perlahan. Dengan tempering ini dapat juga diperoleh struktur baja lebih stabil, kekerasan berkurang tetapi ketahanan baja naik. Biasanya dilakukan pada baja yang telah mengalami hardening.

### **2.6. Pelapisan Permukaan**

Cara lain yang digunakan dalam proses pengerasan permukaan adalah dengan cara membentuk lapisan tipis yang keras pada permukaan material (*surface coating*). Untuk mendapatkan lapisan permukaan dapat menggunakan berbagai macam cara.

#### **2.6.1. Evaporasi (penguapan)**

Teknik ini merupakan cara yang paling sederhana yang merupakan proses thermal dari pembentukan suatu lapisan tipis. Prosesnya melalui dua tahapan yaitu, penguapan material padat dengan cara pemanasan sampai mencapai suhu tinggi kemudian mengembungkan diatas benda kerja. Untuk membentuk suatu lapisan pada umumnya material diletakkan didalam suatu cawan yang terbuat dari Mo, W, atau Ta. Evaporasi ini biasanya efektif dilakukan pada bahan-bahan logam, dengan titik cair dibawah titik cair cawannya. Untuk material-material misal keramik yang mempunyai titik

cair tinggi diatas titik cair cawan, metode evaporasi ini tidak dapat digunakan dan harus menggunakan metode lain.

### **2.6.2. CVD (Chemical Vapour Deposition)**

CVD merupakan proses pembentukan lapisan tipis pada permukaan material dimana prosesnya selalu melibatkan proses penguraian atau interaksi antara satu atau beberapa gas pada permukaan material untuk menghasilkan lapisan. Lapisan tersebut dapat dibuat dengan reaksi penguraian dari beberapa gas atau senyawa tertentu, misalnya dari golongan *carbonyls*  $\text{Ni}(\text{Co})_4$ , *halides* ( $\text{WF}_6$ ), *hydrides* ( $\text{B}_2\text{H}_6$ ), atau golongan *metallid* (*copper acetyl acetone*).

### **2.6.3. Plasma Lucutan Pijar**

Plasma lucutan pijar merupakan salah satu dari pengetrapan metode CVD, dalam metode plasma lucutan pijar media yang digunakan adalah media yang lebih aktif yaitu dengan plasma yang terbentuk dari lucutan pijar. Metode ini disebut dengan *Plasma Activated Chemical vapour Deposition* (PACVD). Proses pembentukan plasma dapat berasal dari tegangan tinggi DC ataupun ossilator RF. Dengan metode ini maka temperatur yang digunakan dalam proses pendeposisian dapat lebih rendah yaitu pada suhu  $200\text{-}300^\circ\text{C}$ . dan dengan penggunaan RF PACVD dapat dilakukan pendeposisian bahan-bahan keramik bahkan isolator seperti plastik maupun teflon.

Dalam pelaksanaannya, atom-atom yang akan dilapiskan (yang biasanya dari gas) dimasukkan kedalam tabung reaktor plasma (tabung

lucutan ) dalam kondisi hampa ( $10^{-2}$ - $10^{-3}$ Torr). Material yang akan dilapisi diletakkan pada elektroda bagian bawah (katoda). Karena adanya beda potensial yang terpasang diantara elektroda (1-3kv) maka gas-gas tersebut akan terionisasi. Ion-ion tersebut karena pengaruh medan listrik akan dipercepat menuju permukaan benda kerja dan selanjutnya berdifusi ketempat yang lebih dalam.

Pada cara ini, parameter proses yang terpengaruh terhadap hasil akhir adalah dimensi tabung reaktor, laju aliran gas, tingkat kevakuman, daya radio frekuensi, jarak antar elektroda, tegangan antar elektroda, temperatur benda kerja serta lamanya proses. Keunggulan metode ini dibanding dengan metode konvensional adalah prosesnya lebih cepat (dapat menghemat waktu sekitar 50-55%), bersih karena prosesnya dilakukan dalam ruang hampa (walau masih dalam tekanan rendah, orde  $10^{-2}$  Torr), juga harus dilengkapi dengan sistem tegangan tinggi dan sistem kontrol lainnya seperti kontrol suhu, temperatur maupun kontrol aliran gas.

#### **2.6.4. Plasma Sputtering**

Ide aplikasi plasma sputtering muncul sebagai akibat dari tuntutan kebutuhan, yang menjadi masalah saat itu adalah bagaimana dapat mendeposisikan/membuat lapisan tipis dari bahan padat yang mempunyai titik leleh tinggi seperti keramik, TiC, TiN, oksida-oksida logam, ataupun karbida-karbida logam lainnya serta bahan isolator yang dengan cara pelapisan (*coating*) tidak mungkin dapat dilakukan. Dengan teknologi plasma sputtering maka atom-atom yang akan dideposisikan/dilapiskan pada

permukaan benda kerja dibombardir dengan ion-ion berenergi dari gas Argon (gas sputter). Akibat transfer momentum dari ion gas sputter ke atom-atom target, maka atom-atom target akan terlepas dari induknya dan sebagian akan bergerak menuju benda kerja yang selanjutnya bereaksi dengan permukaan benda kerja untuk membentuk lapisan tipis.

Keunggulan pembuatan lapisan tipis dengan teknologi plasma sputtering dibanding teknik evaporasi adalah dapat menghasilkan lapisan tipis dari bahan yang mempunyai titik leleh tinggi yang dengan metode evaporasi tidak mungkin dapat dilakukan, hampir semua bahan padat seperti semi konduktor, logam, paduan, keramik, maupun isolator dapat dideposisikan, penghematan bahan yang akan dideposisikan, mempunyai daya lekat yang lebih kuat, sehingga dapat memperpanjang umur pemakaian komponen, dan ketebalan lapisan dapat dikontrol dengan akurat.

#### **2.6.5. Implantasi Ion**

Pada surface treatment menggunakan akselerator ion (*implantasi ion*), bahan yang akan dilapisi/dideposisikan yang dapat berujud gas ataupun padatan (untuk yang berujud padatan harus dibawa ke fasa uap terlebih dahulu), diionisasikan dalam sistem sumber ion, dipercepat oleh medan listrik dalam tabung akselerator, dipisahkan menurut jenis massanya menggunakan spektroskopi massa yang terpasang pada tabung akselerator, difokuskan dengan sistem lensa elektromagnetik dan selanjutnya ditembakkan ke permukaan benda kerja. Parameter proses yang akan mempengaruhi hasil akhir sesuai dengan yang diinginkan meliputi jenis ion

(nomor massa dan nomor atom) energi kinetik rerata dan dosis ion serta jenis material target (nomor massa dan nomor atom). Energi kinetik rerata akan menentukan kedalaman penembusan (*penetration depth*) ion-ion dalam material target, dosis ion yang merupakan fungsi berkas arus ion dan lamanya proses akan menentukan jumlah ion atau prosentase ion yang dideposisikan kedalam material target. Parameter tersebut secara keseluruhan akan mempengaruhi profil distribusi konsentrasi yang terdeposisi.

## **2.7. Pendeposisian Lapisan Tipis dengan Metode Sputtering**

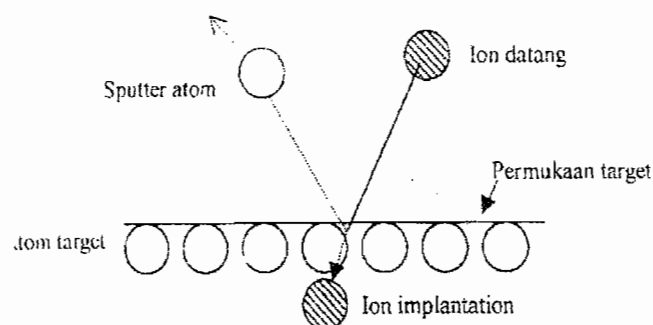
### **2.7.1. Dasar Teori**

Penggunaan sputtering untuk tujuan pendeposisian pertama kali dikenalkan oleh Grove pada tahun 1852. fenomena ini ditemukan ketika Grove melakukan penelitian lucutan listrik dalam gas, dimana tampak terbentuknya lapisan logam pada dinding tabung lucutan pijar dalam daerah elektroda negatif.

Jika bahan padat dijadikan sasaran penambahan oleh partikel (ion) atom berenergi tinggi, maka boleh jadi atom-atom permukaan bahan memperoleh energi yang cukup untuk melepaskan diri dari permukaannya. Proses seperti ini disebut sputtering. Atom-atom yang terhambur dari permukaan akibat sputtering ini dapat juga digunakan untuk mendeposisikan lapisan tipis pada substrat / bahan utama.

Sistem sputtering terdiri dari sepasang elektroda planar. Satu dari elektroda tersebut adalah katoda dingin dan yang lainnya adalah sebuah anoda. Pada bagian katoda dipasang suatu bahan target dan pada bagian belakangnya didinginkan dengan air pendingin, sedangkan substrat dipasang pada bagian anoda. Substrat tersebut dapat dipanaskan menggunakan suatu sistem pemanas. Apabila tabung sputtering diisi dengan gas Ar (argon) dengan tekanan 0,1 Torr dan pada elektroda dipasang beda potensial hingga beberapa kilovolt dengan tahanan seri 1-10 kOhm, maka antara elektroda mulai terjadi lucutan pijar (*glow discharge*). Ion-ion argon dalam lucutan pijar dipercepat pada daerah *cathode fall* dan target tersputter menghasilkan lapisan tipis pada substrat.

Terjadinya proses sputtering yang pertama kali diawali oleh adanya tumbukan ion dengan atom-atom dalam permukaan target diikuti oleh tumbukan kedua dan ketiga antar atom-atom yang berada dipermukaan target, sehingga terjadi perpindahan atom-atom dan suatu tumbukan yang berhasil akan dapat mengeluarkan atom pada permukaan target.



Gambar 2.6: Proses sputtering secara fisis.



Saat menumbuk permukaan target, maka energi yang ditransfer ke atom-atom target adalah sebesar;

$$E_t = \frac{4M_i M_s}{(M_i + M_s)^2} \text{Cos}\theta$$

dengan,  $E_i$  = energi kinetik rata-rata ion gas sputter

$E_t$  = energi yang ditransfer

$M_i$  = massa atom ion gas sputter

$M_s$  = massa atom target

$\theta$  = sudut datang ion gas sputter dengan normal

bila arah ion datang tegak lurus permukaan target ( $\theta=0$ ), maka energi yang ditransfer adalah;

$$E_t = \frac{4M_i M_s}{(M_i + M_s)^2} E_i$$

jumlah atom yang terlepas dari permukaan target per ion gas sputter (penumbuk) sebagai produksi sputter dinyatakan dalam bentuk persamaan,

$$S = k \frac{M_i M_s}{\lambda(E) \text{cos}\theta (M_i + M_s)^2} E_i$$

dengan  $k$  adalah konstanta yang nilainya tergantung pada jenis bahan target,

$\lambda(E)$  adalah jalan bebas rerata tumbukan elastis. Jalan bebas rerata diberikan

oleh persamaan,

$$\lambda = \frac{1}{\pi R^2 n_0}$$



dengan  $n_o$  adalah jumlah atom-atom kisi persatuan volume dan  $R$  adalah jari-jari tumbukan untuk model bola tegar, yang nilainya diberikan oleh persamaan,

$$R = C \frac{\alpha_o}{\left( Z_i^{2/3} + Z_s^{2/3} \right)^{1/2}} \ln \frac{Z_i Z_s e^2}{\epsilon_o R E^1}$$

dengan  $E^1 = (M_i / (M_i + M_s)) \cdot E$ ,  $C$  adalah suatu konstanta,  $\alpha_o$  adalah jejari atom hidrogen ( $0,57 \times 10^{-8}$  cm),  $e$  adalah muatan elektron ( $1,602 \times 10^{-19}$  coulomb),  $\epsilon_o$  adalah konstanta dielektrikum dalam hampa,  $Z_i e$  dan  $Z_s e$  adalah muatan untuk  $M_i$  dan  $M_s$ .

Almen merumuskan produksi sputter ( $S$ ) secara empiris sebagai berikut;

$$S = 4,24 \times 10^{-8} n_o R^2 E_i \frac{M_i M_s}{(M_i + M_s)^2} \exp \left( -10,4 \frac{\sqrt{M_i}}{M_i + M_s} E b \right)$$

dimana  $E b$  adalah energi ikat bahan target.

Kecepatan pengikisan ( $U$ ) atom-atom target sebanding dengan rapat arus ion pada permukaan target ( $J$ ), dan dituliskan:

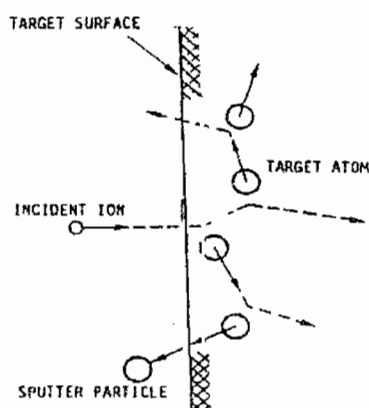
$$U = \frac{62,3 S J M_2}{\rho}$$

$U$  dan  $J$  berturut-turut dinyatakan dalam satuan A/menit dan mA/cm<sup>2</sup>,  $\rho$  adalah rapat jenis target dalam g/cm<sup>2</sup>.

Laju deposisi (kecepatan pertumbuhan lapisan) pada pelapisan substrat dirumuskan dengan:

$$D = F U$$

dengan  $F$  adalah konstanta yang ditentukan dari susunan geometri target dan substrat efek hamburan dari atom-atom target oleh partikel-partikel gas dalam tabung lucutan. Jika laju deposisi  $D$  dikalikan dengan lama waktu pendeposisian, maka akan diperoleh ketebalan lapisan.



Gambar 2.7: Tumbukan ion dan partikel yang tersputter.

Ada beberapa fenomena yang mungkin terjadi sebagai akibat interaksi berkas ion gas sputter dengan material target. Fenomena tersebut diantaranya adalah:

- Ion gas sputter terpantul dan dapat menjadi netral dengan menangkap elektron Auger.
- Atom target akan terpental keluar yang dapat disertai dengan elektron sekunder
- Ion gas sputter yang mempunyai energi tinggi dapat terimplantasi/ tertanam kedalam target dan dapat mengakibatkan perubahan sifat-sifat permukaan target.
- Elektron-elektron dalam plasma dapat terpantul oleh permukaan target.

Fenomena terlepasnya atom target tersebutlah yang mendasari dari pemanfaatan plasma sputtering untuk pendeposisian suatu atom-atom diatas permukaan suatu material untuk membentuk lapisan tipis.

### **2.7.2. Kelebihan Metode Sputtering**

Kelebihan pembuatan lapisan tipis dengan metode sputtering adalah sebagai berikut:

- a. Berbagai jenis bahan seperti logam, paduan dan isolator dapat digunakan.
- b. Mudah menghasilkan lapisan tipis dari bahan yang mempunyai titik leleh tinggi.
- c. Bahan target sputtering memiliki keawetan atau ketahanan fisik yang lebih baik sehingga lebih efisien.
- d. Ketebalan lapisan tipis yang dihasilkan dapat dikontrol dengan waktu pendeposisian pada saat pembuatannya.

### **2.7.3. Proses Pembentukan Lapisan Tipis**

Dalam proses pendeposisian, energi dari atom-atom terpercik yang menumbuk permukaan substrat sangat besar, sehingga saling campur (*intermixing*) dan proses difusi atom-atom terpercik dan bahan substrat cenderung terjadi dengan mudah. Oleh karena itu, gaya tarik menarik antara lapisan tipis dan substrat yang diperoleh dengan pendeposisian sputtering lebih kuat.

Dalam proses pendeposisian, bahan target dibombardir dengan partikel-partikel berat (ion positif) yang bergerak cepat dalam sistem vakum,

sehingga atom-atom bahan target akan terpercik dan memancar ke berbagai arah yang sebagian akan bergerak menuju substrat. Atom-atom yang terpercik dengan energi yang cukup tinggi tersebut selanjutnya menumbuk permukaan substrat dan menekan atom-atom permukaan menuju tempat interstisi pada kisi kristal. Atom-atom terpercik itu sendiri akan bergerak masuk ke dalam bahan substrat untuk menempati posisi interstisi atau mengisi kekosongan pada batas butir.

Pada umumnya sistem sputtering dilengkapi dengan beberapa peralatan seperti bahan target, bahan substrat, gas sputtering, sistem pemanas substrat, pengatur suhu, sistem vakum, sistem pendingin target, alat pengukur tekanan, dan sistem tegangan tinggi DC.

a. Bahan target

Bahan target pada umumnya dibuat dari metal atau suatu paduan dan dibuat dalam bentuk lempengan. Diameter target adalah 5 hingga 8 cm bila digunakan untuk penelitian dan 15 hingga 30 cm untuk produksi dalam industri.

Sputtering adalah suatu proses tak efisien dan sebagian besar daya yang masuk ke dalam sistem akhirnya menjadi pemanas target, maka target tersebut biasanya dipasang sebuah sistem pendingin. Target dikelilingi oleh suatu *dark space shield*, lebih dikenal sebagai *ground shield*, sehingga hanya material target yang akan tersputter. Resistivitas pendingin harus cukup tinggi sehingga isolasi listrik antara target dan tabung sputtering yang ditanahkan akan tetap terjaga.

#### b. Gas sputtering

Untuk deposisi suatu metal pada permukaan substrat, gas sputter dimasukkan kedalam tabung lucutan melalui suatu katup atau MFC (*Mass Flow Controller*). Sistem vakum harus bebas dari uap air. Apabila digunakan gas reaktif seperti oksigen, maka lapisan tipis metal oksida dapat didepositkan dari suatu target metal, dan sistem ini sering disebut sebagai *reactive sputtering*. Dalam sputtering reaktif, reaksi akan terjadi pada permukaan target membentuk campuran seperti metal oksida, dan campuran atau paduan tersebut akan tersputter membentuk lapisan tipis paduan.

#### c. Suhu substrat

Suhu permukaan substrat adalah salah satu parameter penting dalam proses deposisi lapisan tipis dan juga merupakan parameter yang sulit dikontrol. Dalam sistem sputtering konvensional, substrat diletakkan pada pemegang substrat yang dapat dikontrol suhunya. Meskipun demikian, tumbukan elektron-elektron sekunder energi tinggi pada permukaan substrat juga memanaskan substrat. Dalam sistem sputtering dioda RF, suhu substrat naik hingga mencapai  $700^{\circ}\text{C}$  tanpa penambahan sistem pemanas substrat. Oleh karena itu agar supaya efek panas radiasi berkurang permukaan target harus didinginkan. Perlu diketahui bahwa kenaikan suhu substrat bergantung pada jenis sistem sputtering.

#### d. Waktu Pendeposisian

Lama waktu pendeposisian akan berpengaruh terhadap ketebalan lapisan tipis yang dihasilkan. Semakin lama waktu pendeposisian, maka

semakin banyak atom-atom bahan target yang terdeposit menempati posisi-posisi interstisi atau kekosongan pada batas butir dalam substrat, sehingga kerapatan bahan di sekitar permukaan akan meningkat dan dapat menghasilkan lapisan tipis yang maksimum. Kondisi ini juga dipengaruhi oleh daerah interstisi atau kekosongan yang disediakan oleh substrat akibat naiknya temperatur.

## 2.8. Bahan-bahan Proses Sputtering

### 2.8.1. Baja Karbon Rendah

Baja ini disebut baja lunak (*mild steel*), baja karbon rendah bukan baja yang keras, karena kandungan karbonnya rendah kurang dari 0,3%. Baja karbon rendah secara luas digunakan diberbagai industri.

Komposisi dari baja karbon rendah sangat terbatas, sedangkan unsur lainnya dibatasi prosentasenya. Unsur paduan yang bercampur didalam lapisan baja digunakan untuk membuat baja bereaksi terhadap pengerjaan panas atau menghasilkan sifat-sifat yang khusus. Beberapa komposisi kurang dari 0,3% adalah unsur lain selain karbon. Kandungan unsur-unsur tersebut adalah sebagai berikut:

Carbon.....	0,03 – 0,12 %
Manganese .....	0,20 – 0,60 %
Silicon .....	0,02 – 0,15 %
Phosphorus.....	0.04 %
Sulfur .....	0,04 %

Pembentukan baja karbon rendah dapat dilakukan dengan cara dirol, oksigen diberikan untuk meningkatkan karbon monoksida dan dilakukan pada saat pembentukan batang logam. Sehingga unsur-unsur yang tidak murni akan dikeluarkan dengan jalan oksidasi. Kandungan kadar karbon dapat diturunkan dengan memisahkan karbon sisa, belerang dan pospor selama proses pembekuan

Penggilingan dan penyesuaian ukuran baja dapat dilakukan dalam keadaan panas. Hal ini dapat ditandai dengan melihat lapisan oksida besinya dibagian permukaan yang berwarna hitam. Baja juga dapat diselesaikan dengan pengerjaan dingin dengan cara merendam atau mencelupkan baja kedalam larutan asam yang berguna untuk mengeluarkan lapisan oksidanya. Setelah itu baja diangkat dan digiling sampai ukuran yang dikehendaki kemudian didinginkan. Proses ini menghasilkan baja yang lebih licin, sehingga lebih baik sifatnya dan sangat baik untuk penggunaan dalam mesin perkakas.

Baja ini dapat dijadikan mur, baut, ulir sekrup, alat penggangkat presisi, perkakas silinder dan keperluan umum dalam pembangunan.

### **2.8.2. Karbon**

Bahan mentah yang digunakan dalam pembuatan karbon terdiri dari tiga bagian, yaitu bahan isi, bahan pengikat dan bahan tambah. Kandungan dari hasil akhir sebesar 20-80% adalah zat arang. Dalam proses pembuatan karbon, bahan pengisi dan bahan pengikat akan menyatu dan akan disempurnakan lagi oleh bahan tambah.



Bahan pengisi (*Filler*):

(20-80%) *Natural graphite, Synthetic graphite, Petroleum coke, Charcoal dan Carbon black.*

Bahan pengikat (*Binder*):

(15-50%) *Synthetic resins, Coal tar pitch, Petroleum pitch, Metals dan Carbohydrates.*

Bahan tambah (*Additives*):

(0-10%) *Abrasives, Film formers, Antioxidants dan Graphitizing aids.*

a. Bahan pengisi

Bahan utama pengisi terdiri dari batu arang, grafit alam, grafit buatan dan arang hitam. Batu arang didapat dari hasil samping pembakaran minyak bumi yang mengalami proses lanjut dalam pembakaran pada suhu 900-1200°C. Dalam proses pembakaran, kondisi pembakaran, suhu pembakaran, ukuran dan bentuk partikel dapat mempengaruhi hasil akhir karbon. Kesempurnaan grafit alam akan dipengaruhi oleh komposisi, ukuran dan bentuk partikel yang akan menjadi variabel utama pada grafit alam.

Grafit buatan kemungkinan besar didapat dari hasil samping pembakaran batu bara yang telah mengalami perlakuan panas diatas 2500°C.

b. Bahan pengikat

Sebagian besar yang biasa digunakan sebagai bahan pengikat adalah arang batu bara yang banyak tersedia dari hasil samping produksi metalurgi dalam industri baja.

c. Bahan tambah

*Silicon carbide* sering digunakan sebagai bahan tambah yang berfungsi untuk mengontrol pembentukan lapisan logam pada permukaan. Bahan tambah yang lain seperti *molybdenum disulfide*, *barium fluoride* dan *silver sulfide* digunakan untuk meningkatkan pembentukan lapisan dan penambahan *organophosphates* digunakan untuk meningkatkan daya tahan oksidasi terhadap pembakaran karbon.

Dalam pencampuran bahan pengisi, bahan pengikat dan bahan tambah harus sesuai dengan komposisinya karena sangat penting untuk mendapatkan hasil akhir karbon dengan kualitas mutu yang baik sehingga mampu dipanaskan sampai suhu 325°C atau sesuai dengan standart industri. Proses pencampuran bahan mentah dilakukan pada temperatur dibawah titik lebur bahan pengikat dan ditambah dengan bahan pelarut seperti *benzene*, *xylene*, *alcohol* dan *acetone* untuk memudahkan bahan pengikat. Pencampuran dilakukan antara 1-10 jam atau tergantung dari temperatur dan ukuran partikel bahan pengisi. Kemudian dimasukkan kedalam pendingin dan dicetak atau digiling untuk mendapatkan bubuk karbon yang baik. Hasil dari proses pencampuran sedapat mungkin harus merata maka dalam pengerjaannya harus dilakukan dengan proses yang sempurna.

Terdapat banyak bahan mentah yang bisa digunakan sebagai bahan campuran, tetapi untuk mendapatkan hasil yang baik harus diperhatikan komposisinya, pemilihan material harus sesuai dengan ukuran dan takarannya dan harus mempertimbangkan efek kandungan dari hasil akhir

yang didapat. Setelah mengalami beberapa proses pencampuran tertentu maka akan didapat hasil akhir, yaitu karbon.

Karbon yang digunakan dalam proses sputtering ini adalah karbon yang berbentuk lempengan dengan diameter antara 5 - 8 cm dan sebagai bahan target.

### **2.8.3. Gas argon**

Gas argon digunakan untuk mensputter substrat. Prinsip kerja dari pendeposisian itu adalah adanya ion-ion target yang menumbuk ion-ion substrat. Untuk mengubah atom-atom tersebut menjadi ion-ion harus melalui proses ionisasi. Definisi dari proses ionisasi itu sendiri adalah perubahan dari atom-atom menjadi ion-ion di dalam ruangan vakum dan adanya gas mulia sebagai media pengubahannya serta adanya aliran tegangan sebagai pengaktifnya. Dan gas mulia yang digunakan untuk proses ini adalah gas argon.

Gas argon yang digunakan adalah gas argon biasa bukan gas argon murni mengingat harganya yang sangat mahal. Gas argon biasa ini mempunyai kemurnian sekitar 98% tetapi kemampuan untuk proses ionisasinya tetap bagus.

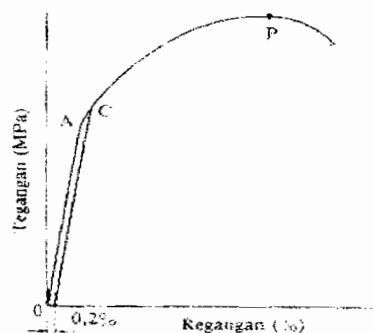
## **2.9. Pengujian Bahan**

Secara garis besar, pengujian mekanis terhadap benda uji dapat dibedakan atas pengujian bersifat merusak benda uji (*destruktif*) dan pengujian bersifat tidak merusak benda uji (*non destruktif*). Pengujian

bersifat merusak benda uji akan menimbulkan kerusakan pada benda uji setelah pengujian selesai dan sebaliknya pengujian bersifat tidak merusak benda uji tidak akan menimbulkan kerusakan berarti pada benda uji. Pengujian bersifat merusak benda uji dan pengujian bersifat tidak merusak benda uji meliputi:

### 2.9.1. Uji Tarik

Pengujian tarik merupakan metode pengujian bahan yang terbaik dibandingkan dengan metode lain. Metode pengambilan contoh serta bentuk batang uji tarik untuk berbagai bahan telah distandartkan. Benda uji dijepit pada mesin uji dengan pembebanan perlahan-lahan meningkat sampai suatu beban tertentu dan akhirnya benda uji patah. Beban tarik yang bekerja pada benda uji akan menimbulkan pertambahan panjang disertai pengecilan diameter benda uji. Perbandingan antara pertambahan panjang ( $\Delta L$ ) dengan panjang awal benda uji ( $L$ ) disebut regangan ( $\epsilon$ ). Perbandingan antara perubahan penampang setelah pengujian dan penampang awal (sebelum pengujian) disebut kontraksi ( $\psi$ ).



Gambar 2.8: Hubungan tegangan-regangan dan cara memperoleh kekuatan mulur

### 2.9.2. Uji Impak

Uji impak dimaksudkan untuk mengetahui sifat liat atau getas benda uji. Pada uji impak ini dibutuhkan tenaga untuk mematahkan benda uji dengan sekali pukulan. Alat pemukul yang digunakan berupa sebuah palu dengan berat tertentu. Benda uji berbentuk persegi panjang dengan ukuran standar. Palu dengan berat tertentu ( $G$ ) dijatuhkan dengan sudut  $\alpha$  dan sisi pisau mengenai benda uji yang oleh karenanya benda uji akan patah dan kemudian palu akan berayun dengan sudut ayun  $\beta$ .

Suatu bahan yang diperkirakan ulet ternyata dapat mengalami patah getas, ini disebabkan oleh beberapa hal:

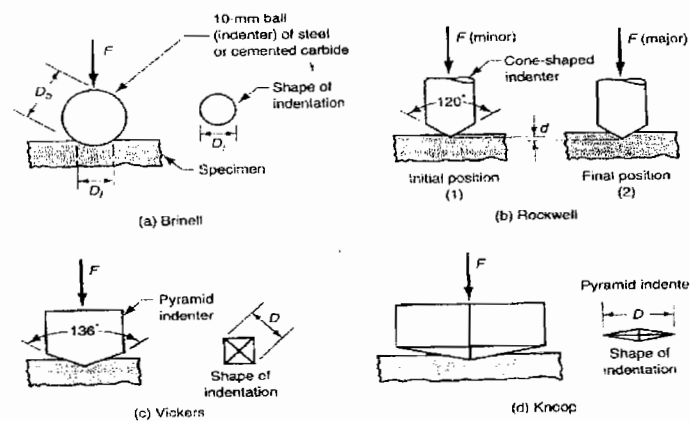
- adanya takikan (*notch*).
- kecepatan pembebanan yang tinggi yang menyebabkan kecepatan regangan yang tinggi pula.
- temperatur yang sangat rendah.
- adanya kandungan unsur-unsur tertentu yang mempengaruhi bentuk struktur logam.

### 2.9.3. Uji Kekerasan

Kekerasan bahan dapat diukur dengan tiga jenis metode yaitu metode goresan atau metode Mohs, metode pantulan dan metode penekanan atau metode indentasi.

Untuk logam dan paduan paling sering digunakan metode indentasi. Yang termasuk dalam metode indentasi ini ialah Brinell, Vickers, Rockwell dan lain-lain. Prinsip dasar yang digunakan sebagai ukuran

kekerasan pada metode penekanan ini ialah ketahanan bahan terhadap deformasi plastis atau dengan kata lain ukuran bekas penekanan merupakan ukuran kekerasan. Dalam hal ini cara Brinell dan Vickers menggunakan luas bekas penekanan sedangkan cara Rockwell menggunakan dalamnya bekas penekanan sebagai ukuran.



Gambar 2.9: Metode pengujian kekerasan.

Cara Brinell menggunakan bola baja sebagai indenter, beban dan diameter bola indenter bervariasi antara 2,5 mm, 5 mm, dan 10 mm sesuai dengan tebal benda uji.

Cara Vickers menggunakan piramida intan sebagai indenter, dasar piramida berbentuk bujur sangkar dan sudut antara dua bidang miring yang berhadapan  $136^\circ$  sedangkan beban yang digunakan dapat bervariasi antara 5 sampai 120 kg dengan interval 5 kg untuk pengujian mikro Vickers dengan beban 10gf sampai 1kgf. Pada praktek pengujian Vickers, lama penekanan harus dibatasi agar diperoleh hasil pengujian yang di harapkan, maka untuk bahan-bahan seperti baja, tembaga, dan paduannya ditentukan lama

penekanan 10-15 detik, sedangkan untuk bahan-bahan seperti magnesium, aluminium dan paduannya diperlukan waktu penekanan selama 28-32 detik.

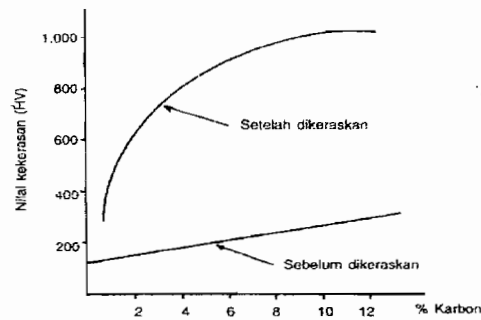
Sistem pengujian Vickers mempunyai keuntungan-keuntungan antara lain:

- a. Untuk indenter yang sama dapat menguji bahan yang sangat keras
- b. Kerusakan bahan uji lebih kecil
- c. Pengukuran kekerasan lebih teliti
- d. Dapat menguji bahan yang tipis dengan memilih beban yang kecil

Namun demikian juga mempunyai beberapa kelemahan antara lain:

- a. Bahan yang strukturnya tidak homogen (seperti besi tuang) nilai hasil kekerasannya kurang teliti
- b. Waktu yang diperlukan untuk pengujian lebih lama

Sedangkan untuk cara Rockwell menggunakan dalamnya bekas penekanan sebagai ukuran kekerasan. Indenter yang digunakan adalah bola baja yang dikeraskan dengan diameter 1/16 inci dan kerucut intan dengan sudut puncak  $120^\circ$  dengan pembulatan pada ujungnya dengan radius pembulatan 0,2 mm. Diameter bekas penekanan pada Brinell dan Vickers diukur dengan menggunakan loupe atau mikroskop pengukur, sedangkan untuk Rockwell dapat langsung ditunjukkan pada skala dial indikator.



Gambar 2.10: Hubungan antara kandungan karbon dengan kekerasan baja.

Tabel 2.3: Karakteristik berbagai pengujian kekerasan.

Cara pengujian	Brinell ( $H_B$ )	Rockwell ( $H_{RC}, H_{RC}$ etc)	Rockwell superficial ( $H_{R30T}, H_{R30N}$ dst)	Vickers ( $H_V$ )	Kekerasan mikro ( $H_{\mu}$ )	Shore ( $H_S$ )
Penekan	Bola baja 10 mm $\phi$ Karbida	Kerucut intan 120°. Bola baja 1/16"-1/2"	Kerucut intan 120°. bola baja 1/16"-1/2"	Piramida intan sudut bidang berhadapan 136°	Jenis Vickers Jenis Knoop sudut 130°. 172°	Palu intan 3 g
Beban	500-3.000 kg	Beban mula 10 kg beban total 60, 100, 150 kg	Beban mula 3 kg. beban total 15, 30 dan 45 kg	1-120 kg	1-500 kg	
Kekerasan	$\frac{\text{Beban}}{\text{Luas penekanan}}$	Dalamnya penekanan	Dalamnya penekanan	$\frac{\text{Beban}}{\text{Luas penekanan}}$	$\frac{\text{Beban}}{\text{Luas penekanan}}$	Tinggi pantulan 6,5" dari 10" tinggi pantulan asal adalah 100

#### 2.9.4. Uji Kelelahan

Tegangan-tegangan benda uji yang diperoleh lewat pengujian tarik, pengujian geser, pengujian puntir didasarkan pada beban *steady-statis*. Dari pengujian tarik dan pengujian puntir terlihat bahwa jika pembebanan masih berada pada daerah elastis (*yielding*) benda uji, maka benda uji tidak akan mengalami kerusakan berarti. Tetapi dalam prakteknya sering dijumpai bahwa pembebanan tidak selalu dalam keadaan *steady-statis*, melainkan dengan beban *non-steady* / benda dinamis yang besarnya bervariasi secara terus menerus.



Kerusakan benda uji biasanya disebabkan oleh beban berulang pada harga tegangan-tegangan yang masih berada di bawah harga elastis (*yielding point*) dan sejumlah percobaan membuktikan bahwa kerusakan yang timbul pada benda uji terjadi pada suatu harga yang lebih kecil dibandingkan dengan tegangan elastis yang diperoleh lewat uji tarik.

#### **2.9.5. Uji Puntir**

Uji puntir terhadap benda uji dimaksudkan untuk mengetahui tegangan puntir benda uji. Pada uji puntir terdapat juga batas luluh dan batas patah benda uji seperti halnya uji tarik, tetapi pada uji puntir ini tidak terdapat kontraksi atau kecil sekali.

#### **2.9.6. Uji Lengkung**

Pada pengujian lengkung digunakan sebuah batang uji berdiameter 30mm dengan panjang 200-600mm.

Gaya lengkung  $F$  bekerja di tengah-tengah benda uji dan gaya ini akan mengakibatkan lengkungan pada benda uji. Pada bagian atas benda uji mengalami tekanan (desakan) sedangkan pada bagian bawahnya mengalami tarikan. Pada titik pusat penampang benda uji tidak mengalami terikan/desakan ataupun tarikan sehingga bidang ini disebut bidang/daerah netral. Bagian bawah benda uji (bagian yang mengalami terikan) akan lebih dahulu mengalami kerusakan/kepatahan dibandingkan dengan bagian atas benda uji (bagian yang mengalami tekanan/desakan). Hal ini memberi informasi bahwa tegangan lengkung diijinkan ( $\sigma_{lk}$ ) sama dengan tegangan tarik diijinkan ( $\sigma_t$ )

### **2.9.7. Uji Zyglo**

Bila benda uji tidak dapat dibuat bersifat magnet (benda uji non-magnetis), maka pengujian magnetografis tidak dapat digunakan lagi untuk mengetahui adanya cacat permukaan benda uji. Untuk keperluan ini digunakan uji Zyglo. Pada pengujian Zyglo, mula-mula benda uji ditaburi / dilumuri fluor, lalu benda uji dikeringkan sehingga cairan fluor meresap ke dalam cacat/retakan dan selanjutnya permukaan benda uji disapu/dibersihkan dengan air dan dikeringkan dengan udara panas. Kemudian benda uji disapu/dibersihkan dengan zat yang dapat menyerap fluor dan akan terlihat bila benda uji dikenai sinar ultraviolet.

### **2.9.8. Uji Magnetografis**

Dengan pengujian ini kita dapat menentukan adanya cacat / sobekan sangat kecil yang tidak dapat dilihat secara langsung oleh mata pada permukaan benda uji. Pada pengujian magnetografis ini, benda uji terlebih dahulu dijadikan bersifat magnet. Kemudian ditaburi serbuk oksida besi sangat halus. Benda uji dapat dibuat bersifat magnet dengan jalan mengalirkan arus listrik pada benda uji atau dengan cara melilitkan kawat beralirkan listrik pada benda uji. Cara ini banyak digunakan untuk benda-benda besar seperti poros engkol atau benda-benda tuang.

Bila permukaan benda uji mengandung cacat, maka disekitar lokasi cacat tersebut akan terkumpul serbuk oksida besi lebih banyak (karena garis-garis gaya magnet sekitar lokasi cacat lebih rapat).

### **2.9.9. Uji Sinar X**

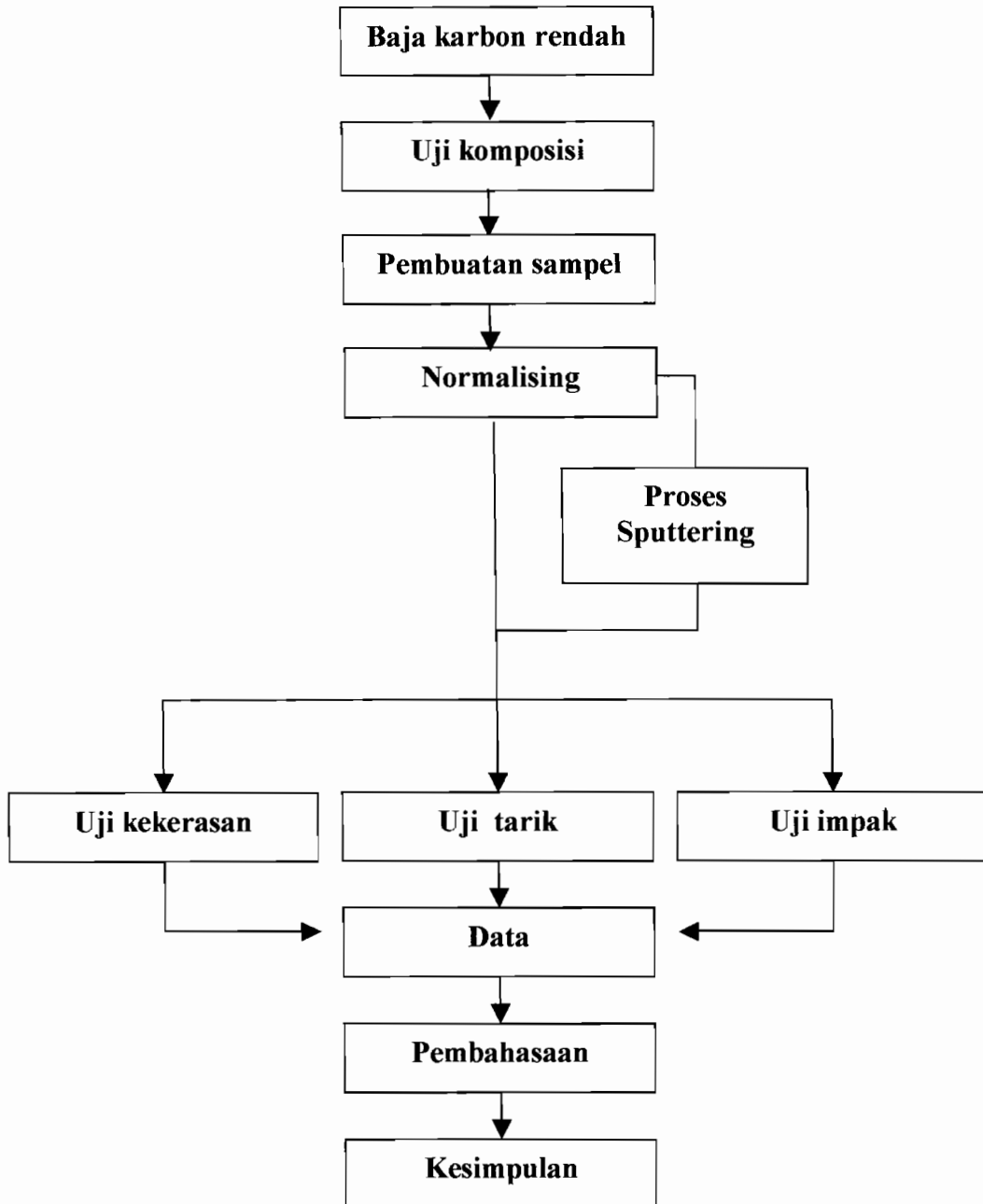
Tabung sinar X mengeluarkan radiasi sinar X yang akan melewati benda uji (logam) dan menimbulkan bayangan film pada fotografi yang terletak dibelakang benda uji. Sinar X akan lebih mudah menembus daerah benda uji berisi rongga udara, cacat atau retakan sehingga menghasilkan bayangan lebih gelap pada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

### **2.9.10. Uji Ultrasonik**

Pada pengujian ultrasonic, suatu gelombang frekuensi tinggi dirambatkan melalui benda uji dengan menggunakan alat yang dapat mengirim dan menerima gelombang suara yang dinamakan dengan "probe". Bila didalam benda uji terdapat cacat, maka suara yang dikirim akan dipantulkan dan diterima kembali oleh probe. Penerimaan oleh probe ini dapat ditunjukkan dengan menggunakan tabung sinar katoda (*cathode-ray tube*).

**BAB III**  
**METODOLOGI PENELITIAN**

**3.1 Skema Penelitian**



## **3.2 Bahan dan Bentuk Spesimen**

### **3.2.1 Bahan**

Bahan yang dipergunakan dalam pembuatan spesimen uji kekerasan, uji kekuatan tarik dan uji keliatan bahan adalah baja karbon rendah, termasuk kedalam jenis baja lunak. Sedangkan untuk analisis komposisi kimia yang berasal dari referensi perusahaan adalah 0,104% C; 0,258% Cr; 0,471% Mn; 0,077% Mo dan 0,456% Si.

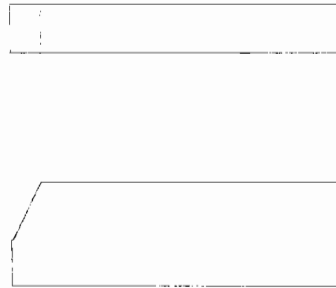
Peralatan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Mesin / alat plasma sputtering, milik Laboratorium Akselerator, bidang Akselerator P3TM-BATAN, Yogyakarta.
- b. Mesin uji Vickers "*Matsuzawa Digital Micro Hardness Tester MXT 70*", milik Laboratorium Struktur dan Mekanika Bahan PS-IT UGM.
- c. Mesin uji tarik, milik Laboratorium Ilmu Logam, Jurusan Teknik Mesin, USD.
- d. Mesin uji impak Charpy, di Laboratorium Gama Material Test, Jurusan Teknik Mesin Program Diploma UGM Yogyakarta.
- e. Mesin gergaji, mesin bubut, dan mesin skrap, milik Laboratorium Teknologi Mekanik, Jurusan Teknik Mesin USD.

### **3.2.2 Bentuk Spesimen**

Bentuk spesimen pada penelitian ini ada dua macam untuk tiga pengujian, yaitu:

1. Spesimen uji kekerasan dikerjakan dengan menggunakan mesin skrap yang diperhalus permukaannya, dengan bentuk dan ukuran spesimen seperti pada gambar.



Gambar 3.1: Spesimen uji kekerasan.

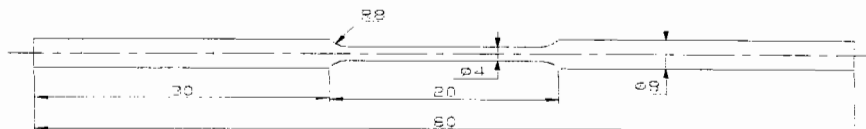
2. Untuk spesimen uji kekuatan tarik dikerjakan dengan menggunakan mesin bubut sesuai dengan bentuk dan ukuran sesuai dengan alat-alat yang akan digunakan, yaitu:

$D$  = diameter luar specimen uji = 8 mm

$d$  = diameter ukur specimen uji = 4 mm

$l$  = panjang ukur = 20 mm

$L$  = panjang keseluruhan = 80 mm



Gambar 3.2: Spesimen uji tarik.

3. Untuk spesimen uji ketahanan bahan dikerjakan dengan menggunakan mesin skrap sesuai dengan bentuk dan ukuran sesuai dengan kondisi alat yang akan digunakan, yaitu:

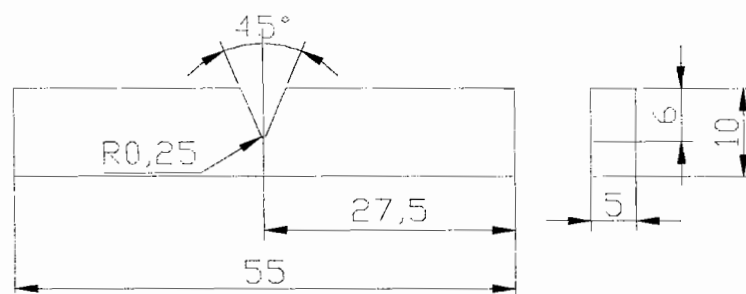
$P$  = panjang keseluruhan = 55 mm

$L$  = lebar = 5 mm

$T$  = tinggi = 10 mm

$t$  = tinggi takikan = 6 mm

$S$  = sudut takikan =  $45^\circ$



Gambar 3.3: Spesimen uji impact.

### 3.2.3 Proses perlakuan panas

Sebelum dilakukan pengujian bahan, spesimen-spesimen tersebut dinormalising dengan suhu  $900^\circ\text{C}$  selama 1 jam kemudian didinginkan sampai suhu ruangan (dalam oven), dengan tujuan untuk mengembalikan kondisi semula yang diakibatkan adanya perubahan struktur akibat tegangan pengerjaan. Selanjutnya permukaannya diperhalus dengan menggunakan amplas secara bertahap dengan menggunakan ukuran amplas 120 mesh, 500

mesh, 800 mesh, 1000 mesh dan digosok dengan menggunakan autosoll untuk mendapatkan hasil yang mengkilap. Selanjutnya benda uji yang akan disputtering dibersihkan dengan bensin / alkohol untuk menghilangkan lemak dan kotoran yang menempel pada benda uji kemudian dikeringkan.

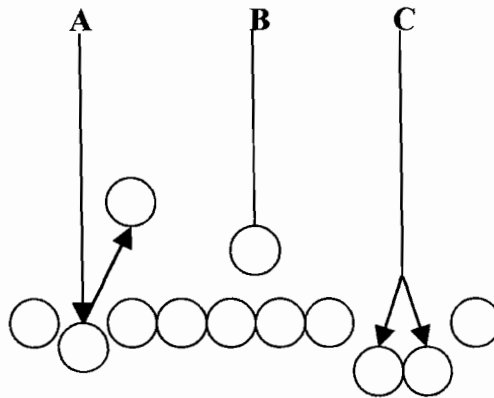
#### **3.2.4 Proses Plasma Sputtering**

Dalam hal ini proses sputtering digunakan untuk melapisi permukaan baja dengan menggunakan unsur karbon. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh sputtering pada baja terhadap kekerasan bahan, kekuatan tarik bahan dan keliatan bahan.

Proses sputtering diawali dengan proses ionisasi gas sputter yaitu gas Argon (Ar) pada tekanan parsial didalam tabung reaktor plasma dalam orde  $10^{-3}$  Torr. Karena pengaruh medan listrik diantara elektroda maka ion-ion gas sputter akan bergerak dengan energi yang cukup menuju katoda /target. Bila energi kinetik ion gas sputter cukup tinggi untuk mengatasi energi ikat (*binding energy*) atom-atom target, maka akibat transfer momentum, atom-atom target akan terlempar keluar dari induknya. Atom-atom sputter tersebut sebagian akan bergerak menuju permukaan substrat. Prinsip inilah yang mendasari dari pemanfaatan plasma sputtering untuk mendeposisikan lapisan tipis pada permukaan bahan dengan tujuan tertentu. Energi untuk proses ionisasi gas-gas sputter dapat diperoleh dengan tegangan DC (D-C Sputtering) ataupun RF (13,56 MHz). Hanya kalau menggunakan tegangan DC tidak dapat diterapkan untuk target yang bersifat non konduktif misalnya isolator dan dengan



menggunakan RF dapat diterapkan untuk target yang bersifat konduktor, semikonduktor bahkan isolator.



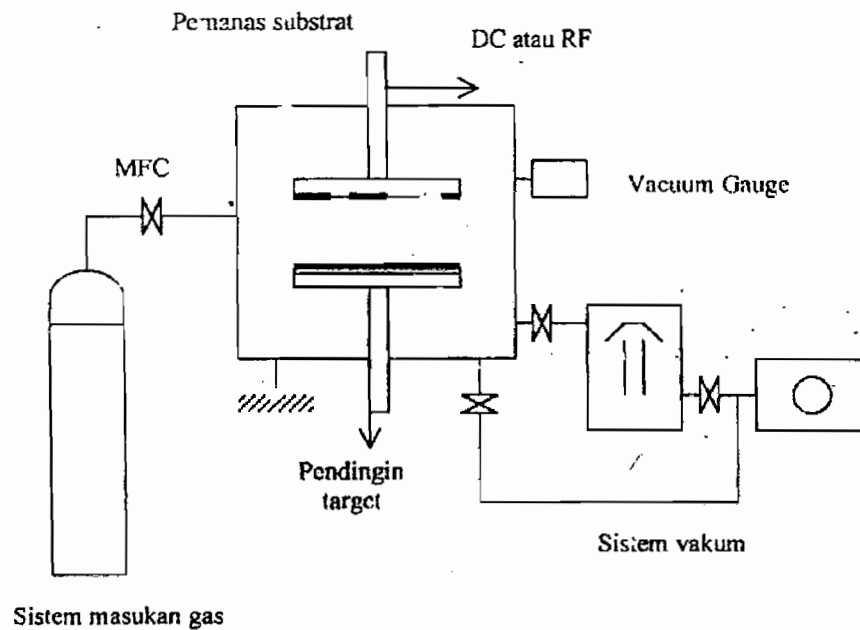
Gambar 3.4: Tumbukan ion-ion pada permukaan target.

Pada cara ini, parameter proses yang berpengaruh terhadap hasil akhir adalah dimensi tabung reaktor, laju aliran gas, tingkat kevakuman, daya radio frekuensi, jarak antara elektroda, tegangan antar elektroda, temperatur benda kerja serta lamanya proses. Proses pendeposisian dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Bahan substrat (baja karbon rendah) dipasang pada bagian anode (elektroda atas).
- b. Bahan target (karbon) dipasang pada bagian katode (elektroda bawah) kemudian dimur dengan kuat.
- c. Kemudian bagian katode dan anode dipertemukan didalam tabung reaktor dengan jarak antara anode dan katode sekitar 2,5 cm dan dikunci dengan klem.
- d. Tabung reaktor dihampakan dengan pompa rotari.

- e. Pemanas pompa difusi dihidupkan selama 5 menit, kemudian pendingin pompa difusi dihidupkan.
- f. Setelah penghampaan sistem mencapai sekitar  $10^{-2}$  Torr, maka katup pada pompa difusi ditutup dan katup penghubung antara pompa rotari dan pompa difusi dibuka kembali.
- g. Pendingin target dan pemanas substrat dihidupkan dan diatur suhunya.
- h. Setelah tekanan kehampaan mencapai sekitar  $10^{-4}$  Torr, kemudian sumber tegangan tinggi DC dihidupkan.
- i. Gas Argon dialirkan ketabung reaktor dan laju aliran diatur sehingga mencapai tekanan operasi pada tabung reaktor sputtering.
- j. Setelah mencapai tekanan operasi, tegangan dinaikkan hingga mencapai 2,5 kV dan arus mencapai 40 mA, maka proses sputtering akan terjadi.
- k. Apabila waktu deposisi telah dicapai, maka aliran gas Argon ditutup kembali, sumber tegangan tinggi, pemanas pompa difusi dan pendingin pompa difusi dimatikan.
- l. Tabung reaktor digemboskan sampai tekanannya sama dengan tekanan atmosfer kemudian substrat diambil dan disimpan dalam plastik klip yang telah diberi label parameter operasi.
- m. Dilakukan percobaan yang sama untuk variasi suhu  $150^{\circ}$ ,  $200^{\circ}$ ,  $250^{\circ}$ ,  $300^{\circ}$  dan  $350^{\circ}\text{C}$ .





Gambar 3.5: Skema sistem plasma sputtering.

### 3.3 Proses Pengujian

#### 3.3.1 Pengujian Kekerasan Vickers

Kekerasan adalah sifat ketahanan bahan terhadap deformasi plastis karena pembebanan setempat pada permukaan logam berupa penekanan. Sifat ini banyak hubungannya dengan sifat kekuatan, daya potong, daya tahan aus dan kemampuan dikerjakan dengan mesin.

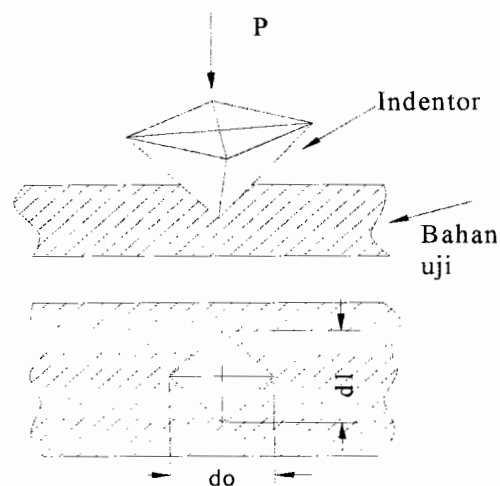
Prinsip dasar yang digunakan sebagai ukuran kekerasan pada metode penekanan ini ialah ketahanan bahan terhadap deformasi plastis atau dengan perkataan lain adalah ukuran bekas penekanan merupakan ukuran kekerasan.

Pada pengujian kekerasan menurut Vickers digunakan indentor (alat penekan) yang ujungnya dibuat dari bahan intan berbentuk piramida (piramida intan) dengan sudut puncak  $136^\circ$  dengan alas berbentuk bujur sangkar. Indentor ditekan kedalam bahan uji (spesimen) dengan beban sebesar  $P$  (kg) selama waktu tertentu. Setelah indentor diangkat, maka diperoleh lekukan dengan diagonal bujur sangkar sebesar  $d$  dalam satuan (mm) yang diukur dengan alat ukur yang sangat teliti. Pengujian kekerasan mikro dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Alat diset pada beban 10 gf dan waktu penekanan 15 detik.
- b. Benda uji diletakkan di tempat pengujian, dengan menggunakan pembesaran dicari pengamatan paling jelas.
- c. Penumbuk diarahkan pada posisi benda uji dan tombol *loading* ditekan.
- d. Setelah lampu *loading* padam, diarahkan lensa pembesaran pada benda uji dan diamati jejak penekannya.
- e. Digerakkan garis pengukur panjang jejak penekanan pada lensa pembesaran dengan tepat dan tombol *reading* ditekan, sehingga hasil kekerasan dapat dilihat pada layar *display* bersamaan dengan panjang diagonal penekanan (dalam  $\mu\text{m}$ ).
- f. Dilakukan percobaan yang sama untuk semua benda uji.

Nilai kekerasan Vickers dinyatakan dengan  $VHN$  yaitu merupakan perbandingan antara beban tekan  $P$  (Kg) dengan luas tapak tekan  $A$  ( $\text{mm}^2$ ).

$$\begin{aligned} VHN &= \frac{P}{A} \text{ kg/mm}^2 \\ &= \frac{2 \times P \times \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} \\ &= \frac{2 \times P \times \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} \\ VHN &= 1,8544 \times \frac{P}{d^2} \end{aligned}$$



Gambar 3.6. Penumbuk piramida intan.

Dimana:

$P$  = besarnya beban tekan kg.

$\alpha$  = sudut antara sisi-sisi piramida, dengan sudut puncak  $136^\circ$ .

$d$  = panjang diagonal (panjang rata-rata kedua diagonal lekukan dalam mm)

### 3.3.2 Pengujian Kekuatan Tarik

Pengujian tarik pada umumnya dilakukan atas contoh bahan yang kemudian dibentuk menjadi batang uji/spesimen. Pengecilan penampang pada daerah panjang uji (*gage length*) terutama dimaksudkan agar perubahan bentuk / deformasi hanya terjadi pada daerah tersebut. Pada suatu pengujian tarik, kecepatan *crosshead* diusahakan tetap selama pengujian, besar beban tarik yang diperlukan dan perubahan panjang yang terjadi akan direkam oleh alat pencatat, setelah beban tarik mencapai beban harga maksimum maka pada batang uji akan terjadi pengecilan penampang setempat sehingga beban tarik kemudian mengecil pula dan akhirnya batang uji akan patah /putus.

Pada uji tarik, ujung-ujung spesimen uji dijepit dengan kuat dan salah satu ujungnya dihubungkan dengan alat pengukur beban, sedangkan ujung yang satu lagi dengan alat penarik. Tegangan yang diperlukan untuk menghasilkan suatu regangan diukur berdasarkan nilai pembebanan yang ada dibanding dengan luas penampang perpatahannya. Pada pengujian ini yang diamati adalah kekuatan tarik, tegangan patah dan keuletan. Pengujian kekuatan tarik dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Benda uji dipasang pada grip (penjepit) atas dan bawah pada mesin kemudian dijepit dan dikencangkan.
- b. Panel pengaturan (*operation control system* dan *load indicator*) pada mesin diset sesuai dengan satuan dan besaran yang digunakan.

- c. Mesin dihidupkan dan beban tarik diberikan pada benda uji sampai pada beban tertentu dan benda uji patah.
- d. Beban tarik maksimal dan kekuatan tarik maksimal dicatat setelah benda uji patah.
- e. Dilakukan percobaan yang untuk semua benda uji.

Dari diagram beban tarik perubahan panjang tersebut dapat dihitung sifat-sifat mekanik bahan sebagai berikut:

Kekuatan tarik  $\sigma_u = \frac{F_{Maks}}{A_o}$  (kg/mm<sup>2</sup>)

Tegangan patah  $\sigma_B = \frac{F_{Break}}{A_o}$  (kg/mm<sup>2</sup>)

Keuletan/ regangan  $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \times 100\%$

Kontraksi  $\psi = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100\%$

dimana:  $\Delta L$  = pertambahan panjang

$A_o$  = luas penampang mula-mula

$A_f$  = luas penampang akhir benda uji

$L_o$  = panjang uji mula-mula

### 3.3.3 Pengujian Impak

Pengujian impak adalah salah satu dari pengujian dinamik dimana sebuah batang logam untuk percobaan yang bertakik diberi beban mendadak.

Maksud utama dari pengujian impak ialah untuk mengukur keuletan bahan atau juga kegetasan bahan terhadap beban tiba-tiba.

Pada pengujian ini, suatu batang uji dengan bentuk dan ukuran tertentu menurut standart tertentu dibebani pada beban dinamis oleh pemukulan. Pemukulan dilakukan oleh suatu pemukul dengan berat tertentu yang mengayun bebas dari satu ketinggian tertentu. Dengan pengujian ini dapat diketahui kerapuhan bahan dan kondisi perlakuan panas yang telah dialami oleh bahan.

Pemukulan dilakukan oleh sebuah pemukul dengan berat tertentu ( $G$ ) dijatuhkan dengan sudut  $\alpha$  dan sisi pisau mengenai benda uji dan akan patah kemudian pemukul akan berayun dengan sudut ayun  $\beta$ . Proses pengujian impak dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Lengan pembentur dinaikkan sesuai dengan sudut yang telah ditentukan (sudut  $\alpha$ ), dikunci dan diamati.
- b. Benda uji pada anvil (dudukan) dipasang dengan benar, posisi takikan harus tepat di tengah sehingga apabila pembentur diayunkan akan mengenai takikan dan perpatahan terjadi tepat ditakikan.
- c. Pengunci dilepaskan sehingga pembentur berayun mematahkan benda uji.
- d. Hentikan gerak ayunan pembentur lalu sudut pada dial yang ditunjukkan pada jarum beban (sudut  $\beta$ ) dicatat dan diamati.
- e. Dilakukan percobaan yang sama untuk semua benda uji.



Dalam hal ini sifat-sifat mekanik bahan dapat diketahui:

Tenaga patah  $W = G \times R \times (\cos \beta - \cos \alpha)$

dimana:  $G =$  berat alat pemukul (kg).

$R =$  jarak titik putar pemukul sampai ketitik berat pemukul.

dengan harga:

Keliatan bahan  $= \frac{\text{Tenaga patah (kg.m)}}{\text{Luas penampang patahan (mm}^2\text{)}}$

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Komposisi Kimia**

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui zat-zat yang terkandung dalam kandungan baja karbon rendah, Pengujian komposisi kimia baja karbon rendah dilakukan di LABORATORIUM LOGAM CEPER. Adapun paduan unsur kimia baja karbon rendah dapat dilihat dalam tabel 4.1:

Tabel 4.1: Komposisi kimia baja karbon rendah.

<b>Unsur Paduan</b>	<b>Komposisi</b>
Karbon (C)	0,104%
Mangan (Mn)	0,471%
Silikon (Si)	0,456%
Chromium (Cr)	0,258%
Molibden (Mo)	0,077%
Phosfor (P)	0,022%
Sulfur (S)	0,036%

#### **4.2 Hasil pengujian kekerasan Vickers**

Dalam pengujian ini spesimen sebelum diuji dilakukan pelapisan permukaan dengan lapisan karbon menggunakan metode sputtering dengan variasi suhu. Adapun suhu yang digunakan adalah 150°, 200°, 250°, 300° dan 350°, sedangkan untuk variabel lainnya dibuat konstan dengan waktu

pendeposisian selama 1 jam dengan tekanan gas  $4 \times 10^{-2}$  Torr, kuat arus 40 mA dan tegangan sebesar 2,5 kV.

Untuk semua jenis pengujian kekerasan mikro dengan angka kekerasan Vickers (*VHN*), digunakan beban penumbuk sebesar 10 gf dengan waktu indentasi selama 15 detik.

Harga kekerasan Vickers dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai contoh :

Benda uji mula-mula tanpa sputter:

$$\begin{aligned} VHN &= \frac{1,854 \times P}{D^2} \\ VHN &= \frac{1,854 \times 0,01}{0,0099^2} \\ &= 189,16 \text{ kgf/mm}^2 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan untuk data-data yang lain, dengan kondisi berbeda, sehingga hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

#### 4.2.1 Pembahasan

Pada kekerasan Vickers, beban penumbuk digunakan yang paling ringan yaitu 10 gf dengan waktu penumbukan 15 detik. Semua ini dimaksudkan agar pengujian kekerasan lebih teliti, peka dan lebih akurat. Jika beban penumbuk ( $P$ ) dalam kgf dan panjang jejak terukur ( $d$ ) mm, maka beban penumbuk dalam gf diubah ke kgf dan panjang jejak terukur dalam  $\mu\text{m}$  diubah ke mm.

Suhu substrat divariasi dari  $150^{\circ}\text{C}$  sampai  $350^{\circ}\text{C}$  dengan interval suhu  $50^{\circ}$  dan dari grafik dapat dilihat hasil yang optimum didapat pada suhu  $250^{\circ}\text{C}$  dengan nilai kekerasan sebesar  $217,567 \text{ kgf/mm}^2$ . Setiap penambahan suhu substrat tidak selalu diikuti dengan penambahan nilai kekerasan. Hal ini dibuktikan setelah melewati suhu  $250^{\circ}\text{C}$  kekerasan menurun sehingga dapat disimpulkan bahwa suhu substrat yang melebihi suhu  $250^{\circ}\text{C}$  akan menyebabkan lapisan yang menempel dipermukaan substrat menjadi berkurang.

Seiring dengan meningkatnya suhu substrat maka atom-atom pada substrat akan bergetar karena pengaruh energi panas. Dengan bergetarnya atom-atom pada substrat maka jarak (celah) diantara batas butir akan merenggang lebih besar. Oleh sebab itu tingkat kekerasan lapisan yang diperoleh setelah melewati suhu  $250^{\circ}\text{C}$  akan menurun.

### 4.3 Hasil pengujian kekuatan tarik

Pada pengujian ini yang diamati adalah kekuatan tarik, tegangan patah, regangan dan kontraksi. Pembebanan yang terjadi pada pengujian dilakukan dengan cara menambahkan beban secara terus menerus sampai benda uji putus.

Tabel 4.3: Data hasil percobaan uji tarik.

No	Benda Uji	Suhu Sputter (°C)	Pertambahan Panjang AL (mm)	Beban Puncak $F_{Maks}$ (kg)	Beban Patah $F_{Break}$ (kg)
1	1	Tanpa	5,15	513,2	358,8
	2	Sputter	4,85	501,1	343,2
2	1	150°	4,75	506,4	351,0
	2		4,8	511,9	347,1
3	1	200°	5,2	485,6	331,5
	2		5,2	508,9	354,9
4	1	250°	5,1	513,4	358,8
	2		5,0	489,5	339,3
5	1	300°	4,95	497,6	339,3
	2		4,6	478,0	331,5
6	1	350°	4,6	478,0	331,5
	2		4,6	478,0	331,5

Harga kekuatan tarik, tegangan patah, regangan dan kontraksi dapat dihitung dengan menggunakan rumus, sebagai contoh:

Benda uji mula-mula tanpa sputter:

a. kekuatan tarik:  $\sigma_u = \frac{F_{maks}}{A_o}$

$$\sigma_u = \frac{513,2}{12,56}$$

$$= 40,86 \text{ kg/mm}^2$$

b. tegangan patah:  $\sigma_B = \frac{F_{Break}}{A_o}$

$$\sigma_B = \frac{358,8}{12,56}$$

$$= 28,56 \text{ kg/mm}^2$$

c. regangan:  $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \times 100\%$

$$\varepsilon = \frac{5,15}{14} \times 100\%$$

$$= 0,37 \%$$

d. kontraksi:  $\psi = \frac{A_o - A_f}{A_o}$

$$\psi = \frac{12,56 - 3,80}{12,56}$$

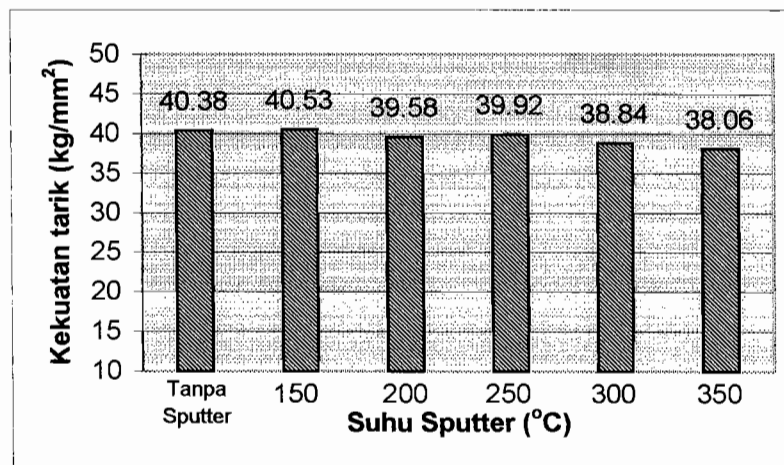
$$= 0,70 \%$$

Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan untuk data-data lainnya, dan hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.4.

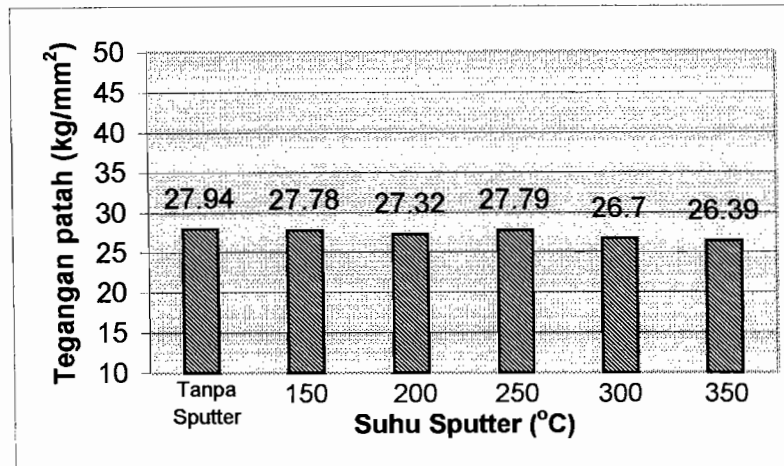
Tabel 4.4: Hasil perhitungan nilai rata-rata pengujian tarik.

No	Suhu Sputter	$\sigma_U$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_U$ rata-rata	$\sigma_B$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_B$ rata-rata	$\epsilon$ (%)	$\epsilon$ rata-rata	$\psi$ (%)	$\psi$ rata-rata
1	Tanpa Sputter	40,86	40,38	28,56	27,94	0,37	0,36	0,70	0,70
	Sputter	39,90		27,32		0,35		0,70	
2	150°	40,31	40,53	27,94	27,78	0,34	0,34	0,70	0,68
		40,75		27,63		0,34		0,67	
3	200°	38,66	39,58	26,39	27,32	0,37	0,37	0,67	0,68
		40,5		28,26		0,37		0,70	
4	250°	40,87	39,92	28,57	27,79	0,36	0,36	0,67	0,67
		38,97		27,01		0,36		0,67	
5	300°	39,62	38,84	27,01	26,70	0,35	0,34	0,64	0,65
		38,06		26,39		0,33		0,67	
6	350°	38,06	38,06	26,39	26,39	0,33	0,33	0,64	0,64
		38,06		26,39		0,33		0,64	

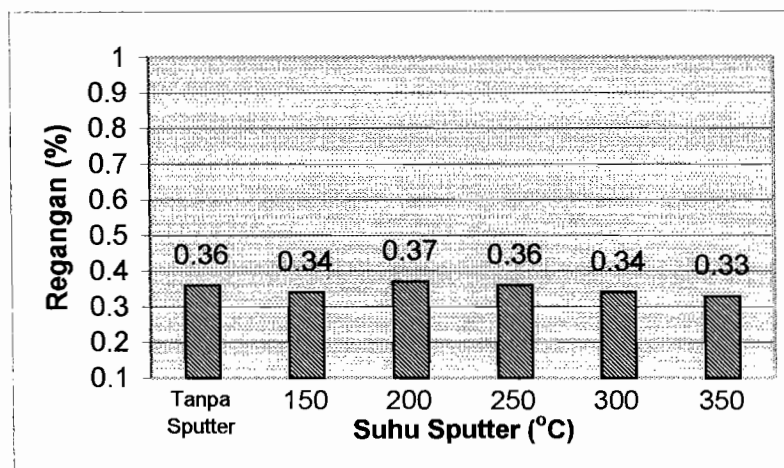
Perbandingan nilai kekuatan tarik, tegangan patah dan regangan dapat dilihat pada gambar grafik dibawah ini.



Gambar 4.2: Grafik perbandingan kekuatan tarik terhadap suhu sputter.



Gambar 4.3: Grafik perbandingan tegangan patah terhadap suhu sputter.



Gambar 4.4: Grafik perbandingan regangan terhadap suhu sputter.

#### 4.3.1 Pembahasan

Dari data dan perhitungan yang telah dilakukan, diketahui bahwa dalam uji tarik ini bahan yang tanpa di sputtering dan di sputtering tidak mengalami peningkatan nilai kekuatan yang sangat berarti. Bahkan prosentase



peningkatan nilai kekuatan hanya berkisar 1% dan itu bisa dikatakan sama dengan bahan yang tanpa mengalami proses sputtering. Peningkatan nilai kekuatan yang tidak berarti kemungkinan disebabkan lapisan tipis yang menempel pada permukaan benda uji tidak mampu menahan beban tiba-tiba yang besar. Untuk itu dapat disimpulkan bahwa proses sputtering tidak begitu berpengaruh terhadap pengujian tarik.

#### 4.4 Hasil pengujian keliatan bahan

Pada pengujian ini yang diamati adalah keliatan bahan dengan metode Charpy. Beban alat pemukul 20 kg dan panjang lengan pemukul 0,8 m.

Tabel 4.5: Data hasil percobaan uji impak.

No	Benda Uji	Suhu Sputter (° C)	$\beta$ (°)	Energi (Joule)
1	1	Tanpa Sputter	138	21
	2		137	22
2	1	150°	136	24
	2		136	25
3	1	200°	135	26
	2		135	28
4	1	250°	136	24
	2		136	25
5	1	300°	135	28
	2		136	24
6	1	350°	134	29
	2		134	29

Harga tenaga patah dan keliatan bahan dalam pengujian impak dapat dicari dengan menggunakan rumus, sebagai contoh:

Benda uji mula-mula tanpa sputter:

$$\text{Tenaga patah: } W = G \times R(\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha)$$

$$W = 16(\text{Cos}138 - \text{Cos}151)$$

$$= 21 \text{ kgm.}$$

$$\text{keliatan bahan: } = \frac{\text{Tenaga patah}}{\text{Luas penampang patahan}}$$

$$= \frac{21}{14,4}$$

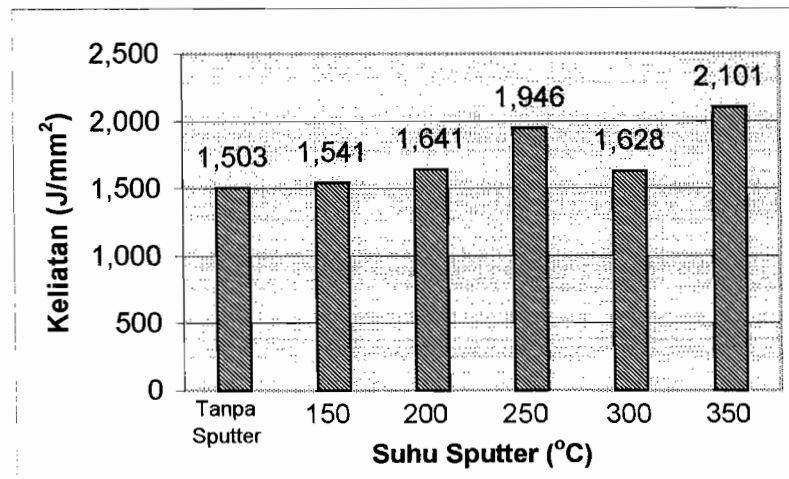
$$= 1,458 \text{ J/mm}^2$$

Dengan menggunakan cara yang sama dilakukan perhitungan untuk data-data yang lainnya, dan hasil perhitungannya dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6: Hasil perhitungan nilai rata-rata keliatan bahan.

No	Suhu Sputter (°C)	Luas (mm)	Energi (Joule)	HI (J/mm <sup>2</sup> )	HI rata-rata (J/mm <sup>2</sup> )
1	Tanpa Sputter	14,4	21	1,458	1,503
		14,21	22	1,548	
2	150°	13,44	24	1,786	1,541
		19,27	25	1,297	
3	200°	13,34	26	1,949	1,641
		21,00	28	1,333	
4	250°	12,22	24	1,964	1,946
		12,96	25	1,929	
5	300°	14,70	28	1,905	1,628
		17,76	24	1,351	
6	350°	15,00	29	1,933	2,101
		14,10	32	2,269	

Perbandingan nilai keliatan bahan dapat dilihat pada gambar grafik dibawah ini.



Gambar 4.5: Grafik perbandingan keliatan bahan terhadap suhu sputter.

#### 4.4.1 Pembahasan

Dari hasil pengujian tampak kenaikan nilai kekuatan yang sangat kecil. Kenaikan nilai kekuatan tidak sampai  $1 \text{ J/mm}^2$ , peningkatan yang sangat kecil tersebut bisa dikatakan sama dengan benda uji yang tanpa melalui proses sputtering walaupun ada peningkatan sedikit tetapi tidak begitu nampak. Pengujian impak digunakan untuk pembebanan tiba-tiba, karena lapisan yang menempel pada permukaan benda uji sangat tipis maka lapisan tersebut tidak mampu menahan beban yang diberikan secara tiba-tiba. Untuk itu dapat disimpulkan bahwa proses sputtering tidak begitu berpengaruh terhadap pengujian impak.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Dari hasil-hasil percobaan dan pembahasan pengaruh deposisi lapisan tipis karbon pada kekerasan, kekuatan tarik dan ketahanan bahan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Teknik sputtering dapat digunakan untuk melapisi permukaan substrat dengan hasil lapisan tipis yang kuat dan mampu meningkatkan kekerasan substrat. Deposisi lapisan tipis karbon pada permukaan baja karbon rendah dapat meningkatkan kekerasan sebesar 20% dari kondisi mula-mula (sebelum sputtering), yaitu dari 182 kgf/mm<sup>2</sup> menjadi 217,567 kgf/mm<sup>2</sup> setelah di sputtering pada suhu 250°C.
2. Pengujian uji tarik terhadap baja karbon rendah yang telah mengalami proses sputtering tidak mengalami peningkatan nilai kekuatan yang sangat berarti bahkan kekuatannya cenderung menurun.
3. Kekuatan impak atau tenaga patah tidak berubah signifikan pada bahan yang telah dilapisi dengan sputtering, dikarenakan lapisan yang dihasilkan hanya lapisan tipis yang tidak mampu untuk menahan beban besar yang diberikan secara tiba-tiba.

## 5.2 Saran

1. Perlu dilakukan percobaan lebih lanjut dengan memvariasi parameter yang lainnya untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal.
2. Perlu dilakukan pengujian dari hasil sputtering dengan pengujian yang sesuai seperti uji ketahanan korosi, uji keausan dan uji yang lainnya.
3. Setelah dilakukan proses sputtering, sebaiknya perlu diuji komposisinya untuk mengetahui jenis dan jumlah unsur-unsur yang terkandung dalam substrat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amanto, H., 1999, *Ilmu Bahan*, Bumi Aksara, Jakarta.
- Devicas,R., R. Paxton., 1979, *Manufactured Carbon: A self-lubricating Material for Mechanical*, Boca Raton, Florida.
- Konuma, M., 1992, *Film Deposition by Plasma Techniques*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Malau, V., Diktat Kuliah, *Bahan Teknik Manufaktur*, Yogyakarta.
- Saito, S., 1985, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Alih Bahasa Tata Surdia, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Stuart, R.V., 1983, *Vacum Technology, thin Film and Sputtering*, Academics Press Inc., New York.
- Sudjatmoko, H., 2003, Diktat Kuliah, *Workshop Sputtering Untuk Rekayasa Permukaan Bahan, Teknologi Sputtering*, P3TM BATAN, Yogyakarta.
- Sujitno, T, BA., 2003, Diktat Kuliah, *Workshop Sputtering, Untuk Rekayasa Permukaan Bahan*, P3TM BATAN, Yogyakarta.
- Vlack, V., 1991, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, Edisi 5, Alih Bahasa Sriati Djaprie, Erlangga, Jakarta.
- \_\_\_\_\_, 1972, *Metal Handbook Atlas of Microstructures of Industrial Alloys*, 8<sup>th</sup> edition Vol 7, American Society for Metals, Metal Park, Ohio.

*Sampiran*



# JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SANATA DHARMA

Kampus III, Paingan Maguwoharjo, Sleman - Yogyakarta

Telp. (0274) 883037, 883968, 886530; Fax. (0274) 886529; Email: teknik@staff.usd.ac.id

## TUGAS AKHIR / SKIPSI PROGRAM S-1 JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIV. SANATA DHARMA YOGYAKARTA

No: 473 /FT .USD/TM/ Oktober/2004

NAMA : Eko Prasetyo

NIM : 995214147

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik , Univ. Sanata Dharma Yogyakarta

Judul TGA :

Selidiki Pengaruh Sputtering pada Baja Karbon rendah terhadap kekerasan, kekuatan tarik dan Keliatan Bahan

Tanggal dimulai : 6 Maret 2004

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

Pembimbing II : -

Tgl	Uraian	Keterangan	Tanda Tangan
21-8-04	Uraian penelitian		Ek
8-9-04	Bab I & II	Revisi	Ek
12-10-04	Bab II & III	Revisi	Ek
9-11-04	Bab IV	Revisi	Ek
23-11-04	Intisari & Masalah	Acc Seminar	Ek
8-12-04	Acc ujian		Ek





# JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SANATA DHARMA

Kampus III, Paingan Maguwoharjo, Sleman -Yogyakarta

Telp.(0274) 883037, 883968, 886530; Fax.(0274) 886529; Email : [teknik@staff.usd.ac.id](mailto:teknik@staff.usd.ac.id)

## UJIAN PENDADARAN TUGAS AKHIR / SKRIPSI

TANGGAL : 16 Desember 2004

MA Mhs. : EKO PRASETYO

NIM : 995214147

JUDUL :  
" *The Effects of Sputtering on The Hardness, Tensile Strength  
and Toughness of Low Carbon Steel* "

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

Pembimbing Kedua : -

## USULAN REVISI DARI DOSEN PENGUJI

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

Perhatikan Pembahasan,   
kesimpulan &   
dasar Teori &   
aspirasi &   
metodologi Penelitian &

Acc 13-1-05  
Budi Setyahandana

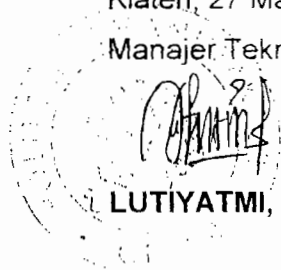
**LAPORAN PENGUJIAN**

Nomor : 124/UJI/SP/2004 Jenis Pengujian : Komposisi Kimia  
 Pelanggan : 1. ARDOYO WAHYU Metode Pengujian : ASTM 212 - 66  
 2. ANTONIUS DANIS Suhu : 28°C  
 3. BAYU SURYO Tanggal Diterima : 24 Maret 2004  
 Universitas Sanata Dharma Tanggal Pengujian: 26 Maret 2004  
 Yogyakarta  
 Ket. Contoh : Langsung dari produk .  
 Hasil :

UNSUR ( % )	CONTOH UJI	
	EKO 2004-SP264	Standart Deviasi ( % )
Fe2	97.48	0.0231
C	0.104	0.0128
Si	0.456	0.0033
Mn	0.471	0.0024
P	0.022	0.0003
S	0.036	0.0019
Cr	0.258	0.0013
Mo	0.077	0.0051
Ni	0.111	0.0008
Al	0.000	0.0005
B	0.0046	0.0001
Co	0.006	0.0001
Cu	0.245	0.0036
Nb	0.068	0.0008
Pb	0.0051	0.0003
Sn	0.024	0.0007
Ti	0.078	0.0013
V	0.123	0.0006
W	0.228	0.0020

Klaten, 27 Maret 2004

Manajer Teknik



**LUTIYATMI, ST.**



**BIDANG AKSELERATOR  
P3TM - BATAN**

**PROSEDUR OPERASI  
MESIN DC SPUTTERING**

NO. DOK : \_\_\_\_\_

Revisi : 0

Tanggal : 5 April 2000

Hal. : \_\_\_\_\_

## **I. TUJUAN**

Prosedur ini dipersiapkan untuk digunakan sebagai pedoman pengoperasian peralatan supaya keselamatan operator maupun peralatan mesin DC Sputtering terjamin.

## **II. RUANG LINGKUP**

Prosedur ini menjelaskan prosedur pengoperasian maupun mematikan peralatan mesin DC Sputtering.

## **III. RINCIAN PROSEDUR**

### **A. Prosedur Pengoperasian mesin DC Sputtering**

#### **1. Persiapan sebelum operasi**

Periksa terlebih dahulu apakah semua perlengkapan dan peralatan :

- Periksa apakah tombol/saklar dalam posisi off/nol.
- Periksa pada bagian sistem hampa, apakah katup dalam posisi tertutup atau terbuka.
- Periksa air pendingin difusi dan target apakah jumlahnya kurang atau cukup.
- Periksa pendingin pompa difusi dan pendingin target dan sirkulasi airnya apakah lancar atau tidak.
- Periksa pemanas substrat dan kontrol suhu apakah berfungsi atau tidak.
- Periksa sumber tegangan tinggi (HV) berfungsi atau tidak.
- Memasang target dan substrat pada tabung reaktor DC sputtering.

#### **2. Proses Penghampaan mesin DC Sputtering**

- Pompa rotari dihidupkan dan katup by pas dibuka ke sistem, agar sistem dapat dihampakan.
- Pemanas pompa difusi dihidupkan selama sekitar 5 menit, kemudian pendingin pompa difusi dihidupkan.
- Setelah penghampaan sistem mencapai sekitar  $10^{-2}$  Torr, katup by pas ke sistem ditutup kemudian katup dari pompa rotari ke pompa difusi dibuka.
- Setelah tekanan kehampaan tabung pompa difusi sama dengan tekanan pada sistem, kemudian katup tabung pompa difusi yang menghubungkan ke sistem dibuka.
- Pendingin target dan pemanas substrat dihidupkan.

#### **3. Proses Sputtering**

- Setelah tekanan kehampaan sistem mencapai sekitar  $10^{-4}$  Torr, kemudian sumber tegangan tinggi (HV) DC dihidupkan.



**BIDANG AKSELERATOR  
P3TM - BATAN**

**PROSEDUR OPERASI  
MESIN DC SPUTTERING**

NO. DOK :

Revisi : 0

Tanggal : 5 April 2000

Hal. :

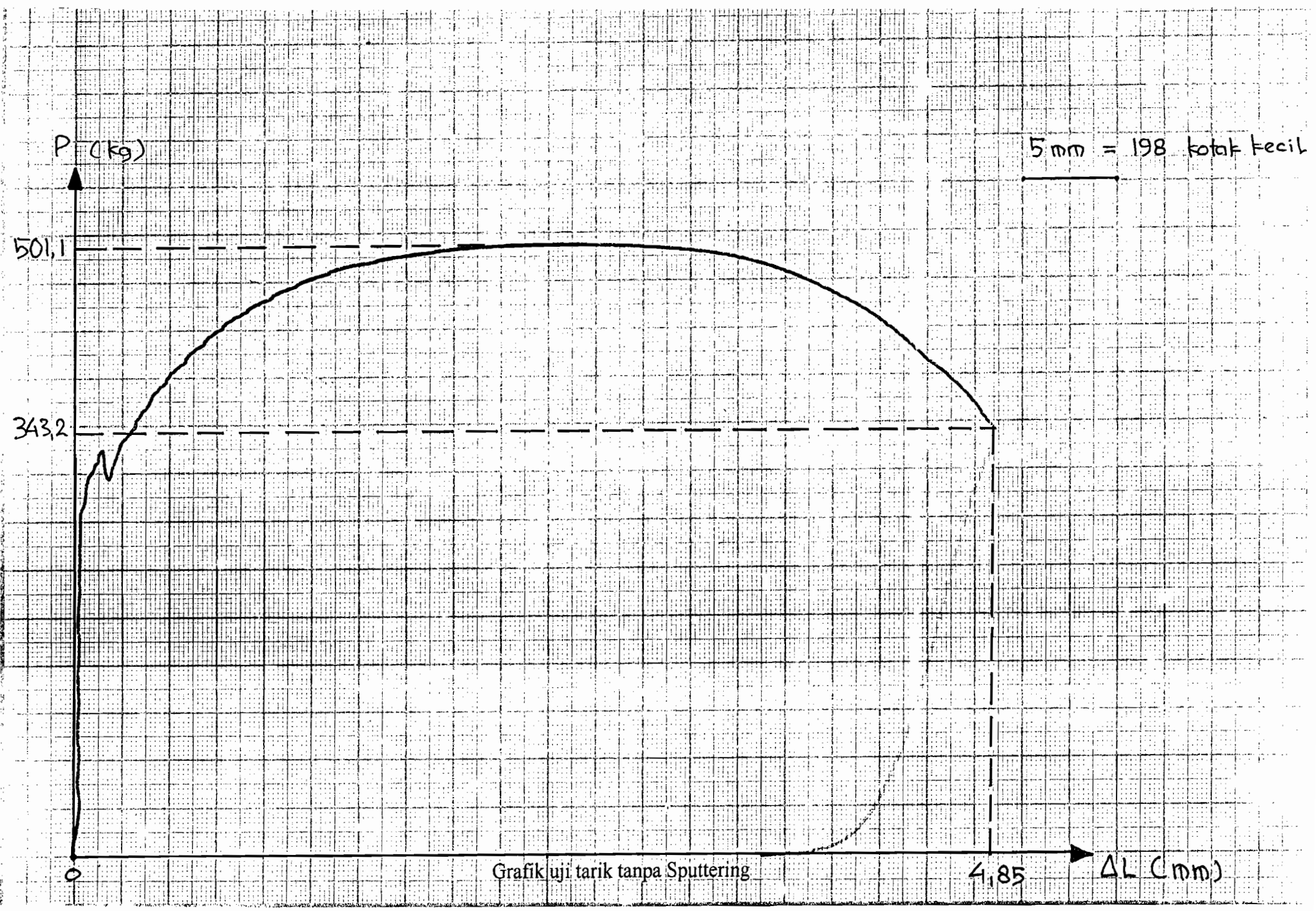
- Kemudian mengairkan gas argon ke tabung reaktor sputtering, laju aliran gas diatur dengan menggunakan flow meter, sehingga mencapai tekanan operasi pada tabung reaktor sputtering.
- Kemudian tegangan HV dinaikan hingga mencapai sekitar 1 s/d 2,5 kV dan arus sekitar 40 s/d 50 Amper, maka proses sputtering akan terjadi pada tabung reaktor sputtering yang dapat dilihat melalui jendela tabung reaktor.
- Selanjutnya atur suhu substrat, tekanan kehampaan dalam tabung reaktor dengan menggunakan flow meter dan waktu deposisi yang diinginkan.
- Apabila waktu deposisi telah dicapai, maka aliran gas argon ditutup kembali.

#### **4. Proses mematikan mesin DC Sputtering**

- Matikan sumber tegangan tinggi dengan cara menurunkan tegangan sampai nol, kemudian tekan tombol OFF.
- Menurunkan tegangan pemanas substrat sampai nol, kemudian dimatikan.
- Matikan pemanas pompa difusi dan pendingin pompa difusi kemudian katup yang menghubungkan pompa difusi dengan rotari ditutup.
- Katup by pass dan katup tabung pompa difusi ditutup.
- Kemudian membuka klem tabung reaktor sehingga tekanan tabung sputtering kembali atmosfer.
- Mengambil substrat yang dideposisi dari tabung reaktor sputtering.
- Lakukan karakterisasi hasil deposisi lapisan tipis dengan menggunakan multimeter digital untuk mendapatkan besar resistansinya.
- Simpan substrat dalam plastik klip dan diberi label parameter operasi (suhu substrat, waktu deposisi, tekanan operasi, jenis target, tegangan operasi dan besarnya resistansi dari hasil pengukuran).
- Matikan pendingin target dan pompa rotari

#### **Catatan**

Apabila dalam proses sputtering terjadi over load, nol-kan rise voltage, tekan tombol reset pada panel power supply, tekan tombol ON rise voltage diatur kembali sesuai yang dikendaki.



Grafik uji tarik tanpa Sputtering

5 mm = 198 kotak kecil

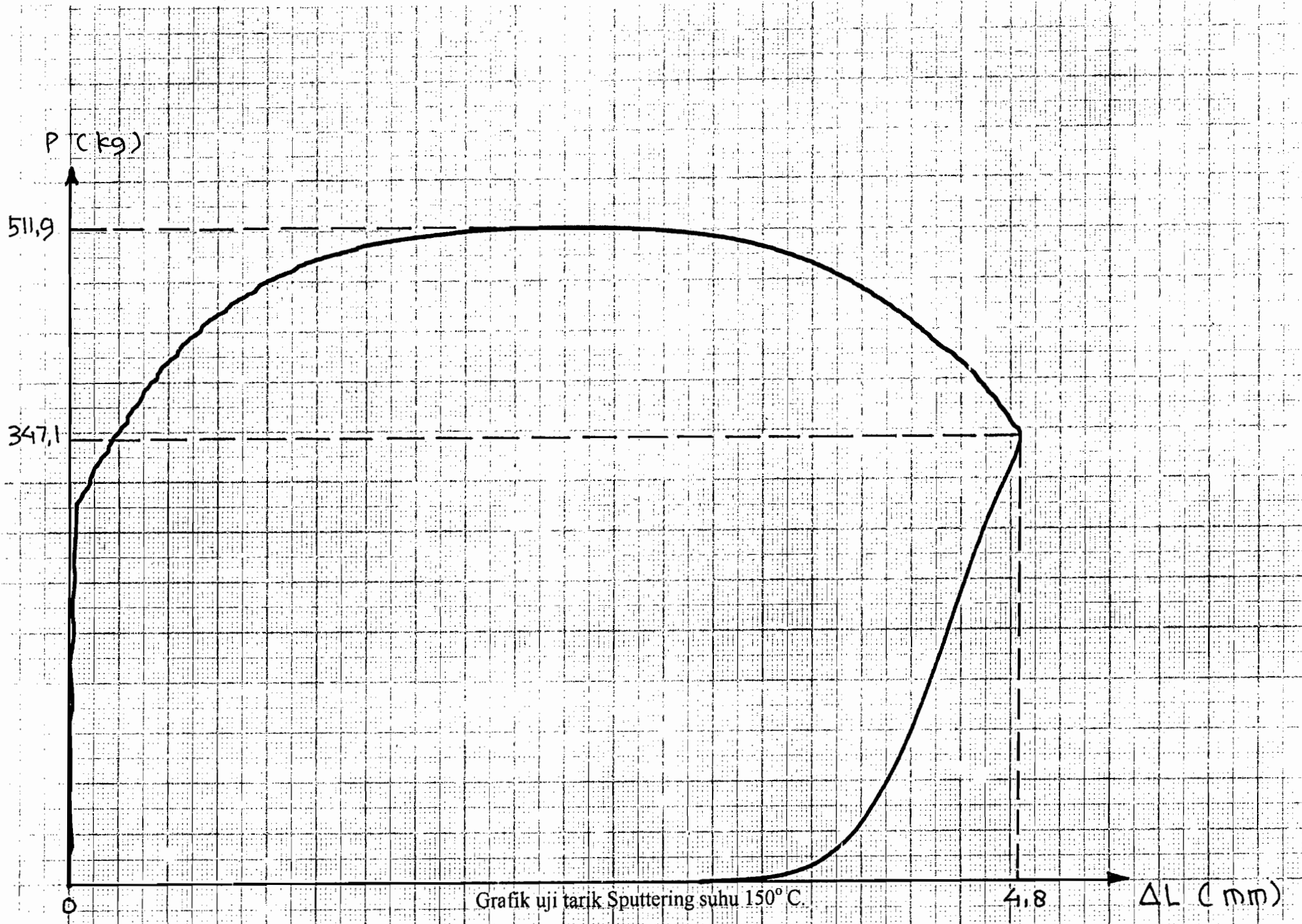
4,85  $\Delta L$  (mm)

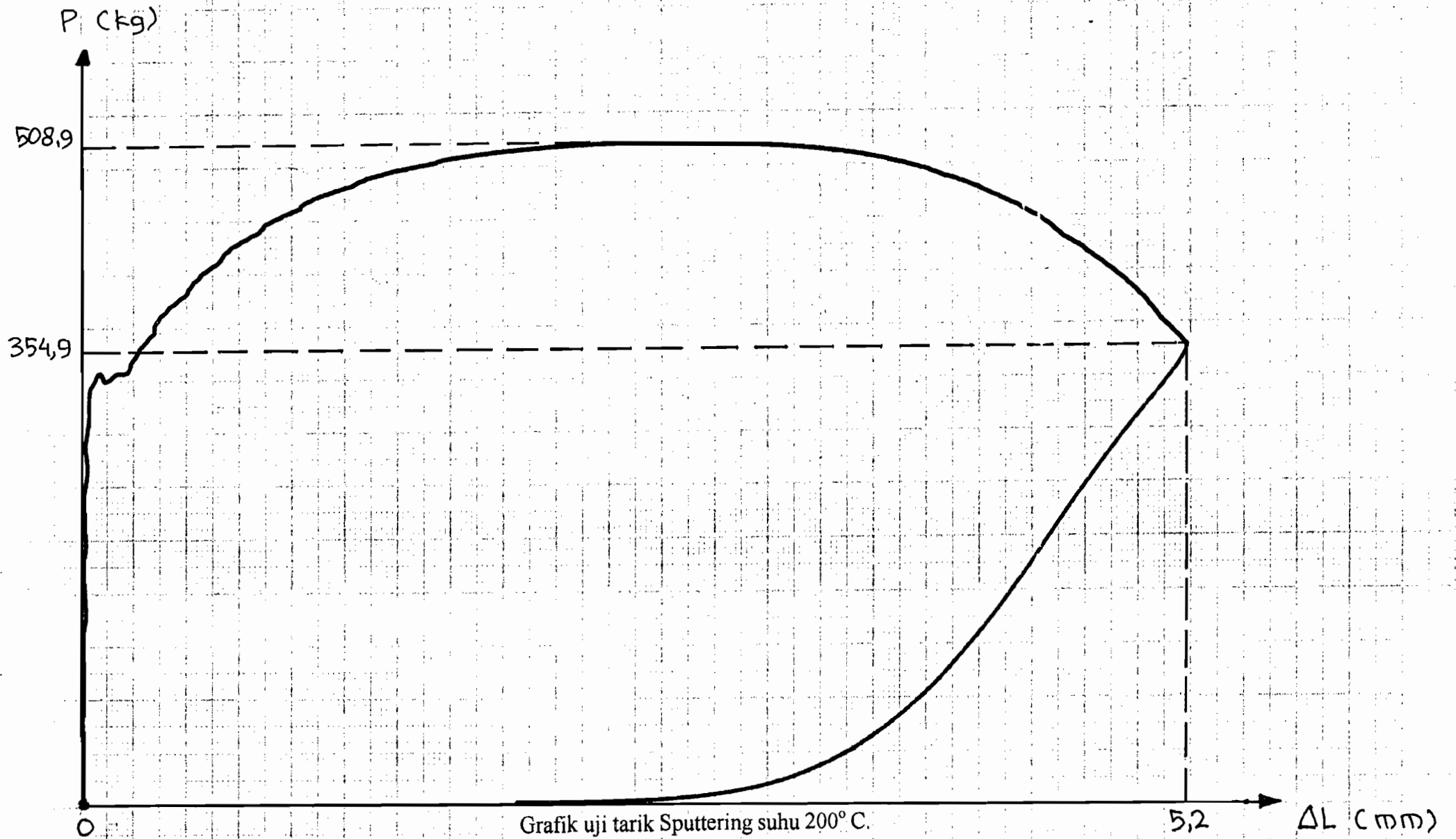
P (kg)

501,1

343,2

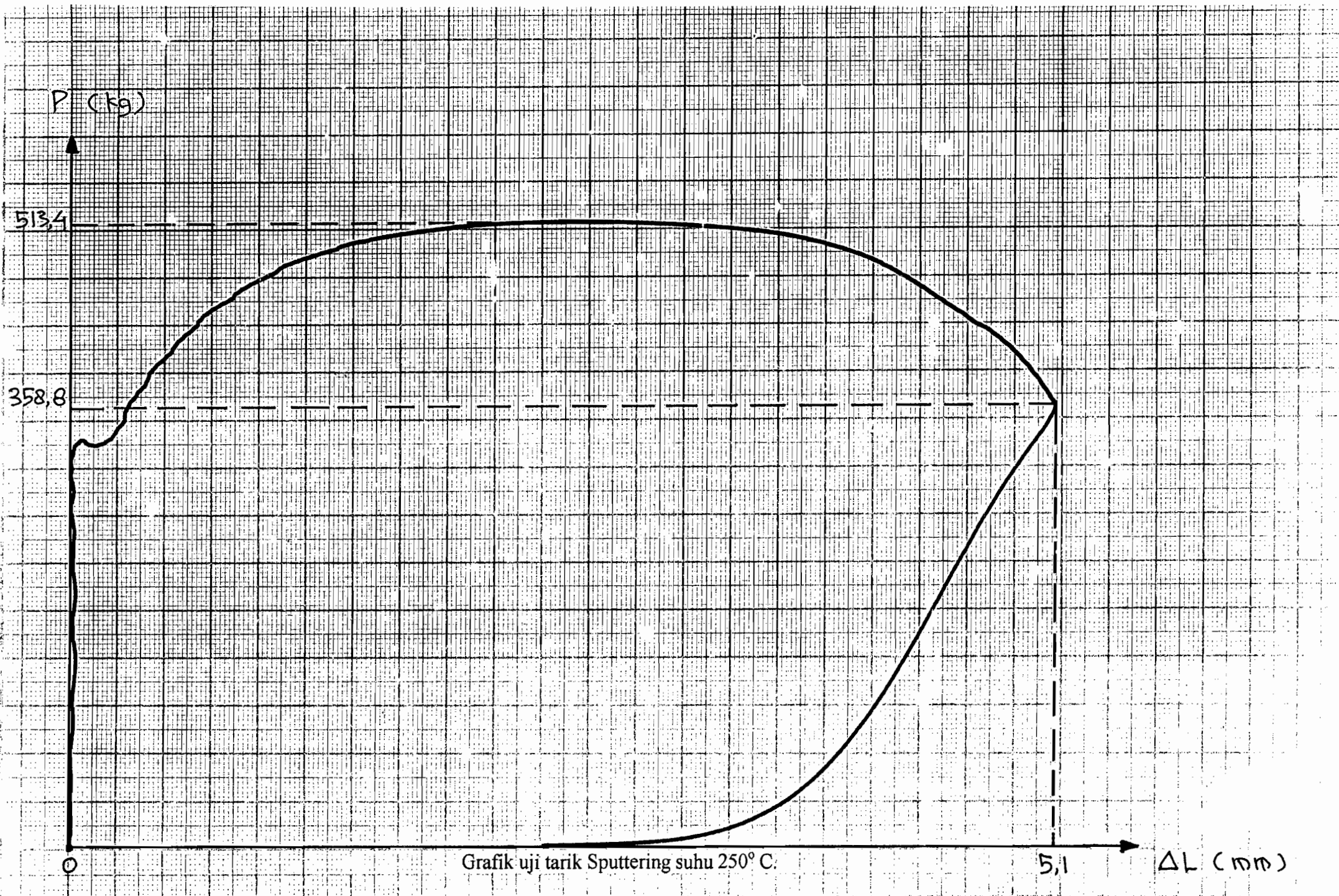
O



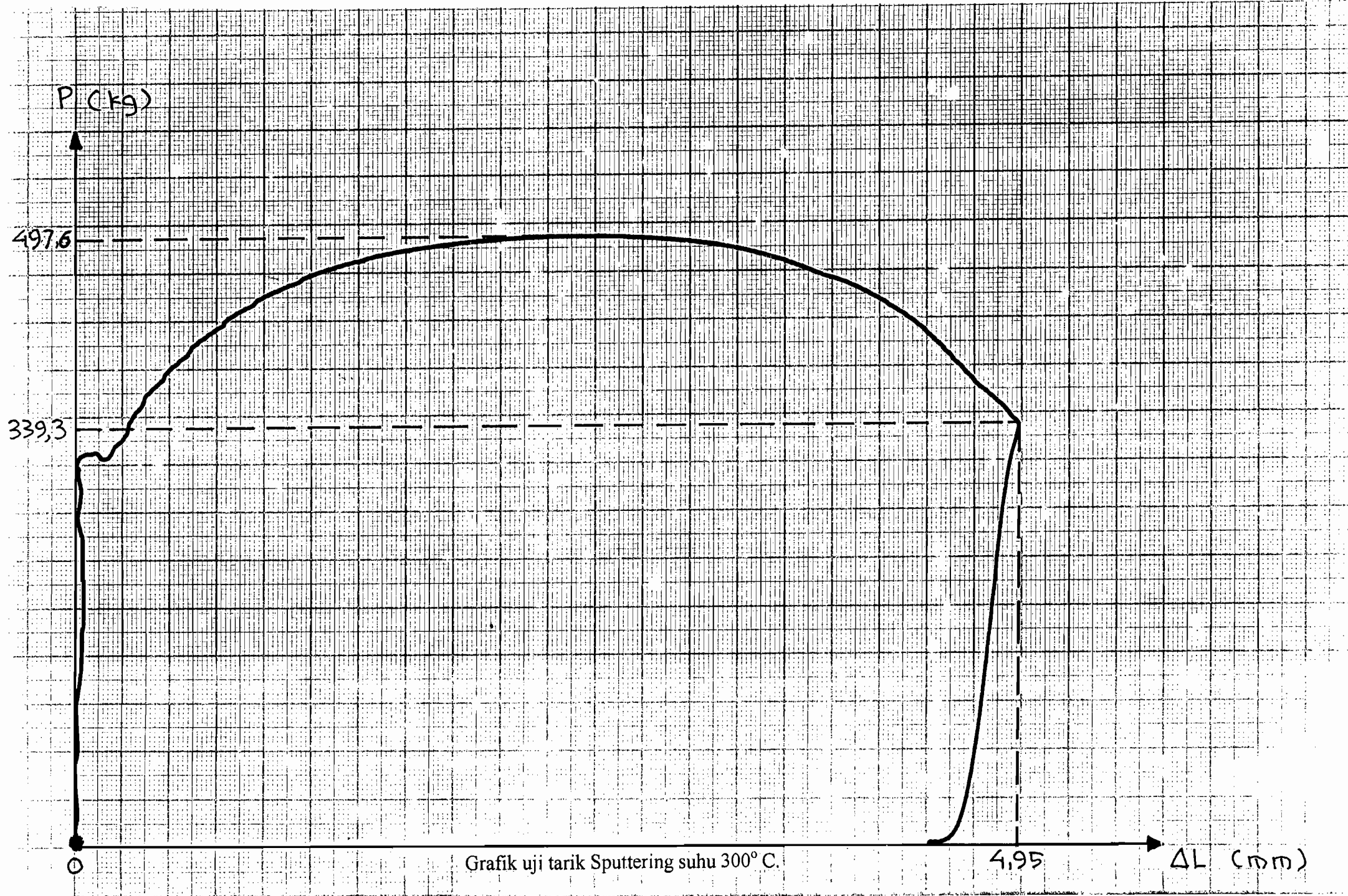


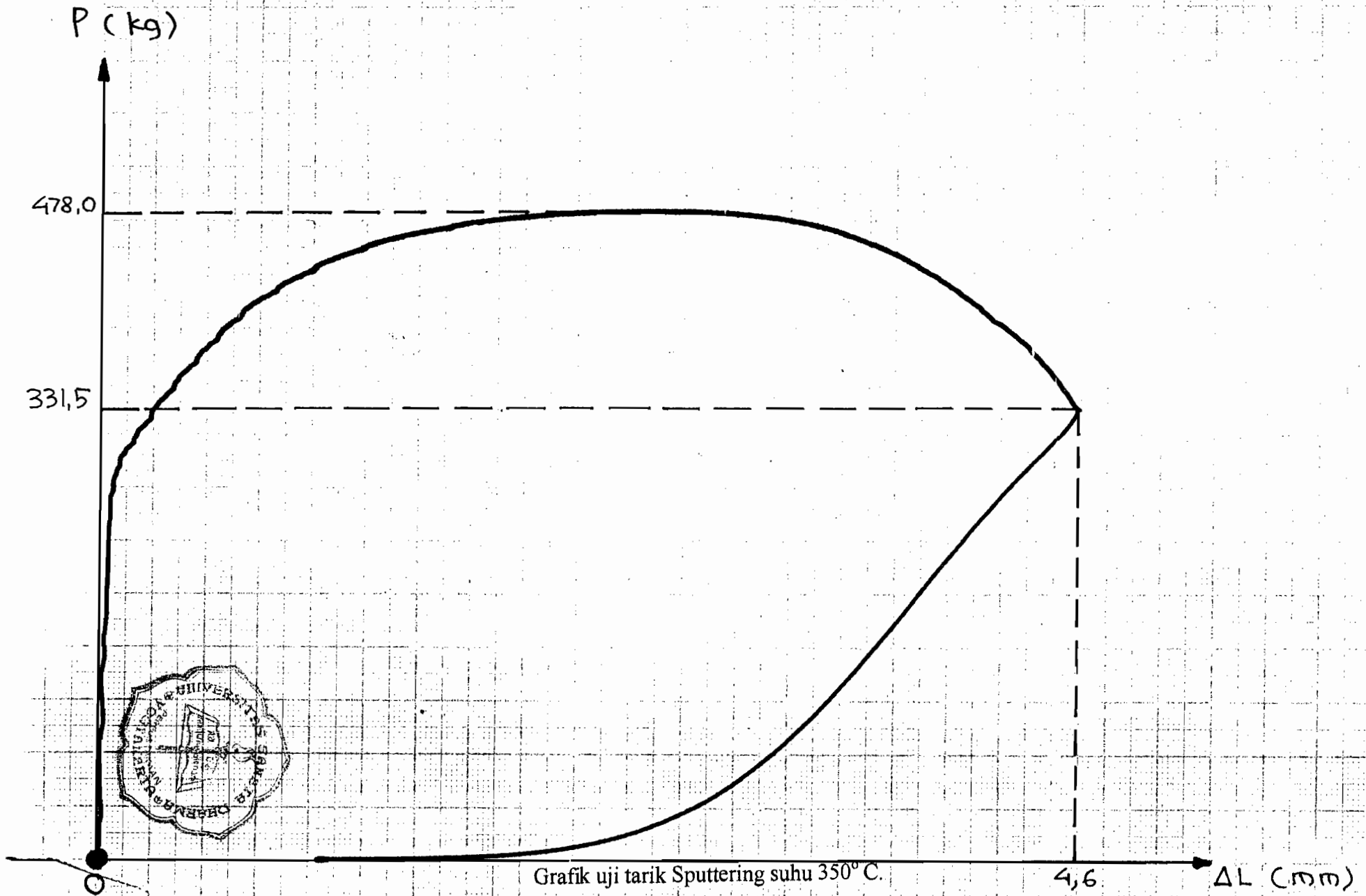
Grafik uji tarik Sputtering suhu 200° C.











Grafik uji tarik Sputtering suhu 350°C.