

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH VARIASI TEGANGAN LISTRIK  
DAN WAKTU PROSES ELEKTROPLATING  
TERHADAP KETEBALAN SERTA  
KEKERASAN LAPISAN PADA BAJA KARBON  
RENDAH DENGAN KROM**

**Disusun oleh:**

**Samsudi Raharjo**  
NIM: L4E 007 017

**Program Studi Magister Teknik Mesin  
Program Pascasarjana Universitas Diponegoro**

Menyetujui  
Tim Pembimbing

Tanggal 5 April 2010

Ketua

Dr. Ir. A. P. Bayuseno, MSc.  
NIP. 196205201989021001

Pembimbing

Co. Pembimbing

Dr. Ir. A. P. Bayuseno, MSc.  
NIP. 196205201989021001

Dr. Ing. Ir. Ismoyo Haryanto, MT  
NIP. 196605212006041010

# DAFTAR PERUNTUKAN

Diperuntukkan kepada istri, anak-anakku, para sahabatku, mudahan bisa menjadi penyemangat generasi penerus dan dengan tulus ikhlas semuanya menjadi bagian dari ibadah

## ABSTRAK

### PENGARUH VARIASI TEGANGAN LISTRIK DAN WAKTU PROSES ELEKTROPLATING TERHADAP KETEBALAN SERTA KEKERASAN LAPISAN PADA BAJA KARBON RENDAH DENGAN KROM

Samsudi Raharjo  
NIM L4E007017

Penggunaan baja pada masa sekarang ini sangatlah pesat, umumnya banyak digunakan untuk mengatasi alat-alat permesinan, konstruksi maupun pipa minyak atau gas. Peningkatan sifat-sifat fisis baja dapat dilakukan dengan proses pelapisan menggunakan metode *electroplating*. Tujuan penelitian ini adalah untuk membuktikan pengaruh variasi tegangan listrik dan waktu terhadap kekerasan serta ketebalan pada baja karbon rendah dengan pelapisan krom. Manfaat dilakukan penelitian yaitu untuk mendapatkan informasi pengaruh tegangan listrik dan waktu terhadap kekerasan serta ketebalan baja karbon rendah dengan pelapisan krom.

Dalam kegiatan penelitian ini menggunakan baja karbon rendah yang dilapisi dengan menggunakan metode *electroplating* dengan variasi tegangan listrik 4, 6, 8, 10 dan 12 volt serta lama waktu pelapisan 5, 10, dan 15 menit. Selanjutnya dilakukan pengujian ketebalan serta kekerasan dan dianalisis dengan membangun persamaan matematik regresi polynomial orde tiga.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ketebalan lapisan krom keras pada tegangan 4, 6, 8, 10, 12 volt pada lama waktu, 15 menit: 7,76, 9,31, 17,85, 27,16, dan 37,79  $\mu\text{m}$  kemudian nilai kekerasan menunjukkan 214,28, 232,92, 254,77, 286,17, dan 351,29 VHN, lapisan pada struktur mikro merata dan baik serta hasil analisis regresi polynomial antara tegangan dan waktu terhadap ketebalan tegangan dan waktu terhadap kekerasan menunjukkan nilai determinat 0,999 dengan persamaan:  $Y_t = 31,4 - 12,393 V + 1,8214 V^2 - 0,0625 V^3$  dan  $Y_h = 107,8 + 45,101V - 5,9464 V^2 + 0,3229 V^3$ . Kemudian dapat disimpulkan bahwa tebal lapisan krom keras serta kekerasan akan naik seiring dengan naiknya tegangan listrik dan waktu pada lama waktu proses elektroplating 15 menit.

**Kata kunci:** volt, waktu, ketebalan, kekerasan, struktur mikro dan *electroplating*.

## ABSTRACT

### THE INFLUENCE OF ELECTRICAL VOLTAGE AND TIME VARIATIONS ON LAYER THICKNESS AND HARDNESS FOR ELECTROPLATING PROCESS OF LOW CARBON STEEL WITH CHROME

Samsudi Raharjo  
NIM L4E007017

The usage of carbon steel at present is growing rapidly. The carbon steel is commonly used in the machining appliance and material construction, as well as oil or gas piping. Improvement of physical properties of steel can be performed by electroplating. The goal of this research was to prove the influence of electrical voltage and time variations on layer thickness as well as hardness of low carbon steel with chrome. The benefit of this research was to improve the physical and corrosion properties of steel for different application.

In this research, low carbon steel was employed and plated by electroplating with variations of electrical voltage 4,6,8,10, 12 volt and times of 5, 10 and 15 minutes. Subsequently the thickness and hardness was determined and analyzed with the 3rd order polynomial regression.

The result of this research showed that thickness of hard chrome at the voltage of 4, 6, 8 10, and 12 volt and the time of 15 minutes are 7,76, 9,31, 17,85, 27,16, and 37,79  $\mu\text{m}$ . And the hardness values obtained are 214,28, 232,92, 254,77, 286,17, and 351,29 VHN. The layer of the material plated is quite uniform. The result of regression analysis for the voltage and time variations as function of the thickness provides determinant of 0,999 with equations of  $Y_t = 31,4 - 12,393V + 1,8214V^2 - 0,0625V^3$  and  $Y_h = 107,8 + 45,101V - 5,9464V^2 + 0,3229V^3$ . It could be concluded that thickness and the hardness of chrome increase together with the increase of electrical voltage and time when the plating process is at 15 minutes.

**Key word:** Electrical voltage, time, thickness, hardness, micro structure, low carbon steel and *electroplating*.

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala Rahmat, Taufik serta Hidayah-Nya sehingga tesis berjudul “Pengaruh Variasi Tegangan Listrik dan Waktu Proses Elektroplating Terhadap Ketebalan serta Kekerasan Lapisan pada Baja Karbon Rendah Dengan Krom” dapat terselesaikan. Walaupun hasilnya tidak seberapa jika dibandingkan dengan karya-karya besar yang lain, namun hasil bukanlah tujuan yang utama, tetapi proses pembelajaran yang pernah dijalani menjadi suatu hal yang utama bagi penulis. Karena disanalah pengalaman dan nilai-nilai luhur itu ada, walaupun tidak dapat diukur dengan angka namun sangat bermakna. Pengalaman yang telah terjadi mudah-mudahan dapat menjadi refleksi, internalisasi, dan proyeksi bagi masa yang akan datang.

Penulisan tesis ini tentunya tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, baik yang secara langsung dan tidak langsung. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. A.P. Bayuseno, selaku Ketua Prodi Magister Teknik Mesin Program Pasca Sarjana UNDIP sekaligus selaku Dosen Pembimbing Utama, yang telah banyak mengarahkan dan memberikan bimbingan serta masukan dalam penyusunan tesis ini.
2. Bapak Dr. Ismoyo Haryanto, selaku Co-Pembimbing yang telah memberikan koreksi dan bantuan selama penulis melakukan penulisan tesis ini.
3. Seluruh Dosen dan Karyawan Prodi Magister Teknik Mesin Program Pasca Sarjana UNDIP.

4. Bapak Dr.Ir. Victor Malau, DEA selaku kepala Laboratorium S1 prodi Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada Yogyakarta yang berkenan memberikan kemudahan dalam melakukan pengujian bahan.
5. Ir. Sriyanto selaku pimpinan Industri electroplating yang berkenan tempat usahanya dipergunakan sebagai sarana praktek.
6. Dr. Susilo Adi Widyanto, ST, MT selaku penguji.
7. Bapak Sri Nugroho,ST,MT,PhD, Koordinator Tesis, Sekaligus penguji yang telah memperlancar proses administrasi penulisan tesis.

Penulis menyadari sebagai manusia bahwa masih banyak kekurangan dalam Tesis ini. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan Tesis ini. Terakhir semoga Tesis ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun bagia para pembaca. *Amin*.

Semarang, 5 April 2010

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	i
<b>ABSTRAK</b> .....	ii
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR PERUNTUKAN</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG</b> .....	xiv
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Lingkup Studi .....	2
1.3. Perumusan Masalah .....	3
1.4. Batasan Masalah .....	3
1.5. Originalitas Penelitian .....	3
1.6. Tujuan Penelitian .....	4
1.7. Sistematika Penulisan Penelitian .....	5
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Tinjauan Pustaka .....	6
2.2. Penelitian Terdahulu .....	11
2.3. Pengertian Electroplating .....	14
2.4. Proses Pelapisan Electroplating .....	15

2.5.	Proses Pengerjaan Akhir .....	19
2.6.	Tegangan Electroplating .....	21
2.7.	Pengujian Mutu .....	28
2.8.	Analisa Regresi .....	28

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1.	Pendekatan Penelitian .....	34
3.2.	Variabel Penelitian .....	34
3.3.	Waktu dan Tempat Penelitian .....	35
3.4.	Peralatan Penelitian .....	35
3.5.	Bahan Penelitian .....	35
3.6.	Proses Pembuatan Spesimen .....	36
3.7.	Proses Pelapisan .....	37
3.8.	Menghitung Penggunaan Energi Listrik Selma Elektroplating.....	39
3.9.	Pengukuran Ketebalan Lapisan Krom Keras .....	41
3.10.	Pengujian Struktur Mikro .....	42
3.11.	Pengukuran Kekerasan Lapisan Hard Chrome .....	43
3.12.	Pengujian Kekerasan .....	44
3.13.	Pengujian Keausan .....	45
3.14.	Pengukuran Kekasaran Permukaan .....	45
3.15.	Analisis Data .....	46
3.16.	Diagram Alir Penelitian .....	47

### **BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1.	Hasil Pengujian Komposisi Baja Karbon Rendah .....	48
4.2.	Pegukuran Ketebalan Lapisan krom keras .....	49
4.3.	Analisa Struktur Mikro .....	51
4.4.	Pengukuran Kekerasan Lapisan Krom Keras .....	51
4.5.	Pengujian Kekerasan Lapisan Hard Chrome Dengan Metode	

Vickers.....	56
4.6. Hasil Keausan Lapisan Krom Keras .....	64
4.7. Analisa Laju Keausan.....	65
4.8. Pengukuran Kekasaran Permukaan.....	66

## **BAB V PENUTUP**

5.1. Simpulan .....	68
5.2. Saran .....	69
	69

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN-LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi dan Operasi Larutan Cr .....	9
Tabel 2.2 Spesifikasi Anoda .....	24
Tabel 2.3 Kategori Baja Carbon .....	27
Tabel 3.1 Data data volt, ampere, waktu dan suhu pada proses electroplating....	37
Tabel 3.2 Perbedaan Berat Spesimen.....	40
Tabel 4.1 Hasil Uji Komposisi Material Dasar .....	49
Tabel 4.2 a Ketebalan vs Tegangan.....	53
Tabel 4.2 b Kekerasan vs Tegangan.....	53
Tabel 4.3 Luas goresan Lapisan Hard Chrome .....	65
Tabel 4.4 Hasil Kekasaran Permukaan Spesimen A .....	66
Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Spesimen B.....	67

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arah deposisi atom asing.....	8
Gambar 2.2 Skema proses electroplating .....	18
Gambar 2.3 Urutan proses pelapisan electroplating.....	20
Gambar 2.4 Diagram fasa FeC .....	26
Gambar 3.1 Spesimen terlapis krom keras.....	36
Gambar 3.2 Proses Elektroplating .....	38
Gambar 3.3 Poles dengan Otosol .....	38
Gambar 3.4 Poles dengan Kain Sutra .....	39
Gambar 3.5 Hasil Pelapisan Krom .....	39
Gambar 3.6 Timbangan mikro.....	40
Gambar 3.7 Skema pengukuran ketebalan lapisan.....	41
Gambar 3.8a Spesimen uji ketebalan.....	42
Gambar 3.8b Spesimen dan Dudukan .....	43
Gambar 3.9 Skema indentor Vickers. ....	44
Gambar 3.10 Skema Pengujian Keausan .....	45
Gambar 3.11 Alat uji kekerasan merk Mitutoyo SJ-20 IP.....	46
Gambar 3.11 Diagram alir Penelitian.....	50
Gambar 4.2 Pengaruh tegangan listrik terhadap ketebalan.....	50
Gambar 4.3 Grinding disc.....	52
Gambar 4.4 a Analisa pengaruh Ketebalan terhadap Tegangan linier.....	54
Gambar 4.4 b Analisa pengaruh Ketebalan terhadap Tegangan eksp.....	54
Gambar 4.4 c Analisa pengaruh Tegangan terhadap Ketebalan power.....	55
Gambar 4.4 d Analisa pengaruh Tegangan terhadap Ketebalan poly.....	55

Gambar 4.5 Struktur mikro pelapisan spesimen dengan waktu 15 menit.....	56
Gambar 4.6 Bentuk pengujian vickers.....	57
Gambar 4.7 Skema indenter.....	58
Gambar 4.8 Grafik Batang Kekerasan vs Tegangan.....	59
Gambar 4.8 Grafik Pengaruh variasi tegangan listrik terhadap kekerasan.....	60
Gambar 4.10 a Analisa pengaruh Tegangan listrik terhadap Kekerasan.linier.....	61
Gambar 4.10 b Analisa pengaruh Tegangan listrik terhadap Kekerasan.eks.....	61
Gambar 4.10 c Analisa pengaruh Tegangan listrik terhadap Kekerasan.power...	61
Gambar 4.10 d Analisa pengaruh Tegangan listrik terhadap Kekerasan.poly.....	61
Gambar 4.11 Luas goresan Keausan.....	64

## DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

SINGKATAN	NAMA	HALAMAN
Pre Treatmen	proses pengerjaan persipan	15
Buffing	menghaluskan permukaan	15
Solven	pembersihan dengan pelarut	16
Vapour degreasing	penguapan dengan pelarut	16
Alkalin cleaning	pembersihan dengan larutan alkalin	16
Electronic degreasing	pembersihan menggunakan arus listrik	17
Pickling	pencucian dengan asam	17
HCL	mempercepat proses elektroplating	17
Elektrolit	membentuk ion-ion + dan -	24
ASTM	American Society of Testing and Material	30

LAMBANG	NAMA	SATUAN	HALAMAN
VHN	Vickers Hard Number	[ VN ]	6
$\mu$	satuan mikro	[ $\mu\text{m}$ ]	6
B	berat zat deposit	[ gram ]	14
I	jumlah arus yang mengalir	[ Ampere ]	14
t	waktu	[ detik ]	14
e	jumlah unsur per valensi	[ 1 ]	14
d	tebal lapisan	[ $\mu\text{m}$ ]	14
F	bilangan faraday	96500	14
V	tegangan	[ volt ]	22
R	resistant	[ ohm ]	22
A	luas permukaan	[ $\text{Cm}^2$ ]	23
pH	derajad keasaman	[ Colori meter ]	24
$\rho$	tahanan jenis	[ ohm.m ]	24

## DAFTAR LAMPIRAN

### Lampiran A Mekanisme Pengendapan Krom

- A.1 Mekanisme pengendapan krom
- A.2 Proses perbandingan krom
- A.3 Skema elektroplating

### Lampiran B Data dan Perhitungan Statistik

- B.1 Hasil tebal lapisan
- B.2 Analisa ketebalan Vs tegangan
- B.3 Hasil perhitungan kekerasan
- B.4 Analisa pengujian kekerasan Vs tegangan

### Lampiran C Dokumen Penelitian

- C.1 Komposisi kimia
- C.2 Struktur mikro
- C.3 Injakan indentor mikro vickers
- C.4.1 Gambar alat penelitian
- C.4.2 Gambar mesin poles dan photo mikro
- C.4.3 Vickers tester dan Thickness gauge
- C.5 Struktur mikro lama proses 5 dan 10 menit

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi rekayasa pelapisan listrik ( electroplating ) telah banyak memberikan kontribusi yang cukup signifikan terhadap laju pertumbuhan industri kecil dan menengah termasuk: bengkel fabrikasi, jasa alat berat dan asesoris, Pada saat ini proses pelapisan yang dilakukan oleh Industri electroplating dalam menghasilkan produknya yaitu dengan cara melapiskan logam krom pada material dasar yang berupa baja carbon rendah dengan system satu lapisan krom keras atau material dasar dihaluskan/ dipolish lebih dahulu kemudian langsung dilapisi dengan krom. Pada proses electroplating dikenal dua jenis pelapisan yaitu: krom dekoratif dan krom keras, adapun pelapisan krom keras dilakukan secara langsung terhadap material dasar yang sudah mengalami pekerjaan pendahuluan.

Proses krom dekoratif merupakan suatu lapisan tipis kromium dengan ketebalan antara 0,25 hingga 0,75  $\mu\text{m}$  dengan urutan proses empat atau minimal dua lapis, dimana lapis empat didahului dengan tembaga sianida, dilanjutkan dengan tembaga asam kemudian pelapisan nikel dan tahap akhir berupa lapisan krom.

Krom keras mempunyai ketebalan yang dapat mencapai 300 $\mu\text{m}$  dengan kekerasan lebih dari 600 VHN dan umumnya diterapkan untuk alat-alat industri yang bergerak dan memerlukan ketahanan goresan dan abrasi yang tinggi (Purwanto, 2005: h.83 ). Secara umum elektroplating dimaksudkan untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu dari permukaan suatu bahan seperti menaikkan kekerasan permukaan suatu produk, tahan korosi dan memperindah penampilan.

Pada umumnya industri elektroplating dapat melayani permintaan produk masal baik berupa produk baru atau spare part yang telah aus. Hal ini dapat dilihat dilapangan maraknya bengkel-bengkel modifikasi yang kewalahan kebanjiran omset dalam usaha memperbaiki sifat fisik atau mekanis material berkat proses pelapisan ini produk dapat menambah tampilan dan tahan aus.

Mengingat potensi keuntungan yang didapat dengan industri electroplating, maka sekarang ini industri rumahan yang melayani elektroplating semakin banyak Solo, Semarang dan Tegal. Permasalahan yang sering dihadapi oleh bengkel *electroplating* adalah bagaimana memprediksi untuk mendapatkan kekerasan dan ketebalan hasil pelapisan tertentu agar konsumen bisa puas. Selanjutnya, Produk hasil ketebalan lapisan krom keras agar berkualitas baik harus memenuhi standart mutu dengan ASTM: 504, 555 dan 588 (Purwanto,2005), dan daya adhesi kuat.

## 1.2 Lingkup Studi

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, penelitian ini dilakukan untuk dapat memprediksi: tentang pengaruh variasi tegangan listrik dan waktu proses pelapisan listrik terhadap ketebalan serta kekerasan pada baja karbon rendah dengan krom, serta menentukan persamaan matematik regresi. Persamaan ini dipakai untuk memprediksi hasil ketebalan dan kekerasan dari material tersebut.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya (Bettina,2000, Kvedaras,2006 serta Ivanova,2007) terletak pada pemilihan variasi tegangan listrik: 4, 6, 8, 10 dan 12 volt dengan pelapisan krom keras, sehingga sehingga data penelitian yang diperoleh akan menghasilkan persamaan matematik regresi, Untuk memprediksi ketebalan dan kekerasan lapisan krom keras sebagai fungsi lama waktu eksperiment proses *electroplating* yaitu: 5, 10 dan 15 menit.

**Hipotesis Penelitian;** Dasar penelitian tentang "Pengaruh Variasi Tegangan listrik dan Waktu terhadap Ketebalan serta Kekerasan pada Proses Elektroplating Baja karbon rendah dengan krom", diharapkan didapat data kekerasan dan ketebalan pelapisan krom paling optimal terdapat pada rentang tegangan 4 sampai 12 volt dengan waktu proses 5 -15 menit pada ukuran spesimen diameter 30 mm dan tebal 4 mm.

### **1.3 Perumusan Masalah**

Berdasarkan ulasan latar belakang agar penelitian dapat dilakukan terarah dan sesuai sasaran yang dikehendaki, maka masalah yang akan diteliti diperinci sebagai berikut:

- Pengaruh variasi tegangan listrik dan lama waktu proses electroplating terhadap hasil ketebalan lapisan krom keras.
- Pengaruh variasi tegangan listrik dan lama waktu proses electroplating terhadap kekerasan hasil pelapisan.
- Variasi pada tegangan listrik dan lama waktu proses electroplating manakah yang paling optimal dalam menghasilkan ketebalan dan kekerasan lapisan hard chrome.
- Menentukan persamaan model matematik yang dapat dihasilkan dari data pengukuran diatas.

### **1.4 Batasan Masalah**

Agar penelitian “Pengaruh variasi tegangan listrik dan waktu proses electroplating terhadap ketebalan, kekerasan pada baja karbon rendah dengan krom” tidak bias maka perlu dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

- Material yang digunakan untuk dilapis adalah baja karbon rendah St 40 dengan komposisi kimia yang telah di uji.
- Model pelapisan merupakan krom keras electroplating.
- Variasi tegangan listrik yang dipilih adalah: 4, 6, 8, 10 dan 12 volt.
- Lama waktu proses electroplating yang dipilih adalah: 5, 10 dan 15 menit.
- Sumber tegangan dari PLN melalui adaptor DC.

### **1.5 Originalitas Penelitian**

Penelitian ini mengacu pada tugas proyek khusus dengan judul “pemilihan larutan elektrolit untuk pelapisan krom”, dan telah berhasil diuji dengan mendapatkan komposisi larutan yang tepat serta belum ada pihak lain yang

meneliti selanjutnya. Kemudian penelitian ini juga menguji tentang ketebalan keausan, kekerasan dan kekasaran permukaan.

#### **1.6 Tujuan Penelitian**

Penelitian bertujuan untuk :

1. Menentukan kekerasan spesimen sesudah dan sebelum dilapis krom keras.
2. Menentukan komposisi kimia spesimen sebelum dilapis hard chrome.
3. Mengukur ketebalan lapisan hard chrome.
4. Mengukur kekerasan lapisan hard chrome.
5. Menentukan kekasaran permukaan pelapisan hard chrome.
6. Membuat persamaan regresi dari hasil analisis data.

#### **1.7 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian adalah :

1. Dapat menyajikan produk pelapisan dengan ketebalan dan kekerasan tertentu.
2. Dapat memprediksi ketebalan lapisan cukup dengan mengatur variasi tegangan listrik pada lama proses electroplating.
3. Sebagai referensi tentang variasi tegangan listrik dan waktu proses electroplating terhadap ketebalan, kekerasan lapisan krom.
4. Menambah khasanah keilmuan dibidang electroplating pada Jurusan Teknik Mesin UNDIP.

### 1.8 Sistematika Penulisan

Tesis ini disusun dalam 5 bab. Bab I merupakan **pendahuluan** yang memaparkan latar belakang penelitian, lingkup studi, rumusan masalah, batasan masalah, originalitas penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

Pada Bab II diuraikan tinjauan pustaka yang berisi teori electroplating, rujukan penelitian terdahulu, teori dasar batas butiran antara material dasar dan material pelapis krom, teori mencari ketebalan lapisan, teori pengujian mikro vickers dan persamaan matematik kwadrat terkecil.

Bab III adalah metode penelitian yang mengurai jenis dan sumber data dan sampel yang digunakan dalam penelitian, metodologi merupakan perangkat yang digunakan untuk menganalisis pada pelaksanaan dan pembahasan penelitian agar dapat dipertanggung jawabkan secara ilmiah.

Bab IV Pada bab ini berisi hasil dan pembahasan penelitian, yang dikelompokkan menjadi; Hasil dan pembahasan ketebalan, kekerasan permukaan lapisan *hard chrome* dan terakhir data-data yang tercatat diuji menggunakan persamaan matematik regresi.

Bab V Penutup ini berisi kesimpulan dan saran, implikasi dan manfaat yang diuraikan dalam bab ke bab serta keterbatasan penelitian.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Tinjauan Pustaka

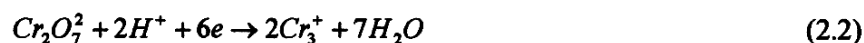
Pelapisan hard chrome merupakan rekayasa pelapisan pada logam dimana depositnya lebih tebal dan waktu pelapisan lebih lama serta dengan kecepatan pelapisan krom lebih cepat. Krom memiliki keunggulan sifat fisik dan mekanis yaitu: memiliki angka gesekan kecil, keras dan tahan terhadap korosi ( Tomijiro, 1992 ). Dalam penerapannya banyak digunakan secara luas di banyak industri meliputi bidang yaitu: farmasi, kimia, minyak dan gas, textiles, printing, mining, moulding, aerospace dan automotive serta banyak bidang lagi penerapannya.

Krom keras mempunyai ketebalan yang dapat mencapai 20 sampai 150 $\mu$ m dengan kekerasan lebih dari 600 HV, yang umumnya diaplikasikan untuk alat – alat industri yang bergerak dan memerlukan ketahanan goresan dan abrasi yang tinggi (Purwanto, 2005 ), Krom keras diaplikasikan dengan cara melapis produk industri seperti, rol, bolt joint, sock absorber dan as power steering dengan system satu lapis menggunakan rectifier dengan suplai daya antara 4 hingga 12 volt serta lama waktu yang telah ditentukan.

Dalam proses elektroplating sumber ion krom valensi 3 berasal dari larutan elektrolit yang mengandung asam kromat. Mekanisme pengendapan  $Cr^{+3}$  terjadi pada katoda dalam membentuk lapisan menurut persamaan, sebagai berikut:



Larutan terionisasi sehingga membentuk ion positif (+) dan negatif (-). Sementara larutan asam dikromat merupakan oksidator kuat:

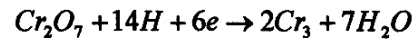
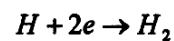
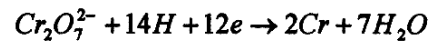


Dalam larutan basa, daya oksidatornya melemah:

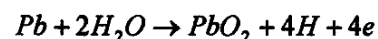
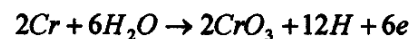
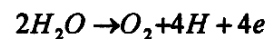


Krom tidak dapat dideposit dalam larutan berair  $\text{CrO}_3$  saja; harus ada sedikit radikal asam yang berperan sebagai katalis agar terjadi deposisi katodik logamnya, misalnya  $\text{CrO}_4^{2-}$ .

Asam kromat dalam larutan asam pekat bak plating berada kebanyakan sebagai ion dikromat. Pada katoda setidaknya tiga reaksi berlangsung: deposisi krom, pengeluaran hidrogen dan pembentukan Cr (III).

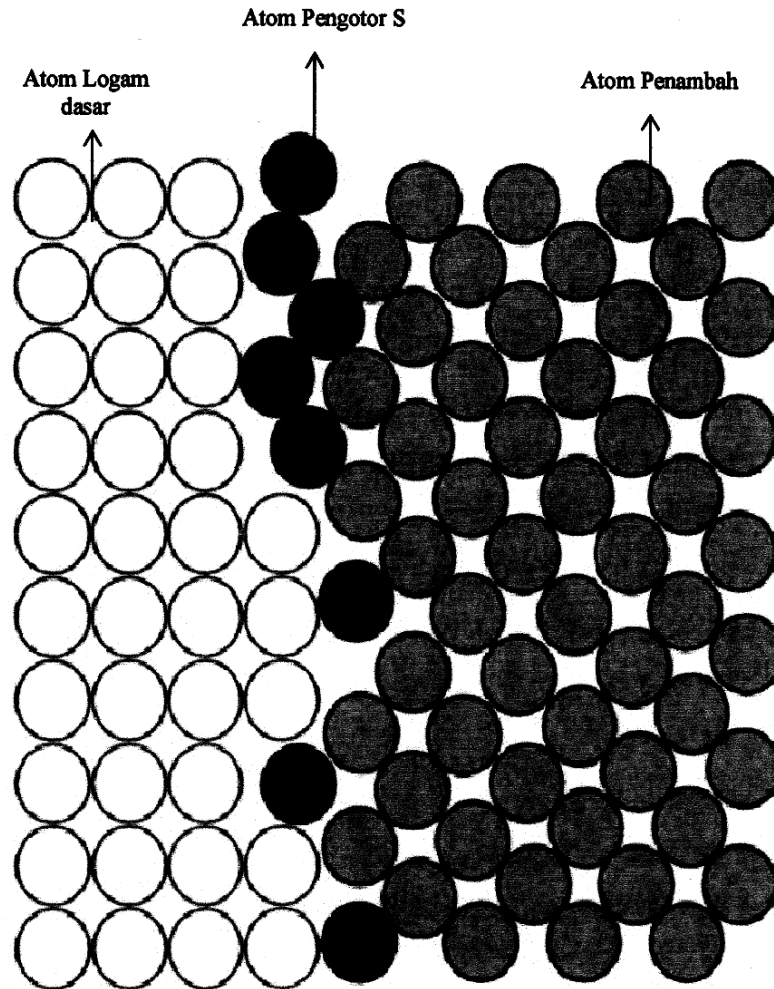


Pada anoda juga terjadi tiga reaksi serentak: pengeluaran oksigen, oksidasi ion kromat dan produksi timbel dioksid:



Kebanyakan daya diserap untuk mengeluarkan oksigen, sedangkan dua reaksi lain sangat penting: oksidasi ulang Cr (III) pada anoda membantu menyeimbangkan produksinya pada katoda dan menjaga tingkat  $\text{Cr}^{3+}$ . Bagi operasi memadai bak plating kromnya, anoda timbel harus tertutup lapisan timbel dioksida. Apabila film tersebut hilang maka terjadi timbel kromat dan anodanya tidak menjalankan fungsi pengaturan konsentrasi  $\text{Cr}^{3+}$  di baknya.

Berbagai teori plating krom terus dikembangkan mengenai perihal fungsi katalis serta, Beberapa hal lain yang menjadi masalah ialah efisiensi arus yang amat berubah-ubah sesuai suhu, konsentrasi asam kromat. Teori final memang belum memuaskan, oleh karena perlu ditambahkan pengalaman praktis (Tomijiro)



**Gambar 2.1 Arah deposisi atom asing pada batas butir dalam paduan,(Nasser Kanani,2006).**

Didalam proses electroplating dengan krom komposisi larutan elektrolit sangat penting sebagai sumber ion krom, karena anoda yang digunakan berupa anoda pasif. Larutan plating krom yang digunakan oleh industri plating dapat disebut larutan standar atau konvensional. (Purwanto, 2005 : 85). Tabel 2.1 menyajikan data komposisi larutan elektrolit yang digunakan pada pelapisan krom.

**Tabel 2.1. Komposisi dan kondisi pelapisan krom [Purwanto, 2005]**

<b>Hard Chrome</b>	
<b>Komponen dan kondisi operasi</b>	
Asam kromat ( $\text{CrO}_3$ )	240 gr/l
Sulfat ( $\text{SO}_4$ )	0,87 gr/l
Temperatur	46 - 67 <sup>o</sup> C
Rapat arus	33 A/dm <sup>2</sup>

Untuk pelapisan hard chrome asam kromat merupakan salah satu sumber ion krom yang akan melapis pada katoda, karena anoda yang digunakan tidak aktif, maka berkurangnya konsentrasi ion krom perlu ditambahkan asam kromat untuk menjaga kadar krom dalam larutan. Asam kromat dalam larutan asam pekat didalam bak plating berada kebanyakan sebagai ion dikromat. Pada katode setidaknya ada tiga reaksi berlangsung yaitu: deposisi khrom, pengeluaran hydrogen, pembentukan Cr. Dan pada anoda juga terjadi tiga reaksi serentak yaitu: pengeluaran oksigen, oksidasi ion khromat dan produksi timbel dioksida pada anoda ( Tomijiro, 1992 ).

#### **Pengerasan baja karbon**

Proses pengerasan permukaan pada baja karbon banyak digunakan pada industri khususnya digunakan pada komponen mesin seperti pin dan as-as pemotong, peralatan kendaraan bermotor seperti ring piston dan sock absorber. Pada dasarnya proses pengerasan permukaan pada baja karbon ada 2 (dua) jenis, yang pertama yaitu proses pengerasan permukaan yang bersifat mengeraskan permukaannya saja tanpa merubah struktur atau komponen-komponen yang ada pada logam induknya, yang termasuk proses ini diantaranya proses pelapisan Khrom keras. Sedangkan yang kedua adalah proses pengerasan permukaan baja karbon yang sifatnya mengeraskan permukaan dengan merubah struktur atau komponen-komponen yang ada pada baja karbon, diantaranya adalah proses karburasi, karbonitriding, cyaniding dan nitriding.

Perkembangan teknologi saat ini semakin meningkat bersamaan dengan semakin meningkatnya kebutuhan masyarakat akan produk-produk terutama

produk yang bersifat fisik. Dan manusia selalu berusaha untuk memperbaharui teknologi yang lebih baik dengan tujuan semua kebutuhan manusia akan terpenuhi. Untuk memenuhi kebutuhannya manusia cenderung memilih barang-barang yang mudah didapat dan murah, maka banyak muncul teknologi yang menggunakan konsep itu.

Pada proses krom keras ini untuk mendapatkan hasil yang baik diantaranya kekerasannya yang tinggi, diperlukan pengaturan variabel-variabel yang ada, diantaranya pengaruh temperatur, waktu proses yang tepat dan pengaturan rapat arus yang tepat. Pengaturan variabel-variabel di atas dengan tepat nantinya akan didapatkan hasil pelapisan permukaan dengan ketebalan yang diinginkan sehingga nantinya bisa meningkatkan nilai kekerasan dari logam yang dilapisinya, Berdasarkan hal tersebut di atas penelitian mengenai proses krom keras dengan menelaah pengaruh rapat arus, temperatur dan waktu proses terhadap hasil pelapisan untuk meningkatkan kekerasan permukaan pada baja karbon.

Melihat betapa besarnya penggunaan logam dalam era sekarang ini, maka diperlukan suatu proses yang berguna untuk melindungi dari pada permukaan, yaitu dengan cara Proses pelapisan khrom keras. Pada proses pelapisan khrom keras lebih banyak berkaitan dengan kebutuhan rutin dari suatu komponen yang perlu diperbaiki disebabkan oleh keausan dan juga yang sering mengalami gesekan terus-menerus dalam fungsi kerjanya, sehingga akan cepat mengalami keausan. Untuk mengatasi masalah tersebut dilakukan pelapisan khrom keras pada komponen supaya nantinya tidak aus.

Dalam perkembangan lapis khrom banyak hal yang diperhatikan kemampuan proses akan meningkatkan lebih banyak pada mutu teknis. Peningkatan mutu yang merupakan aspek teknis adalah mencapai kualitas yang diharapkan untuk memenuhi komponen yang mempunyai sifat seperti yang diharapkan.

### **Pelapisan baja karbon dengan krom**

Asam sulfat berfungsi sebagai salah satu katalis yang berperan mempercepat terjadinya reaksi pengendapan ion krom dan control terhadap larutan elektrolit dilakukan secara rutin untuk menjaga komposisi larutan. Sementara krom adalah logam yang mempunyai sifat: berwarna putih kebiruan, keras, tahan terhadap lingkungan yang korosif dan mengkilap.

### **2.2. Penelitian Terdahulu**

Penelitian tentang pengaruh variasi tegangan listrik dan waktu terhadap ketebalan serta kekerasan pada proses electroplating baja karbon rendah dengan krom ini didahului dengan mengkaji beberapa penelitian yang telah dilakukan:

Ivanova ( 2007 ), Melakukan penelitian tentang pelapisan galvanis pada baja karbon menggunakan sampel-sampel eksperimen berbentuk piringan dengan luas  $1000 \text{ mm}^2$  terbuat dari baja karbon rendah kandungan C = 0,17% ketebalan material 1,0 mm, Kemudian sampel digalvanis dengan elektrolit clorida sehingga menghasilkan tebal lapisan  $12 \mu\text{m}$  bekerja pada temperatur eksperimen  $20^\circ$ ,  $40^\circ$  dan  $60^\circ$  dengan lama waktu proses 5, 10, dan 15 menit.

Kvedaras (2006), Melakukan penelitian kekuatan leleh dari plat baja yang dikrom: menggunakan objek penelitian baja yang dinormalkan secara konstruksi dan dipilih komposisi kimia: C= 0,49%, Mn=0,55%, Si=0,24%, Cr=0,6% Ni=1,2% dan Cu=0,13%, Spesimen dipersiapkan dengan diameter minimal 7,52 mm panjang 20 mm, Kemudian pengujian fatigue dengan frekwensi 3000 siklus/menit serta kekerasan diukur dengan mikro hardness kemudian mikrograpi potongan melintang menggunakan neophot mikroskop dengan hasil ketebalan lapisan yang dicapai  $10 \mu\text{m}$ .

Selanjutnya Bettina (2000), berhasil melaksanakan penelitian pelapisan khrom keras dapat mencapai deposit khrom 20 sampai  $150 \mu\text{m}$  dengan kekerasan lebih dari 600 Hv pada kandungan asam khromat 100 – 400 g/l dan rata – rata endapan pelapisan 1 – 1,5  $\mu\text{m}/\text{menit}$  pada temperatur  $55 - 65^\circ\text{C}$ .

Dilain pihak Tosoukargahu (2005), telah berhasil melakukan penelitian mengenai prinsip kerja dan system rangkaian listrik pelapisan elektroplating pada berbagai macam logam, yaitu dengan hasil yang sama, sedang yang membedakan terletak pada jenis electrolitnya, pH dan kuat arus. Pada tahun yang sama Tomako Itirayana (2005), telah melakukan penelitian pada pelapisan spindel dengan memodifikasi permukaan dengan lapisan molibdenum pada metal/ bantalan semua ukuran dimana dapat meningkatkan nilai kekerasan sesuai yang dikehendaki, Kemudian Raharjo ( 2008 ), pada hasil penelitian sebelumnya mengenai komposisi larutan elektrolit telah melaksanakan simulasi pemilihan jenis dan prosentase komposisi larutan elektrolit sebagai media pelapisan krom keras pada baja karbon rendah dan mendapatkan komponen dan kondisi operasi krom keras yaitu: asam kromat 240 g/l, asam sulfat 0,87 g/l, temperature 45-67°C dan rapat arus 50 Ampere/dm<sup>2</sup> serta peningkatan nilai keras permukaan material dasar terlapis pada spesimen berukuran diameter 30 mm dan tebal 4 mm.

Sandi ( 2002 ), Proses pengerasan permukaan pada baja karbon banyak digunakan pada bidang industri khususnya digunakan pada komponen kendaraan bermotor yang membutuhkan pengerasan permukaan adalah schock absorber. Pada dasarnya proses pengerasan pada baja karbon ada yang bersifat untuk mengeraskan permukaan saja tanpa mengubah struktur atau komponen-komponen yang ada pada logam induknya, proses ini antaranya adalah proses pelapisan logam. Dewasa ini metode pengerasan permukaan dengan menggunakan pelapisan listrik banyak digunakan, alasannya hal ini dikarenakan proses tidak terlalu rumit dan juga banyak keuntungannya. Proses pelapisan logam dengan bantuan listrik ini bertujuan untuk melindungi bahan yang dilapisi dengan memperbaiki mutu dari sifat permukaannya benda kerja/ spesimen dengan melapiskan logam lain pada logam yang dimaksud sebagai benda kerjanya tadi. Logam yang digunakan untuk melapisi harus mempunyai sifat yang lebih baik dari pada logam yang terlapis. Logam terlapis yang banyak digunakan pada proses lapis listrik ini adalah nikel, tembaga, dan khrom. Pada proses pelapisan krom keras banyak digunakan pada benda-benda yang penggunaannya memerlukan sifat-sifat teknis tertentu. Sifat-sifat teknis yang penting yang bisa

didapat dari khrom keras adalah kekerasannya, daya tahan terhadap korosi, dan tahan terhadap kekusaman tinggi serta daya lekatnya yang tinggi.

Wasaraka (2002), Proses pelapisan logam dengan bantuan listrik ini bertujuan untuk melindungi bahan yang dilapisi dengan memperbaiki mutu dari sifat permukaan benda kerja dengan melapiskan logam lain pada logam yang diperbaiki mutunya tadi. Logam yang digunakan untuk melapisi harus mempunyai sifat yang lebih dari pada logam yang dilapisi dan dapat menempel dengan baik pada logam terlapis. Logam pelapis yang banyak digunakan dalam proses lapis listrik ini adalah nikel, tembaga, krom, dan perak. Proses krom keras banyak digunakan untuk benda-benda yang karena penggunaannya memerlukan sifat-sifat yang teknis tertentu. Sifat-sifat yang penting dari krom keras adalah kekerasannya, daya lekat, dan daya tahan korosi. Pada krom keras ini untuk mendapatkan hasil yang baik diantaranya kekerasan dan ketebalan diperlukan pengaturan variabel-variabel yang ada yaitu rapat arus, temperatur, dan waktu proses yang tepat. Pengaturan waktu dan temperatur pada proses yang tepat nantinya akan didapat hasil pelapisan permukaan dengan ketebalan yang diinginkan sehingga nantinya meningkatkan nilai kekerasan dan dengan teknologi lapis khrom ini dapat meningkatkan ketebalan permukaan dan kekerasan permukaan benda kerja. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh kondisi proses lapis khrom keras terhadap tebal pelapisan dan kekerasan permukaan, maka perlu dilakukan penelitian.

Selanjutnya Suryana (2008) telah berhasil melaksanakan penelitian bahwa tentang waktu pelapisan nikel pada tembaga dalam pelapisan khrom dekoratif terhadap tingkat kecerahan hasilnya cukup ketebalan lapisan dan signifikan terhadap lama waktu proses pelapisan dan seiring dengan naiknya tegangan listrik menghasilkan tinggi tebal pelapisan meningkat.

Raharjo ( 2008 ), telah melakukan penelitian Pemilihan Jenis Larutan Elektrolit Sebagai Media Pelapis Krom Keras Pada Baja Karbon Rendah mendapatkan komposisi larutan elektrolit: kromik acid 240 g/l, sulfat 1 g/l, kekentalan larutan 20, temperatur operasi 55°C dan rapat arus 50 Amp/dm<sup>2</sup>.

### 2.3 Pengertian *Electroplating*

Lapis listrik (*electroplating*) adalah suatu proses pengendapan zat (ion – ion logam) pada elektroda (katoda) dengan cara elektrolisa. Terjadinya suatu endapan pada proses ini adalah karena adanya ion – ion bermuatan listrik berpindah dari suatu elektroda melalui elektrolit/ hasil dari elektrolisa tersebut akan mengendap pada elektroda lain (*negative/katoda*).

Selama proses pengendapan/deposit berlangsung terjadi reaksi kimia pada elektroda dan elektrolit baik reduksi menuju arah tertentu secara tetap, oleh karena itu dibutuhkan arus listrik searah dan tegangan yang constant/ (Hadromi, 2002). Prinsip teori dari lapis listrik adalah berpedoman atau berdasarkan *Hukum Faraday* yang menyatakan bahwa:

Jumlah unsur–unsur yang terbentuk dan terbebas pada elektroda selama elektrolisa sebanding dengan jumlah arus listrik yang mengalir dalam larutan elektrolit.

Jumlah zat–zat (unsur–unsur) yang dihasilkan oleh arus listrik besarnya sama selama elektrolisa adalah sebanding dengan berat ekivalen masing–masing zat tersebut. Pernyataan tersebut diatas dapat ditulis dengan rumus/ketentuan sebagai berikut (Hadromi, 2002):

$$B = \frac{I.t.e}{F} \quad (2.4)$$

Dimana:

B = Berat zat yang terbentuk (gram)

I = Jumlah arus yang mengalir (Ampere)

t = Waktu (detik)

e = Berat ekivalen zat yang dibebaskan ( berat atom suatu unsur dibagi umur tersebut )

F = Jumlah arus yang diperlukan untuk membebaskan sejumlah gram ekivalen suatu zat

Hukum Faraday sangat erat kaitannya dengan efisiensi arus terjadi pada proses pelapisan secara listrik. Efisiensi arus adalah perbandingan berat endapan secara teoritis dan dinyatakan dalam persen (%) (Hukum ohm):

$$I = \frac{V}{R} \quad (2.5)$$

Dimana:

I = Banyaknya arus (Ampere)

V = Tegangan (Volt)

R = Tahanan

#### 2.4 Proses Pelapisan Electroplating

Proses pelapisan dengan menggunakan metode electroplating dibagi menjadi tiga tahapan yaitu:

a. Proses pengerjaan persiapan (Pre Treatment)

Sebelum proses electroplating dilakukan, permukaan benda kerja yang akan dilapisi harus dalam kondisi benar – benar bersih, bebas dari bermacam – macam pengotor.

b. Pembersihan secara mekanik

Pekerjaan ini bertujuan untuk menghaluskan permukaan dan menghilangkan goresan – goresan serta geram – geram yang masih melekat pada benda kerja.

Biasanya untuk menghilangkan goresan – goresan dan geram – geram tersebut dilakukan dengan mesin gerinda/roda yang berputar yang permukaannya diberi abrasive, sedangkan untuk menghaluskan permukaan dilakukan dengan proses buffing maupun polishing, dalam berbagai tingkat kehalusan yang berbeda. Roda terbuat dari kain kanvas, katun atau kulit.

Prinsipnya sama seperti proses gerinda, tetapi roda/*wheel* polesnya yang berbeda yaitu terbuat dari bahan katun, kulit dan sebagainya.

Selain dari pengerjaan diatas kadang – kadang diperlukan proses lain misalnya *brushing*, *brightening* dan sebagainya.

- c. Pembersihan dengan pelarut (*solvent*), Proses ini bertujuan untuk membersihkan Spesimen dari debu, lemak, minyak, garam dan kotoran udara/ mengalami korosi sebelum proses plating dengan pelarut organik, alkali dan celup asam, Pembersihan dilakukan dengan cara:

#### ***Vapour degreasing***

Proses pembersihan pada temperatur kamar yaitu, dengan menggunakan pelarut organik, tetapi dilakukan pada temperatur kamar dengan cara diusap/dioles.

Pekerjaan ini bertujuan untuk membersihkan benda kerja dari lemak atau minyak – minyak terak menempel. Pembersihan ini perlu sekali, karena terak maupun minyak tersebut akan mengganggu pada proses pelapisan, karena mengurangi kontak antara lapisan dengan logam dasar/benda kerja.

#### **Pembersihan dengan cara Alkali (*alkalin cleaning*)**

Pembersihan dengan cara merendam benda kerja kedalam larutan alkalin dalam keadaan panas selama 5 – 10 menit. Lamanya perendaman harus disesuaikan dengan kondisi permukaan benda kerja. Seandainya lemak atau minyak yang menempel lebih banyak, maka dianjurkan lamanya perendapan ditambah hingga permukaan bersih dari noda – noda tersebut, atau metode ini logam yan dibersihkan direndam dalam larutan alkalin yang panas dan diaduk agar kotoran yang telah lepas tidak menempel kembali dan harus mempunyai sifat buffer tinggi, pembersih yang digunakan dapat mempunyai konsentrasi encer atau pekat, dilakukan secara manual, ultrasonic maupun electrolitic tergantung dari sifat dasar spesimen. Bahan- bahan pembersih alkali terdiri dari senyawa karbonat, fosfat. Untuk meningkatkan efektifitas pembersihan ditambahkan bahan pengompleks dan juga deterjen. Bahan karbonat yang digunakan biasanya sodium karbonat atau soda abu/api sedangkan fosfat yang digunakan adalah sodium tripolyphosphate.

### **Pembersihan secara electro (*electrolitic degreasing*)**

Pembersihan dengan menggunakan arus listrik dan katoda di pakai dengan lempengan karbon, bila benda kerja yang akan dibersihkan ditempatkan pada arus listrik positif, maka prosesnya disebut anoda *cleaning/degreasing*, begitu pula sebaliknya.

### **Pembersihan dengan asam (*acid dipping*)**

Pencucian dengan asam adalah bertujuan untuk membersihkan permukaan benda kerja dari oksida atau karat dan sejenisnya secara kimia melalui perendaman. Larutan asam ini terbuat dari pencampuran air bersih dengan asam atau menggunakan senyawa asam kuat HCL maupun  $H_2SO_4$ .

Reaksi proses pickling sebetulnya adalah proses elektrokimia dalam sel antara logam dasar (anoda) dan oksida (katoda). Sisa alkali yang menempel pada permukaan spesimen dapat dihilangkan dengan mencelup dalam larutan asam, hal ini dimaksudkan untuk mencegah terbawanya sisa – sisa metal cleaner kedalam cairan plating yang dapat menyebabkan terjadinya kontaminasi.

Kondisi operasi pelapisan merupakan salah satu faktor penting yang harus diperhatikan, karena kondisi tersebut akan menentukan berhasil atau tidaknya proses pelapisan serta mutu lapisan yang dihasilkan, Selanjutnya rapat arus adalah bilangan yang menyatakan dalam jumlah arus listrik yang mengalir per luas unit elektroda. Rapat arus terbagi dalam dua macam yaitu : rapat arus katoda dan anoda, Pada proses lapis listrik (*electroplating*), rapat arus yang diperhitungkan ialah rapat arus katoda yaitu banyaknya arus listrik yang diperlukan untuk mendapatkan atom – atom logam pada tiap satuan luas benda yang akan dilapisi.

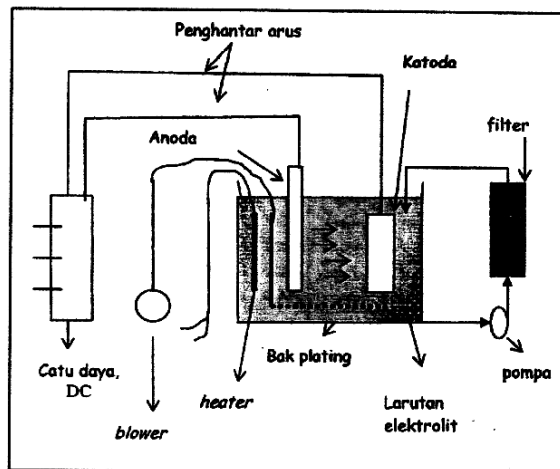
Rapat arus diatur, makin tinggi rapat arus, makin meningkat kecepatan pelapisan dan dapat memperkecil ukuran/bentuk kristal. Tetapi bila rapat arus ( $Amp/dm^2$ ) terlalu tinggi maka akan mengakibatkan lapisan kasar dan bersisik dan akan terbakar. (Hadromi, 2002).

### Tegangan arus (*Voltage*)

Tegangan yang digunakan dalam proses lapis listrik atau electroplating yang dapat divariabelkan antara 4 volt sampai 12 volt sedang ampernya berbanding lurus kecil atau besar dengan tegangannya, maksudnya adalah bila luas permukaan benda kerja bervariasi, maka rapat aruslah yang menyesuaikan dengan besar- kecil voltage, bila dengan system bak asam kromat, efisiensi arus platingnya rendah, laju deposisi tetap besar karena tegangan yang digunakan pada posisi paling besar, pada temperatur yang tinggi, daya larut bertambah besar dan terjadi penguraian garam logam yang menjadikan tingginya konduktifitas serta menambah mobilitas ion logam, tetapi viscositas menjadi berkurang, sehingga endapan ion logam pada katoda akan lebih cepat sirkulasinya (Tomijiro, 1992).

### pH larutan

pH dipakai untuk menentukan derajat keasaman suatu larutan elektrolit dalam operasi lapis listrik, pH berarti pula  $pOH - pH$  larutan terdapat diukur dengan alat ukur pH meter atau pH colorimeter, Tujuan menentukan derajat keasaman ini adalah untuk melihat atau mengecek kemampuan dari larutan dalam menghasilkan lapisan yang lebih baik. Skema proses electroplating disajikan pada gambar 2.2:



Gambar 2.2 Skema proses electroplating [Purwanto,2005:21]

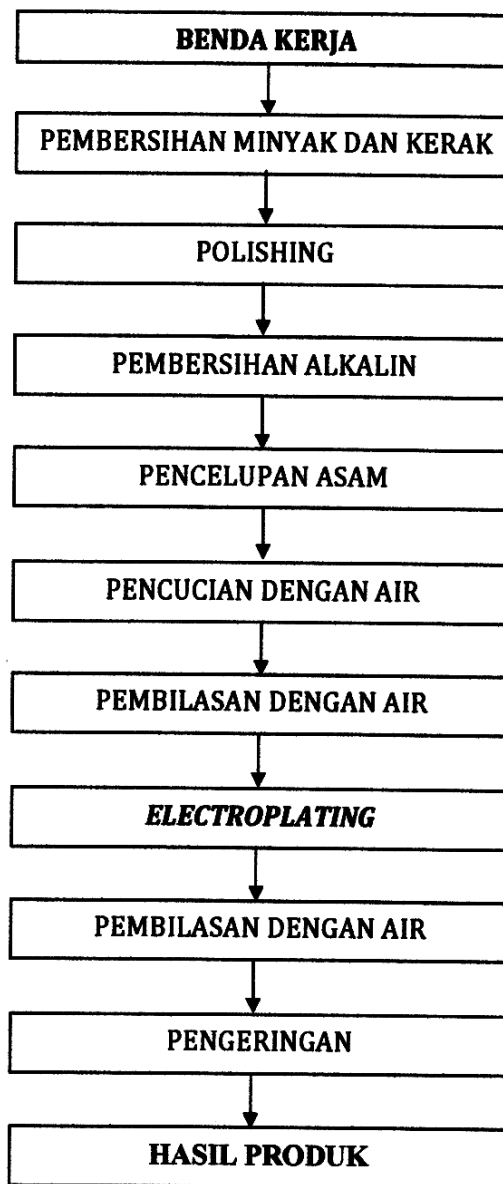
### **2.5 Proses Pengerjaan Akhir (*Post treatment*)**

Benda kerja yang telah dilakukan proses pelapisan (electroplating), biasanya dibilas dan kemudian dikeringkan dengan air, dan dari fungsi air perlu diketahui tentang kualitas air yang dibutuhkan sebagai contoh air ledeng dipakai untuk proses pembilasan dan pendinginan sedangkan air bebas mineral ( aquadest ) khusus dipakai untuk pembuatan larutan, analisa dan untuk penambahan larutan.

Unsur-unsur yang tidak diinginkan dalam larutan adalah unsur kalsium dan magnesium karena mudah bereaksi dengan cupper cyanid, silver cyanid dan cadmium cyanid [Purwanto, 2005].

Pada umumnya unsur-unsur yang terdapat dalam air adalah jenis kandungan garam-garam seperti: bicarbonate, sulfat, chloride dan nitrat serta untuk unsur logam alkali tidak begitu mempengaruhi konsentrasi larutan. Ururutan proses pelapisan krom keras dapat disajikan pada gambar 2.3.

Tahapan proses pelapisan dengan metode *Electroplating* dapat dilihat pada Gambar 2.3 Urutan proses pelapisan dengan metode *elektroplating*:



**Gambar 2.3** Urutan proses pelapisan metode *elektroplating*

## 2.6 Tegangan Electroplating

Tegangan merupakan salah satu faktor terpenting dalam proses electroplating karena mempengaruhi penguraian ion – ion logam menjadi logam yang menempel pada benda kerja yang akan dilapisi. Berdasarkan Hukum ohm dapat disajikan sebagai berikut :

$$R = \frac{\rho.l}{A} \quad (2-6)$$

Hubungan kuat arus (I) dengan luas permukaan yang akan dilapisi (A) dapat dinyatakan dalam Hukum ohm dibawah ini :

$$I = \frac{V.A}{\rho.l} \quad (2-7)$$

Dimana :

I = Banyaknya arus (Ampere)

V = Tegangan (Volt)

A = Luas permukaan (m<sup>2</sup>)

$\rho$  = Tahanan jenis (ohm.m)

Berdasarkan rumus diatas maka kuat arus berbanding lurus dengan luas permukaan benda kerja yang akan dilapisi dengan sendirinya penambahan luas permukaan benda kerja akan diikuti oleh penambahan rapat arus.

Selain tegangan hal yang juga berperan penting dalam proses *electroplating* adalah rapat arus karena menentukan tingkat kecepatan pelapisan dan dapat memperkecil ukuran butir tetapi apabila rapat arus terlalu tinggi maka hasil lapisan akan kasar, bersisik dan terbakar.

Tebal lapisan yang terbentuk pada katoda dapat dihitung dengan persamaan berikut :

(Victor Malau, 2003: h.4)

$$d = \frac{V}{A} \quad (2-8)$$

dengan :

d = Tebal lapisan (cm),

A = Luas permukaan katoda yang mendapat lapisan (cm<sup>2</sup>)

V = Volume massa yang dilepaskan (cm<sup>3</sup>)

Atau

Perhitungan berat lapisan

$$W = \frac{V.t.A}{z.F} \quad (2.9)$$

Dimana:

W = berat lapisan dalam gram

V = tegangan

t = waktu pelapisan dalam detik

A = berat atom pelapis

Z = valensi pelapis

F = bilangan Faraday sebesar 96500 coulomb

Perhitungan tebal lapisan

$$d = \frac{V.A.100,000}{\rho.z.F}$$

atau

$$d = \frac{V}{\rho.A} \quad (2.10)$$

Dimana;  $\rho$  = density

$\eta$  = efisiensi

Oleh karena larutan elektrolit ( larutan kromic acid dan  $H_2O$  ) dapat membentuk ion-ion positif dan negatif, walaupun anion tidak ikut langsung dalam proses terbentuknya lapisan, akan tetapi jika menempel pada permukaan katoda akan menimbulkan gangguan terbentuknya mikrostruktur lapisan.

Kemampuan/aktivitas dari ion logam ditentukan oleh konsentrasi dari garam logamnya, derajat desosiasi dan konsentrasi unsur-unsur lain yang ada didalam larutan, bila konsentrasi logamnya tidak mencukupi untuk diendapkan, akan terjadi endapan/lapisan yang terbakar pada rapat arus yang relative rendah. Adanya ion chloride dalam larutan yang bersifat asam berfungsi sebagai:

- Mempercepat terkikisnya atau mencegah pasi-pasi anoda
- Menaikan batas rapat arus ( limiting current density ).

Beberapa bahan/ zat kimia sengaja ditambahkan kedalam larutan elektrolit bertujuan untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu, seperti sifat tampak rupa, kegetasan, keuletan, kekasaran, kekerasan dan mikrostruktural logam yang terjadi. Untuk mengatur pH ditambahkan unsure yang berfungsi sebagai penyangga (pengatur pH).

Anoda pada proses electroplating sangat penting perannya untuk menghasilkan kualitas lapisan, pengaruh kebersihan anoda terhadap elektrolit dan penentuan optimalisasi ukuran,serta bentuk anoda perlu diperhatikan. Dengan perhitungan yang cermat dalam menentukan anoda pada proses electroplating dapat memberikan keuntungan yaitu meningkatkan distribusi endapan, mengurangi kontaminasi larutan, menurunkan biaya bahan kimia yang dipakai, meningkatkan efisiensi produksi dan mengurangi timbulnya masalah-masalah proses electroplating.

Adanya arus listrik yang mengalir melalui larutan elektrolit diantara kedua electrode, maka pada anoda akan terjadi pelepasan ion logam dan oksigen (reduksi), selanjutnya ion logam tersebut dan gas hydrogen diendapkan pada electrode katoda.

Peristiwa itu dikenal sebagai proses pelapisan dengan anoda terlarut (soluble anoda), akan tetapi bila anoda tersebut hanya dipakai sebagai pengantar arus saja, anoda ini disebut anoda tak larut (unsoluble anoda), kemudian dari anoda terlarut akan terbentuk ion logam sewaktu atom logam dioksidasi dan melepaskan electron-electron yang sebanding dengan electron-electron dari katoda, ion direduksi kembali secara kontinyu dalam atom logam, selanjutnya diendapkan dalam katoda, anoda tidak larut adalah paduan dari bahan-bahan timbal.

Anoda itu diutamakan selain sebagai penghantar listrik yang baik, tidak mudah terkikis oleh larutan dan bertujuan:

- Mencegah terbentuknya logam yang berlebihan dalam larutan
- Mengurangi nilai investasi peralatan
- Memelihara keseragaman jarak antara anoda dan katoda.

Pengotor pada anoda juga dapat menyebabkan terjadi pasivasi dan mengurangi efisiensi anoda secara drastic, sedangkan kemurnian anoda dapat meningkatkan efisiensi namun arus yang tinggi pada proses electroplating akan menyebabkan pasivasi anoda, sehingga perlu diperhitungkan besarnya rapat arus terhadap luas permukaan anoda.

Pada proses electroplating yang umum dipakai perbandingan anoda dengan katoda adalah 2 : 1, karena kontaminasi anoda adalah penyebab sumber utama pengotor maka diusahakan penggunaan anoda yang semurni mungkin, spesifikasi kemurnian anoda disajikan pada table 2.2.

**Tabel 2.2 Spesifikasi anoda**

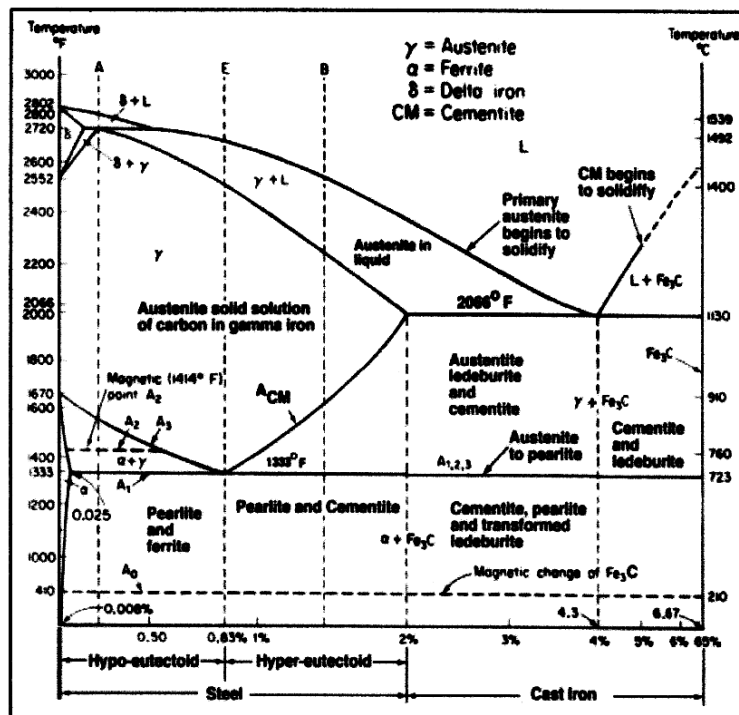
<b>N0.</b>	<b>NAMA ANODA</b>	<b>KEMURNIAN</b>	<b>UNSUR PENGOTOR</b>
1.	Chrome	99 %	Fe, Cu
2.	Copper	99,27 %	Ag, Cd
3.	Nickel	99,98 %	Ag,Cd,Cu,Fe,Pb,Sn
4.	Tin	99,92 %	Ag,As,Bi,Cd,Cu,Fe
5.	Silver	99,95	Bi,Fe,Si,S,Sn Zn
6.	Zinc	99,98 %	Cu,Cd,Pb,Sn

Anoda pada proses elektroplating sangat penting peranannya untuk mendapatkan kualitas lapisan. Pengaruh kemurnian anoda terhadap elektrolit penentuan optimalisasi ukuran serta bentuk anoda perlu diperhatikan, dengan perhitungan yang cermat pada menentukan anoda dalam proses elektroplating yang dapat memberikan keuntungan meningkatkan distribusi endapan, mengurangi kontaminasi larutan dan meningkatkan efisiensi produksi. Bentuk anoda terdiri dari beberapa macam: balok, bulat, pelet dan lempengan serta dapat dimasukkan dalam keranjang anoda, strategi tersebut bertujuan untuk mendapatkan lapisan yang seragam dan merata.

#### Baja Karbon

Baja karbon adalah paduan besi dan karbon dimana unsur karbonnya sangat menentukan sifat mekanik dan fisik, sedangkan unsur paduan yang lainnya bersifat sebagai pendukung. Berikut ini disajikan gambar diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C yang digunakan untuk menentukan dimana letak baja karbon rendah (Gambar 2.4)

Perubahan struktur pada perlakuan panas, baja pada temperatur pada saat pendinginan austenit dapat bertransformasi menjadi berbagai struktur dengan jalan perlakuan panas. Selanjutnya kategori baja dan aplikasinya dapat disajikan pada tabel 2.3



Gambar 2.4 Diagram fasa Fe –FeC [ callister,2007:292]

Gambar 2.4 menunjukkan diagram kesetimbangan besi-karbon sebagai dasar dari paduan besi sebagai komposisi unsur C.

Sebagian dari fasa baja ditunjukkan pada gambar 2.4. baja murni. Setelah proses pemanasan, terjadi dua perubahan dalam struktur kristal sebelum terjadi pelelehan. Fasa suhu temperatur terjadi stabilitas bentuk yang disebut dengan ferrite atau baja dengan struktur BCC. Ferrite juga mengalami transformasi polimorfik menjadi austenit FCC dari baja pada suhu 912°C. Kondisi seperti ini bertahan sampai suhu 1394°C dimana temperatur FCC austenit berubah menjadi BCC.. fase ini disebut dengan ferrite yang pada akhirnya akan meleleh pada suhu 1538°C. Semua perubahan ini tampak jelas di dekat sumbu vertikal sebelah kiri pada diagram fasa.

Ada tiga kelompok baja karbon berdasarkan kadar karbonnya yaitu:

- Baja karbon rendah dengan kadar <0,3 % C
- Baja karbon sedang dengan kadar 0,3 s/d 0,6 % C
- Baja karbon tinggi memiliki kadar lebih besar dari pada 0,67 % C.

**Tabel 2.3 Kategori Baja Karbon dan Aplikasinya (callister, 2007)**

Jenis dan kelas		Kadar karbon %	Kekuatan luluh MPa	Kekuatan tarik MPa	Perpanjangan %	Penggunaan
Baja karbon rendah	Baja lunak khusus	0,08	170	485	40-30	Pelat tipis
	Baja sangat lunak	0,08-0,12	275	485	40-30	Komponen mesin
	Baja lunak	0,12-0,20	275	515	36-24	Konstruksi umum
	Baja setengah lunak	0,20-0,30	275	515	32-22	Katup dan silinder
Baja karbon sedang	Baja setengah keras	0,30-0,40	275	515	30-17	Alat-alat mesin
Baja karbon tinggi	Baja keras	0,40-0,50	415	725	24-14	Perkakas, rel, pegas, dan kawat radio
	Baja sangat keras	0,50-0,80	415	725	20-11	

## 2.7 Pengujian Mutu

Mutu produk tidak hanya ditentukan oleh mutu material bakunya/ substratnya saja tetapi juga pada proses electroplating yang memengaruhi dan hasil pengetesan logam dasar sifat mekanisnya dipengaruhi oleh cara pembuatan sehingga menjadi penting dan wajib dilakukan untuk uji produk yang didapat.

Tebal lapisan hard chrome dalam proses electroplating ini diukur menggunakan standart ASTM B 499, B 504, B 530, B 555 dan B 588 seterusnya uji tebal lapisan sangat vital bagi segala produk pelapisan baik organik maupun non organik makin tebal makin baik.

## 2.8 Analisa Regresi

### 1. Metode Kuadrat Terkecil Untuk Kurva Linier.

Bentuk paling sederhana dari regresi kuadrat terkecil adalah apabila kurva yang mewakili titik-titik data merupakan garis lurus sehingga persamaannya adalah:

$$VHN = a + bv \quad (2.11)$$

Dalam hal ini  $a_0 = a$  dan  $a_1 = b$ .

Jumlah kuadrat dari kesalahan hitung dengan persamaan:

$$D^2 = \sum_{i=1}^n E_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2 \quad (2.12)$$

Agar nilai  $D^2$  adalah minimum, maka persamaan 2.12 diturunkan terhadap parameter  $a$  dan  $b$ , dan kemudian disama-dengankan nol.

Turunan pertama terhadap parameter a adalah:

$$\begin{aligned} \frac{\partial D^2}{\partial a} &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial a} \left( \sum_{i=1}^n y_{i1} - a - bx_i \right)^2 &= 0 \\ -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i) &= 0 \\ \sum y_i - \sum a - \sum b x_i &= 0 \end{aligned} \tag{2.13}$$

Turunan pertama terhadap parameter b adalah:

$$\begin{aligned} \frac{\partial D^2}{\partial b} &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial b} \left( \sum_{i=1}^n y_{i1} - a - bx_i \right)^2 &= 0 \\ 2 \sum_{i=1}^n [(y_i - a - bx_i)x_i] &= 0 \\ \sum y_i x_i - \sum ax_i - \sum b x_i^2 &= 0 \end{aligned} \tag{2.14}$$

Penjumlahan masing-masing suku pada persamaan 2.13 dan 2.14 adalah dari 1 sampai n.

Persamaan 2.13 dan 2.14 dapat ditulis dalam bentuk:

$$na + \sum x_i b = \sum y_i \tag{2.15}$$

$$\sum x_i a + \sum x_i^2 b = \sum x_i y_i \tag{2.16}$$

Dengan

$$\sum u = ru$$

Selanjutnya Persamaan (2.15) dapat ditulis menjadi:

$$\begin{aligned}
 na &= \sum y_i - \sum x_i b \\
 a &= \frac{1}{n} \left( \sum y_i - \sum x_i b \right) \\
 a &= \frac{1}{n} \sum y_i - \frac{1}{n} \sum x_i b
 \end{aligned}
 \tag{2.17}$$

Atau:

$$a = \bar{y} - b \bar{x}
 \tag{2.18}$$

Interpolasi Persamaan (2.17) ke dalam Persamaan (2.16),

$$\begin{aligned}
 \sum x_i \frac{1}{n} \left( \sum y_i - \sum x_i b \right) + \sum_{x_i} b &= \sum x_i y_i \\
 \sum x_i \sum y_i - \left( \sum x_i \right)^2 b + n \sum_{x_i} b &= n \sum x_i y_i \\
 b \left[ n \sum_{x_i} - \left( \sum x_i \right)^2 \right] &= n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i
 \end{aligned}$$

Atau

$$b = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum_{x_i} - \left( \sum x_i \right)^2}
 \tag{2.19}$$

Dengan menggunakan Persamaan (2.18) dan (2.19) untuk menghitung koefisien  $a$  dan  $b$ , maka fungsi  $g(x)$  dapat dicari.

Persamaan garis lain, selain Persamaan (2.11) memberikan jumlah kuadrat kesalahan yang lebih besar. Dengan demikian Persamaan (2.11) adalah perkiraan terbaik dari data. Untuk mengetahui derajat kesesuaian dari persamaan yang didapat, dihitung nilai koefisien korelasi yang berbentuk:

$$r = \sqrt{\frac{D_r^2 - D^2}{D_r^2}}
 \tag{2.20}$$

dengan  $r$  adalah koefisien korelasi, sedang  $D^2$  dan  $D_f^2$  diberikan oleh bentuk:

$$D_f^2 = \sum_{i=1}^k (y_i - \bar{y})^2$$

$$D^2 = \sum_{i=1}^k (y_i - a_0 - a_1 x)^2$$

Nilai  $r$  bervariasi antara 0 dan 1. Untuk perkiraan yang sempurna nilai  $r = 1$ . Apabila  $r = 0$  perkiraan suatu fungsi sangat jelek. Koefisien korelasi ini juga dapat digunakan untuk memilih suatu persamaan dari beberapa alternatif yang ada, terutama di dalam regresi garis tidak lurus. Kurva lengkung dapat didekati dengan beberapa tipe persamaan, misalnya bentuk  $y = a x^b$ ,  $y = a e^k$ ,  $y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2$ , atau persamaan lain. Dari beberapa alternative tersebut dipilih dari persamaan yang mempunyai nilai koefisien korelasi terbesar (paling mendekati 1).

## 2. Persamaan Berpangkat

Persamaan berpangkat diberikan oleh bentuk berikut ini.

$$VHN = a_2 v^{b_2} \quad (2.21)$$

dengan  $a_2$  dan  $b_2$  adalah konstan.

Persamaan tersebut dapat dilinierkan dengan menggunakan fungsi logaritmik sehingga didapat :

$$\log VHN = b_2 \log x + \log a_2 \quad (2.22)$$

yang merupakan hubungan *log-log* antara  $\log VHN$  dan  $\log x$ .

Persamaan tersebut mempunyai garis lurus dengan kemiringan  $b_2$  dan memotong sumbu  $\log VHN$  dan  $\log a_2$ .

### 3. Fungsi Exponensial

Contoh lain dari kurva tak linier adalah fungsi eksponensial seperti diberikan oleh bentuk berikut:

$$VHN = a_1 e^{b_1 x} \quad (2.23)$$

dengan  $a_1$  dan  $b_1$  adalah konstanta.

Persamaan tersebut dapat dilinierkan dengan menggunakan logaritma natural sehingga menjadi:

$$\ln VHN = \ln a_1 + b_1 x \ln e \quad (2.24)$$

Untuk memilih salah satu dari kedua hasil terbaik, dihitung nilai koefisien korelasi. Koefisien korelasi dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.10):

$$r = \frac{D_t^2 - D^2}{D_t^2} \quad (2.25)$$

dengan

$$D_t^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - y)^2$$

$$D^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x)^2 \quad (2.26)$$

### 4. Regresi Polinomial

Telah dijelaskan penurunan persamaan garis lurus dengan menggunakan metode kuadrat terkecil pada halaman 28. Untuk kurva lengkung persamaannya dapat diturunkan dengan melakukan transformasi data asli ke dalam bentuk lain yang sesuai. Selain dengan transformasi persamaan kurva lengkung juga dapat diturunkan dengan menggunakan regresi polinomial. Penurunan persamaan dilakukan dengan menggunakan metode kuadrat terkecil.

Persamaan polinomial order  $r$  mempunyai bentuk :

$$VHN = a_0 + a_1x + a_2x^2 \quad (2.27)$$

Jumlah kuadrat dari kesalahan adalah :

$$D^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - (a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + \dots + a_r x_i^r))^2 \quad (2.28)$$

Dengan cara persamaan kwadrat terkecil, persamaan di atas diturunkan terhadap tiap koefisien dari polinomial dan kemudian disamakan nol, sehingga diperoleh :

$$\frac{\partial D^2}{\partial a_0} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - (a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + \dots + a_r x_i^r)) = 0$$

$$\frac{\partial D^2}{\partial a_1} = -2 \sum_{i=1}^n x_i (y_i - (a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + \dots + a_r x_i^r)) = 0$$

$$\frac{\partial D^2}{\partial a_2} = -2 \sum_{i=1}^n x_i^2 (y_i - (a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + \dots + a_r x_i^r)) = 0$$

(2.29)

$$\frac{\partial D^2}{\partial a_r} = -2 \sum_{i=1}^n x_i^r (y_i - (a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + \dots + a_r x_i^r)) = 0$$

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 & \dots & \sum x_i^r \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \dots & \sum x_i^{r+1} \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \dots & \sum x_i^{r+2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \sum x_i^r & \sum x_i^{r+1} & \sum x_i^{r+2} & \dots & \sum x_i^{r+r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 y_i \\ \vdots \\ \sum x_i^r y_i \end{bmatrix}$$

menghitung bilangan  $a_0, a_1, a_2 \dots a_r$  melalui persamaan:

$$VHN = a_0 + a_1V + a_2V^2$$

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian merupakan suatu cara yang digunakan didalam penelitian sehingga pelaksanaan dan hasilnya dapat dipertanggungjawabkan secara kajian ilmiah. Penelitian yang dilaksanakan ini menggunakan metode eksperimental yakni metode untuk mencari hubungan sebab akibat antara factor-faktor lain yang sengaja ditimbulkan oleh penelitian, dengan mengurangi atau menambah faktor-faktor lain yang bisa mengganggu.

### 3.1 Pendekatan Penelitian

Pendekatan penelitian merupakan suatu cara pengambilan data dalam suatu penelitian. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yaitu suatu metode yang mengamati perubahan variabel-variabel bebas dan selanjutnya dikontrol untuk dilihat pengaruhnya (Arikunto, 1997: 89)

### 3.2 Variabel Penelitian

Ada empat variabel bebas yang akan diteliti yaitu terdiri dari; tegangan listrik, lama waktu serta variabel terikat seperti: kekerasan dan ketebalan lapisan, kemudian dianalisa menggunakan regresi yang ada di program microsoft office wxcel.

Secara khusus variabel penelitian dapat dikelompokan sebagai berikut :

#### 1. Variabel bebas

Didalam penelitian variabel bebas merupakan tegangan listrik dan waktu proses pelapisan *hard chrome*

#### 2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas, adapun yang menjadi variabel terikat dalam penelitian ini adalah ketebalan dan kekerasan lapisan *hard chrome*.

### 3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

1. Tempat Penelitian I : Pembuatan spesimen dilakukan didalam Laboratorium Fakultas Teknik Unimus dengan waktu penelitian: Maret - Juni 2009
2. Proses pelapisan logam dengan krom dilakukan pada Laboratorium Abu Saeri/Yanto Krom di Jl. Barito Blok H No.33/Ciliwung, Semarang.
3. Waktu Pengujian : Juli 2009
4. Selanjutnya pengukuran ketebalan dan kekerasan lapisan dilakukan pada Laboratorium S1 dan D3 Teknik Mesin UGM Yogyakarta.

### 3.4 Peralatan Penelitian

Alat Penelitian berupa

- a. Peratalan *Electroplating: hexavalent Chromium bath.*
- b. Mesin bubut
- c. Mesin gerinda potong
- d. Mesin bor
- e. Mesin *polishing*
- f. Mesin uji ketebalan
- g. Mesin uji kekerasan
- h. Mesin uji struktur metalografi
- i. Mesin uji keausan

### 3.5 Bahan Penelitian

- a. Baja karbon rendah dengan diameter 30 mm dan tebal 4 mm
- b. Larutan cromic acid (  $\text{CrO}_3$ ): 240 g/l
- c. Asam sulfat (  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ): 0,87 g/l
- d. Suhu proses pelapisan 46 - 67°C
- e. Arus DC 50 A/dm<sup>2</sup>
- f. Anoda timah hitam ( Pb )

- g. Larutan HCl untuk pencucian karat, bensin untuk pencucian minyak dan lemak, air kapur + sabun untuk pencucian basa/menghilangkan kesadahan dan air ledeng untuk pembilas.
- h. Vaseline untuk pendingin pada proses poles
- i. Resin bening

### 3.6 Proses Pembuatan Spesimen

Tahapan proses pembuatan spesimen yaitu :

1. Pemotongan bahan

Memotong dengan ukuran tebal 4 mm dan diameter 30 mm.

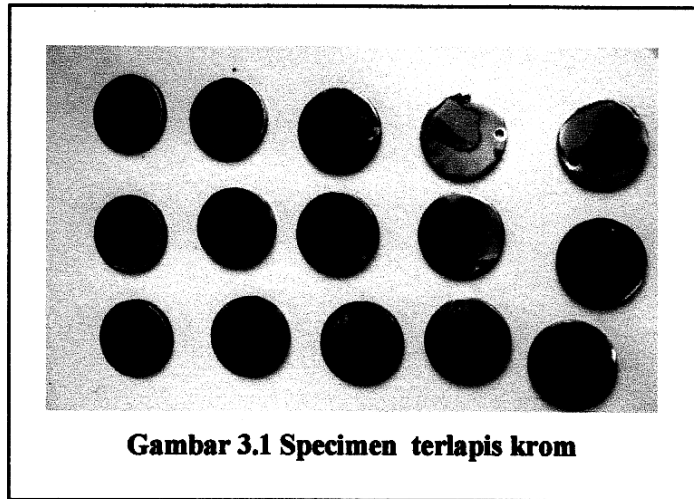
2. Pengeboran specimen

Pengeboran dilakukan dengan menggunakan mesin bor, lubang ini bertujuan untuk memudahkan dalam perangkaian specimen.

3. Pemolesan

Pemolesan specimen dilakukan dengan menggunakan mesin polishing, pemolesan ini bertujuan agar dihasilkan permukaan yang rata.

Adapun specimen yang telah dilapis krom dapat disajaikan pada gambar 3.1.



### 3.7 Proses Pelapisan

Proses pelapisan dilakukan di Yanto khrom yang merupakan sebuah industri lapisan yang bergerak dalam bidang pelapisan dengan metode *Electroplating*. Adapun tahapan yang harus dilakukan yaitu:

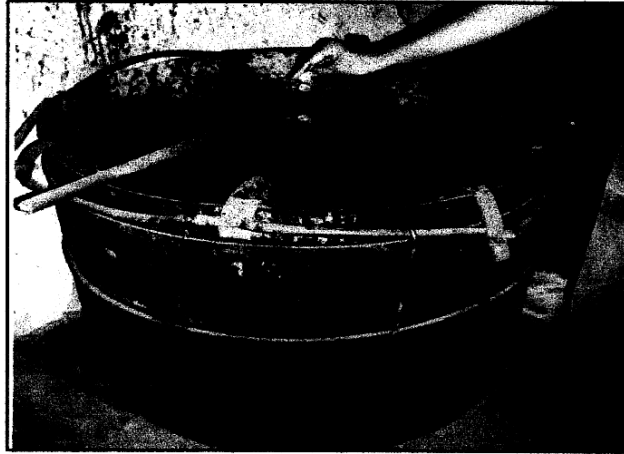
1. Menyiapkan peralatan electroplating dan specimen.
2. Menimbang specimen.
3. Membersihkan benda uji dengan detergent
4. Membersihkan benda uji dengan larutan HCl.
5. Membersihkan benda uji dengan air sabun (degreasing) kemudian dibilas dengan air untuk menghilangkan sisa sabun hingga benar-benar bersih.
6. Merangkai specimen pada rak dan dihubungkan pada kutub negative dari rectifier.
7. Memasukan specimen kedalam baklarutan  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  volume 500 liter, tahanan jenis =  $1/6,57 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$  dengan jarak anoda-katoda 30 Cm.
8. Membilas specimen dengan air untuk menghilangkan sisa larutan  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  selanjutnya dikeringkan, dan kemudian melakukan penimbangan berat akhir lapisan dan mengukur ketebalan lapisan.
9. Polishing, dengan menggunakan alat poles yang bertujuan untuk mengkilapkan dan menghaluskan permukaan specimen.
10. Mencatat volt, amper, waktu dan suhu proses elektroplating dan data disajikan pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Data-data volt, amper, waktu dan suhu proses elektroplating

NO	Material Dasar	Spesifikasi Material Dasar	Proses elektroplating			
			Tegangan (volt)	Arus (Amp)	Waktu (menit)	Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )
1	Baja karb rendah	Bentuk silindris	12	13,2	15	55
2	Baja karb rendah	Diameter 3 Cm	12	13,2	15	55
3	Baja karb rendah	Tebal 0,4 Cm	12	13,2	15	55
4	Baja karb rendah	Luas 21,6 $\text{Cm}^2$	12	13,2	15	55
5	Baja karb rendah		12	13,2	15	55

Selanjutnya proses *electroplating* dapat disajikan pada gambar 3.4.

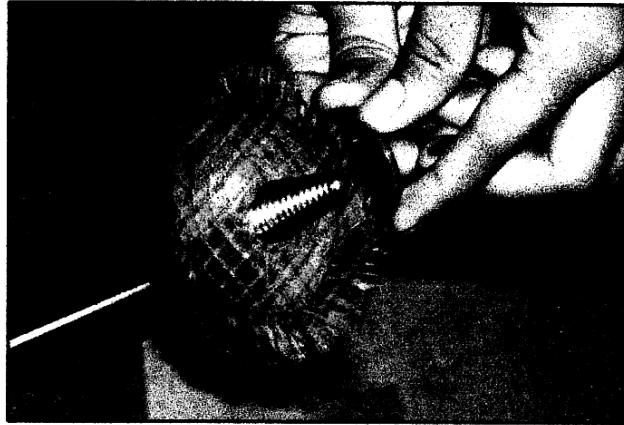
Gambar 3.4 Merupakan bak pelapisan.



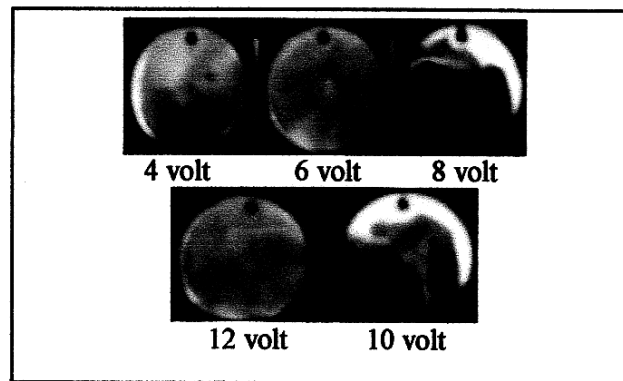
**Gambar 3.2** Proses *electroplating*



**Gambar 3.3** Polishing dengan otosol



**Gambar 3.4 Polishing dengan kain sutra**



**Gambar 3.5 Hasil pelapisan krom**

**3.8 Menghitung penggunaan energi listrik selama proses elektroplating dengan krom, data-data disajikan pada tabel 3.1 halaman 37**

V=12 volt, R = 0,9  $\Omega$ , I = 13,2 A, waktu 15 menit dan suhu 55°C

$$\begin{aligned} \text{Daya (P)} &= I^2 \times R \\ &= 13,2^2 \times 0,9 \\ &= 156,816 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Energi (E)} &= I^2 \times R \times t \\ &= P \times t \\ &= 156,816 \times (15 \times 60) \\ &= 141,134 \text{ kJ} \\ &= 0,0395 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Perbedaan berat antara spesimen- spesimen sebelum dan sesudah di krom dapat diketahui setelah ditimbang dengan timbangan mikro gambar 3.6 dan dalam hal ini di ambil contoh 5 spesimen, yang disajikan pada tabel 3.2 Perbedaan berat spesimen sebelum dan sesudah di krom.



**Gambar 3.6 Timbangan Mikro**

**Tabel 3.2 Perbedaan berat spesimen sebelum dan sesudah di krom**

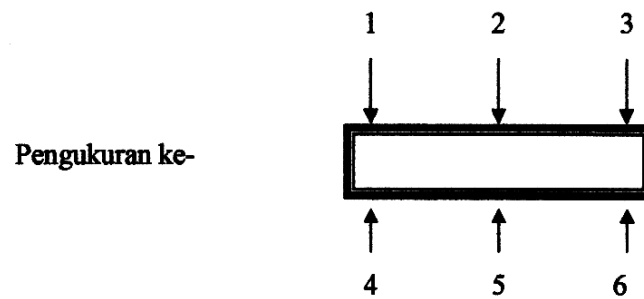
No.	Berat spesimen sebelum dikrom	Berat specimen 1 sesudah di krom	Berat specimen 2 sesudah di krom
1	20,397	20,977	20,975
2	20,392	20,832	20,830
3	20,431	20,701	20,702
4	20,514	20,664	20,663
5	20,426	20,540	20,541

### 3.9 Pengukuran ketebalan lapisan *hard chrome* dengan *thickness meter*

Pengukuran tebal lapisan ini dilakukan di Yanto krome dengan menggunakan alat *thickness meter*, adapun langkah-langkah pengukuran tebal lapisan adalah sebagai berikut:

1. Tempelkan sensor ukur tegak lurus terhadap spesimen sehingga pada layar alat ukur akan muncul besarnya tebal lapisan yang dinyatakan dalam  $\mu\text{m}$ .
2. Lakukan pengukuran sebanyak tiga kali untuk tiap bilangan dan dilanjutkan kebidang yang lain, dengan teliti.

Gambar 3.7 menyajikan skema pengukuran spesimen yang telah dilapis krom menggunakan *thickness meter*,



**Gambar 3.7** Skema proses pengujian tebal lapisan *hard chrome*

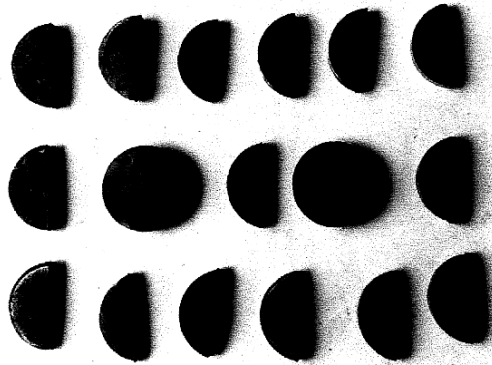
### 3.10 Pengujian Struktur mikro:

Pengujian spesimen material baja karbon rendah ini dilakukan di Laboratorium S1 Teknik Mesin UGM Yogyakarta:

Langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut:

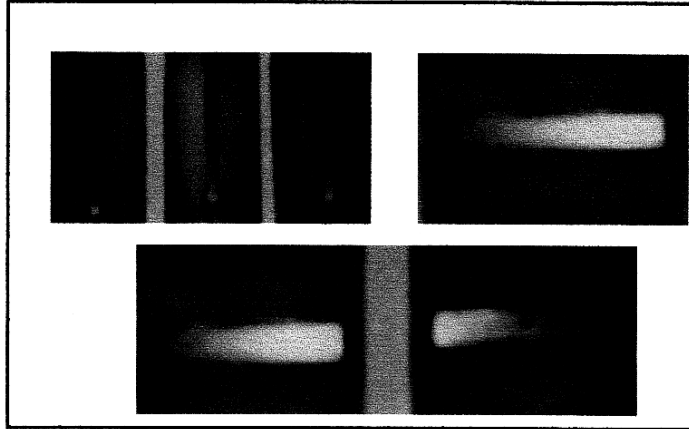
1. Spesimen dibentuk silindris dengan tebal 4 mm dan diameter 30 mm
2. Memotong spesimen menjadi dua bagian setengah lingkaran
3. Spesimen dietsa dan dipoles kemudian diletakan diatas bed microslop optik
4. Mengatur microslop optik pada pembesaran, 50,100, 200, 400 dan 500X kemudian diambil gambar yang paling jelas.

Gambar 3.8a. Menyajikan bentuk belaaahan spesimen yang siap diukur:



**Gambar 3.8a Spesimen Uji Ketebalan**

Persiapan pembuatan dudukan spesimen yang telah dibelah dengan resin bening dapat ditunjukkan pada gambar 3.8b Spesimen dan dudukan.



**Gambar 3.8b** Spesimen dan dudukan.

### **3.11 Pengukuran Kekerasan Lapisan *Hard Chrome***

Pengukuran kekerasan lapisan ini dilakukan di Laboratorium Material Jurusan Teknik Mesin FT UGM adapun langkah-langkah kerja adalah sebagai berikut:

1. Spesimen diletakkan pada head mesin uji kekerasan Micro Vickers.
2. Tempatkan focus pembebanan pada daerah yang telah ditentukan dengan cara melihat pada lensa okuler.
3. Beban utama 20 gr, sehingga beban akan turun dan menekan bahan uji penekanan ditahan sampai 5 detik.
4. Setelah 5 detik, kemudian beban utama ditiadakan sehingga beban akan naik ke atas bebas dari bahan uji, setelah beban utama dihilangkan maka kerucut akan terangkat sedikit sehingga kedalam masuk penekanan yaitu lebar diagonal kerucut dapat dibaca pada skala yang terdapat pada mikroskop dengan ketelitian 0,1  $\mu\text{m}$ .
5. Proses selanjutnya yaitu perhitungan hasil uji kekerasan Vickers, perhitungan nilai kekerasan dilakukan dengan persamaan 4.1.

### 3.12 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan mikro adalah salah satu pengujian dari sekian banyak pengujian sifat mekanik yang mudah dilakukan, karena dapat dilaksanakan pada spesimen yang relatif kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi benda uji. Pengujian yang banyak dipakai adalah dengan cara menekankan suatu penekan pada benda uji dengan beban 20 gram kemudian ditahan 5 detik selanjutnya mengukur bekas injakan indenter mikro vickers, (Tata Surdia, 2000 : H.31).

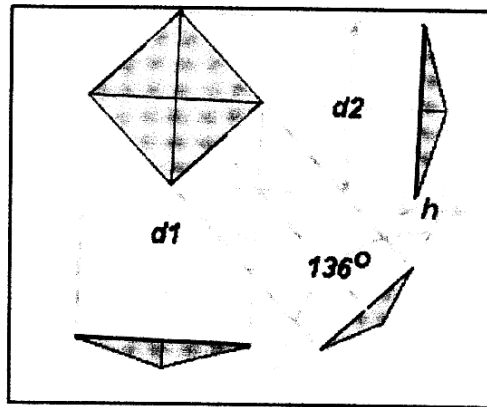
Pada pengujian lain mula – mula permukaan logam yang diuji ditekan dengan indenter yang berbentuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besar sudutnya antara permukaan – permukaan piramida yang berhadapan adalah  $136^\circ$ . Angka kekerasan piramida intan atau angka kekerasan Vickers (VHN atau VPN), secara teoritis diartikan sebagai beban bagi luas penampang lekukan. VHN dapat ditentukan dari persamaan sebagai berikut disajikan pada gambar 3.9:

$$VHN = \frac{P}{d^2} = \quad (3.1)$$

P = Beban yang diterapkan (kg)

d = Panjang diagonal rata – rata

$\alpha$  = Sudut antara intan yang berlawanan ( $136^\circ$ )

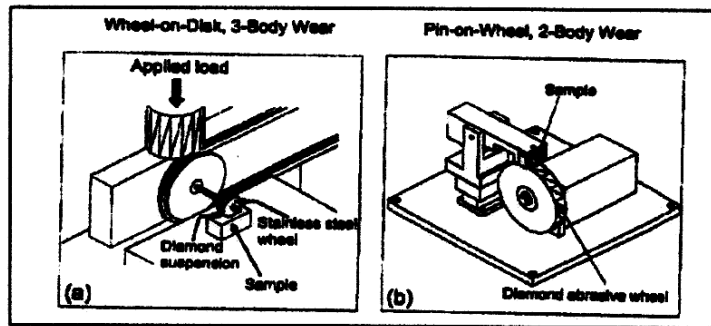


Gambar 3.9 Skema indenter Vickers

Identor diamond vickers dengan persyaratan ketebalan lapisan yang diijinkan: kedalam penetrasi 1/7 panjang diagonal terhadap ketebalan lapisan spesimen uji ( www.Gordon England.co.uk).

### 3.13. Pengujian Keausan

Pengujian keausan dapat menggunakan tiga permukaan dan dua permukaan yaitu: wheel-on-disk dengan dimensi specimen diameter 15 mm dan tebal 3 mm untuk bahan stainless-steel dengan putaran konstan, dan untuk dua permukaan pin-on-wheel dan alat untuk mengukur keausan dapat disajikan pada gambar 2.10, ( Gun Y Lee, 2000 ).



Gambar 3.10 Skema Pengujian Keausan

### 3.14. Pengukuran Kekasaran Permukaan

Untuk mengetahui tingkat kekasaran spesimen lapisan krom keras digunakan alat Mitutoyo surfest SJ- 20 IP Roughness Tester. Alat uji kekasaran yang digunakan dalam penelitian ini terdapat pada laboratorium metrology jurusan teknik mesin UNDIP. Gambar 3.11 adalah alat Mitutoyo surfest SJ- 20 IP Roughness Tester. Langkah-langkah pengukuran dapat dilakukan sebagai berikut:

#### Langkah 1

- Mengkalibrasi alat dengan tingkat ketelitian 2,73  $\mu\text{m}$
- Panjang langkah pengukuran 250  $\mu\text{m}$
- Diameter stilos 2  $\mu\text{m}$

**Langkah 2**

- Pelaksanaan pengukuran
- Meletakkan specimen uji di head alat uji
- Waktu mengguji masing –masing specimen 5 detik



**Gambar 3.11 Mitutoyo surf-tester SJ- 20 IP Roughness Tester.**

**3.15. Analisis Data**

Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah model regresi kuadrat terkecil yang meliputi: persamaan garis, eksponensial, berpangkat dan persamaan polynomial:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n \quad (3.1)$$

$$\forall H N = a_1 e^{b \cdot v}$$

$$\forall H N = a_2 v^{b_2}$$

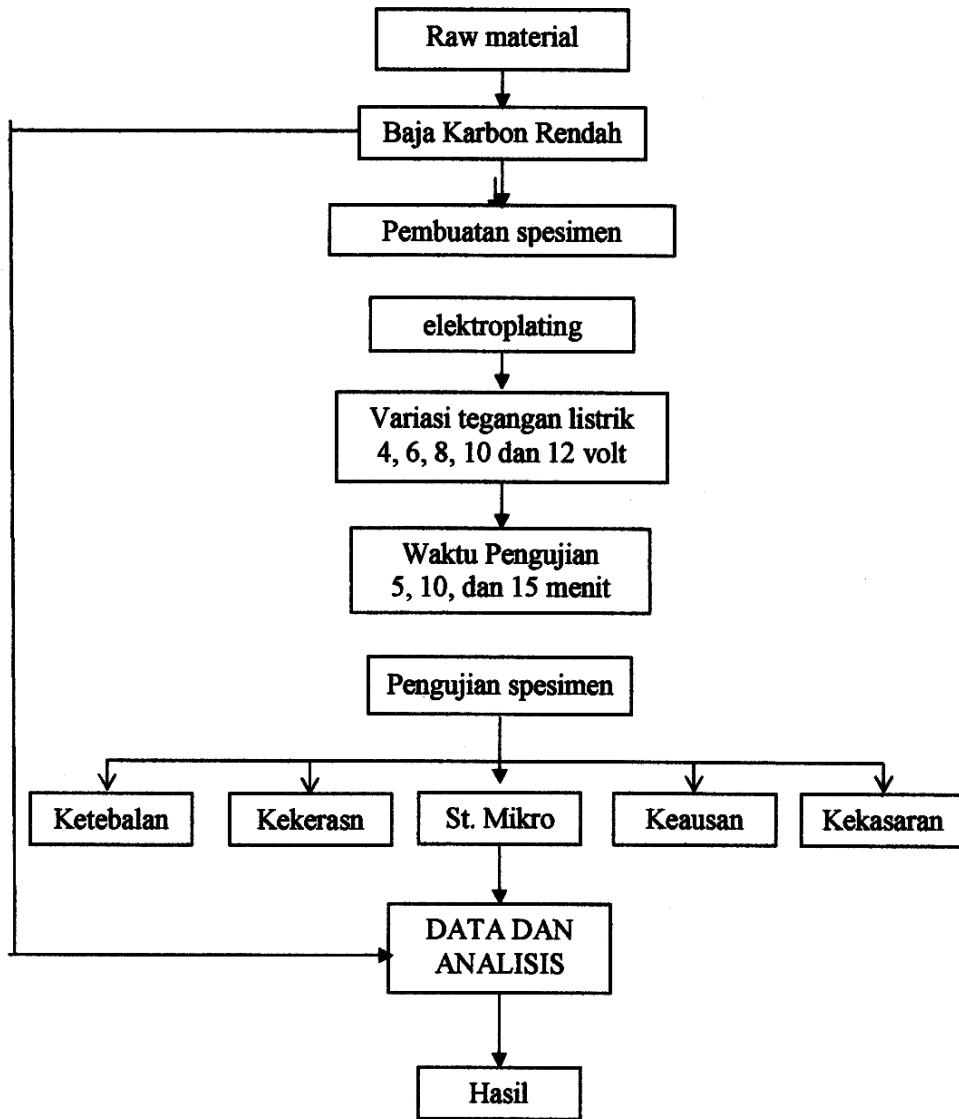
$$\forall H N = a + bv$$

V = perubahan voltase.

y = VHN kekerasan atau tebal lapisan.

Pengujian-pengujian yang telah dilakukan dengan memvariasikan tegangan listrik; 4 volt, 6 volt, 8 volt, 10 volt, 12 volt serta lama waktu; 5 menit, 10 menit dan 15 menit, setiap variasi tegangan listrik dan waktu plating dilakukan tiga kali pengambilan data kemudian untuk menganalisisnya menggunakan persamaan regresi polinom dengan mengambil 30 % dari rerata data yang signifikan. Selanjutnya diagram alir penelitian dapat disajikan dalam gambar 3.15.

### 3.16 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.12 Diagram Alir Penelitian

## **BAB. IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Hasil pengujian komposisi**

Pengujian komposisi untuk mengetahui kadar unsur-unsur kimia yang terdapat pada sampel uji disajikan dalam tabel 4.1 pada halaman 49 . Hasil pengujian komposisi baja karbon rendah menunjukkan bahwa kadar Fe sebesar 98,78% sementara kadar karbonnya relatif rendah  $< 0,1\%$ , Hal ini menunjukkan bahwa baja termasuk baja karbon rendah, beberapa unsur pengotor seperti Mn, Mo dan W dalam kadar relatif kecil dibawah  $< 0,2\%$ .

Langkah-langkah pengujian komposisi:

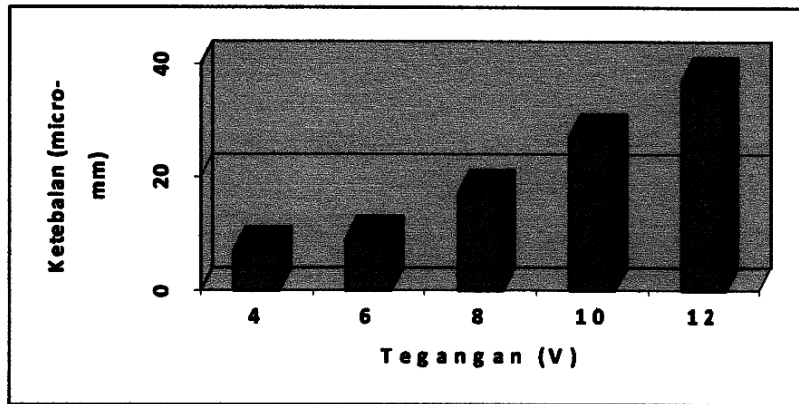
1. Material dasar yang berbentuk silinder dengan ukuran diameter 30 mm dan tebal 4 mm dipotong menjadi dua bagian dengan ukuran 15 x 15 mm, kemudian permukaannya dipoles sampai halus.
  2. Material dasar diletakan pada bed dan dibakar dengan elektroda sampai bahan yang terkandung didalamnya mengalami pencairan atau rekristalisasi. Proses rekristalisasi telah terjadi kemudian alat uji akan menangkap warna berupa pancaran cahaya, dan cahaya akan ditangkap oleh alat uji melalui sensor cahaya kemudian akan diteruskan kedalam program komputer yang selanjutnya dicatat.
- Langkah-langkah pengujian komposisi kimia ini dilakukan sebanyak tiga kali dan hasilnya dirata-rata. ditunjukkan pada tabel 4.1 hasil uji komposisi material dasar..

**Tabel 4.1 Hasil uji komposisi base material**

No	Nama Unsur	Simbol	Kadar (%)
1	Ferum	Fe	98,78
2	Sulfur	S	0,029
3	Alluminium	Al	<0,000
4	Carbon	C	0,088
5	Nickel	Ni	0,160
6	Niobium	Nb	0,01
7	Silicon	Si	0,083
8	Chromium	Cr	0,102
9	Vanadium	V	<0,00
10	Mangan	Mn	0,496
11	Molibdenum	Mo	0,008
12	Tungsten	W	0,05
13	Phosphors	P	0,014
14	Copper	Cu	0,181
15	Titanium	Ti	<0,00

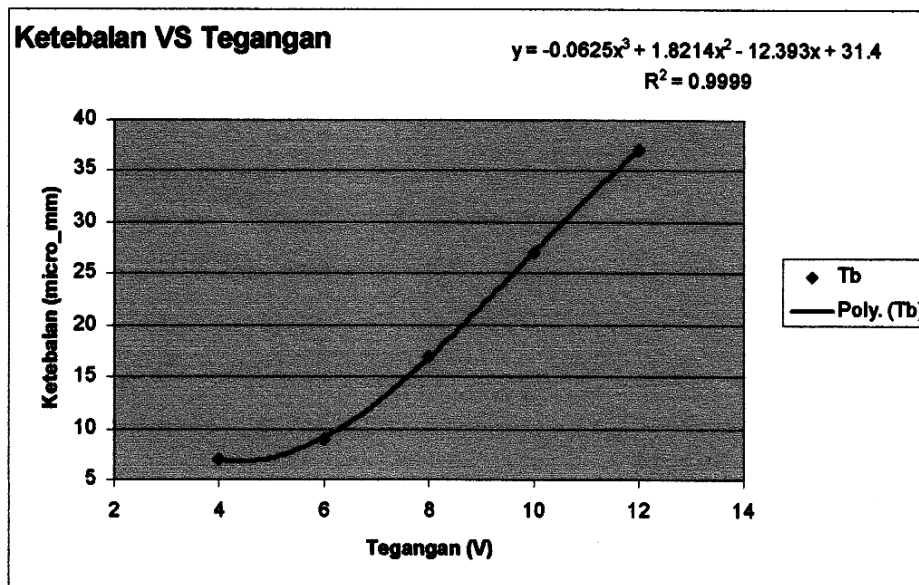
#### **4.2. Pengukuran ketebalan lapisan krom keras**

Hasil pengujian spesimen dilakukan dengan menggunakan peralatan *thickness smeter* dengan menempelkan sensor pada permukaan spesimen disajikan lihat lampiran! Dalam hal ini hasil tebal lapisan *hard chrome* pada base metal pada proses elektroplating dengan variasi tegangan listik dan lama waktu 15 menit, Dari diagram batang 4. 1 Menunjukkan bahwa semakin besar tegangan diperoleh harga ketebalan yang meningkat.



**Gambar 4.1 Grafik batang pengaruh tegangan terhadap ketebalan**

Selanjutnya data pengukuran ketebalan dianalisa menggunakan regresi polynomial untuk memperoleh persamaan matematik yang dapat digunakan dalam melihat pengaruh perubahan tegangan terhadap hasil kebalan lapisan. Hasil analisa regresi dapat disajikan dalam gambar 4.2



**Gambar 4.2 Pengaruh tegangan terhadap ketebalan waktu 15 menit**

Gambar 4.2 menunjukkan adanya kenaikan tebal lapisan krom seiring dengan naiknya tegangan listrik untuk waktu 15 menit pada proses electroplating, hal ini disebabkan tegangan listrik sangat mempengaruhi jumlah muatan yang mengalir dari anoda ke katoda, semakin besar tegangan listrik yang diberikan pada proses electroplating maka jumlah ion-ion yang mengalir ke katoda akan semakin banyak dan semakin cepat menempel kekatoda, kemudian jika waktu yang diberikan melebihi 15 menit maka spesimen akan hangus.

Selanjutnya masih pada Gambar 4.2 Menunjukkan adanya kenaikan tebal lapisan krom pada base metal sampai 37  $\mu\text{m}$  untuk lama waktu plating 15 menit, dan dari data-data experiment yang diperoleh pada plating dengan menggunakan tegangan listrik 12 volt lama waktu 15 menit merupakan hasil yang paling optimal dan perlu dicatat bila waktu plating terlalu lama lebih dari 15 menit base metal/spesimen terbakar atau menjadi hitam/ hangus dan lama waktu kurang dari 15 menit pelapisan terdeposisi sangat kecil bahkan hampir tidak terbentuk lapisan dan sebagai bukti dapat dilihat pada gambar 4.5 halaman 56, Struktur mikro pelapisan pada base metal pada variasi tegangan listrik dan waktu < 15 menit!

#### **4.3. Analisa struktur mikro lapisan krom keras**

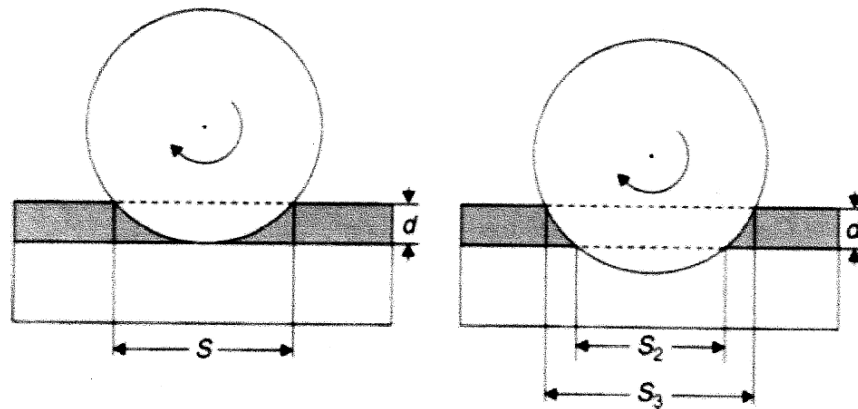
Pengujian ketebalan lapisan krom keras dengan menggunakan mikroskop optic pada pembesaran gambar 200 X, disajikan pada gambar struktur mikro ( Gambar 4.5 ) halaman 56. Ini; Berdasarkan data temperatur proses pelapisan yang berkisar antara 45° sampai 67°C yang tidak mampu menggetarkan kristal logam dasar maka tidak terjadi difusi atau tidak terjadi perubahan.

#### **4.4 Pengukuran Kekasaran Permukaan**

Metode Chordal sectioning Metode terbaik sectioning dipahami dalam hal visual, seperti ditunjukkan pada Gambar.4.3. Menggunakan grinding disc atau menggiling duri, radial atau bagian chordal dipotong melalui coating dan turun ke substrat sampai setidaknya sebagian dari yang terakhir terlihat. Itu roda penggiling harus dipasang pada bantalan presisi, dan dengan 200 mm diameter, 12 mm lebar, dan dari kelas yang tersedia terbaik abrasif. Grinding disc yang diterapkan pada

sampel dengan konstan tekanan kebawah ,yang sampel yang dipegang teguh di posisi. Ketebalan lapisan ini kemudian dihitung menggunakan geometri pada gambar 4.3 dengan menggunakan mikroskop untuk mengukur panjang akord  $S_2$  potong menjadi lapisan permukaan, dan  $S_1$  sebagai panjang akord untuk logam dasar R adalah jari-jari penggiling - ring disk; ekspresi berikut ini kemudian diperoleh:.

$$d - d_2 - d_1 = \sqrt{R^2 - \left(\frac{S_2}{2}\right)^2} - \sqrt{R^2 - \left(\frac{S_1}{2}\right)^2} \quad (4.1)$$



Gambar 4.3 Grinding disc dan spesimen

Hasil analisa struktur mikro menunjukkan adanya perbedaan tebal lapisan krom keras yang disebabkan oleh variasi tegangan listrik dan lama waktu proses elektroplating 15 menit. Spesimen pada saat proses pelapisan diberi tegangan 4 volt memiliki tebal rom rata-rata sebesar 7,76  $\mu\text{m}$ , ketebalan ini semakin naik menjadi 9,31  $\mu\text{m}$  pada spesimen yang diberi tegangan 6 volt, dan untuk spesimen dengan tegangan 8 volt tebal lapisan naik menjadi 17,85  $\mu\text{m}$ , serta tebal lapisan spesimen yang diberi tegangan 10 volt hasilnya naik menjadi 27,16  $\mu\text{m}$ , kemudian pada tegangan yang diberikan pada 12 volt lapisan krom naik menjadi 37,79 $\mu\text{m}$ .

Dari hasil pengujian spesimen yang telah dilapis krom melalui proses krom keras, dicatat data-data seperti ditunjukkan pada tabel 4.2a dan 4.2 b hasil data pengujian lapisan krom keras;

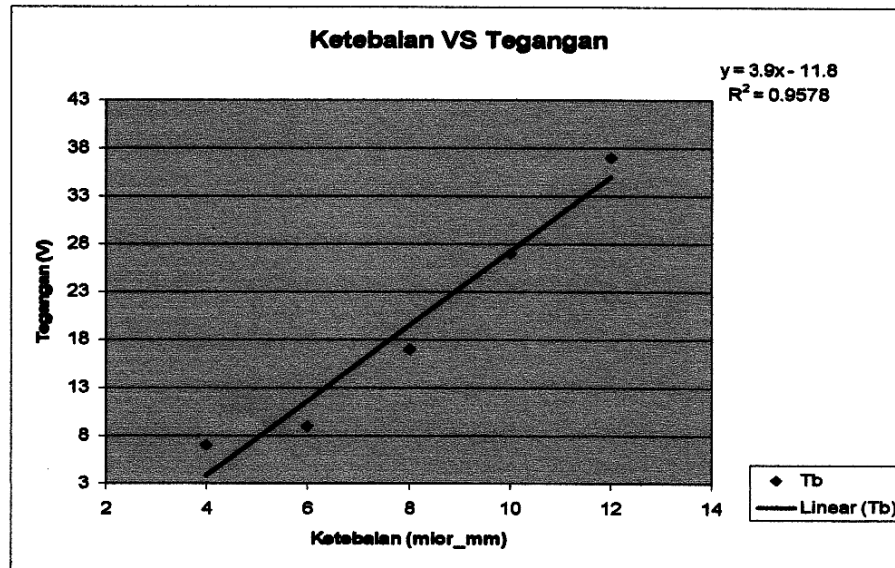
**Tabel 4.2a Ketebalan Vs Volt**

<b>NO</b>	<b>VOLT</b>	<b>KEKERASAN</b>
1	1	214
2	6	232
3	8	254
4	10	286
5	12	351

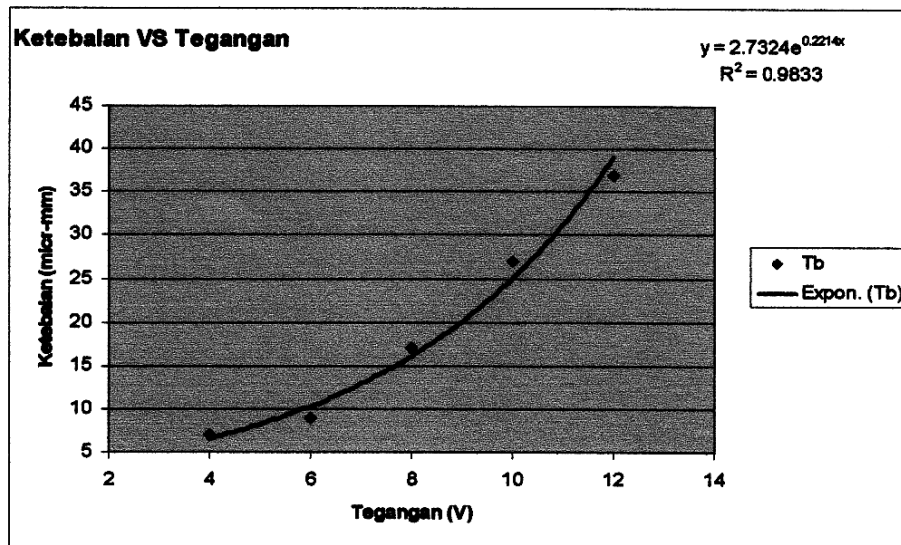
**Tabel 4.2 b Kekerasan Vs Volt**

<b>NO</b>	<b>VOLT</b>	<b>KETEBALAN</b>
1	4	7
2	6	9
3	8	17
4	10	27
5	12	37

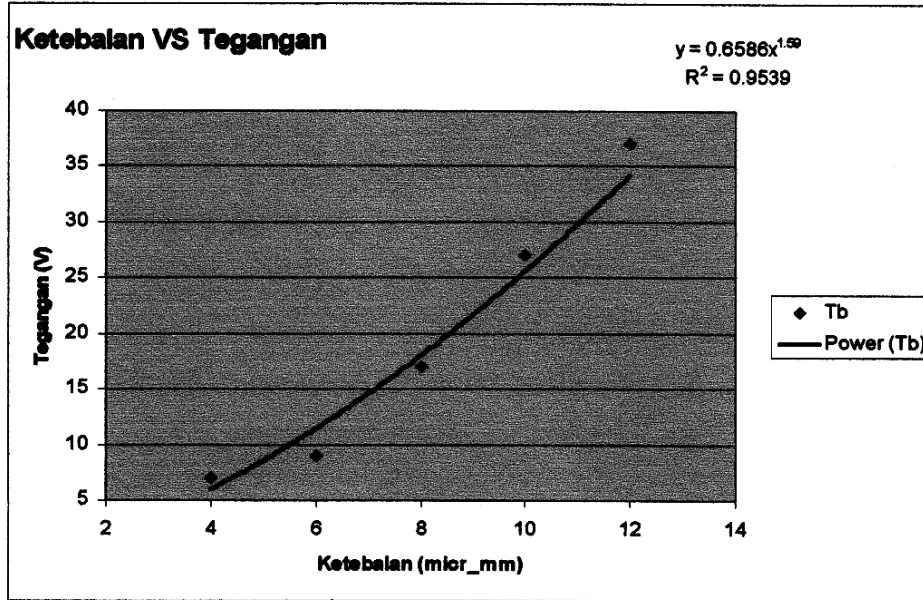
Kemudian data-data tersebut dianalisis regresi menggunakan metode kudrat terkecil dan hasilnya ditunjukkan pada gambar 4.4



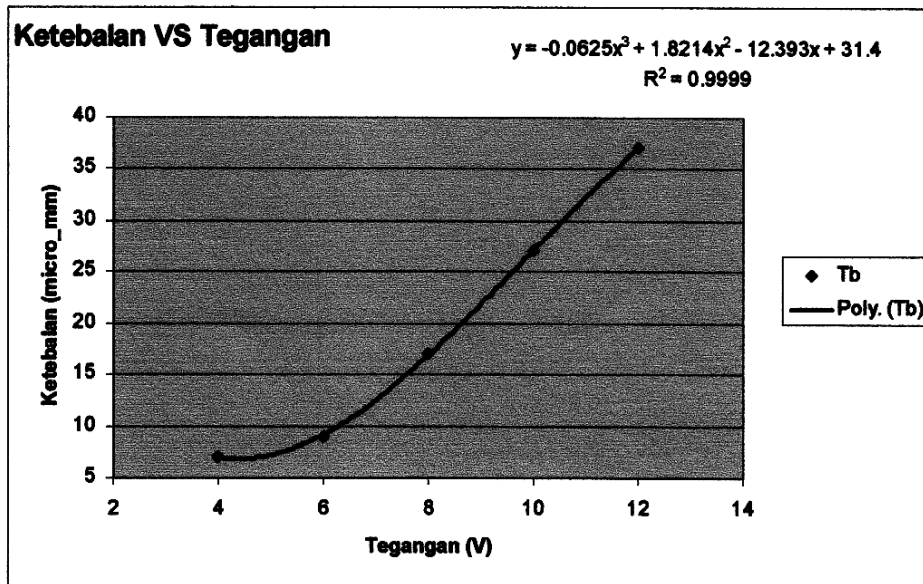
Gambar 4.4a Analisa pengaruh tegangan terhadap ketebalan waktu 15 menit.



Gambar 4.4b Analisa pengaruh tegangan terhadap ketebalan waktu 15 menit

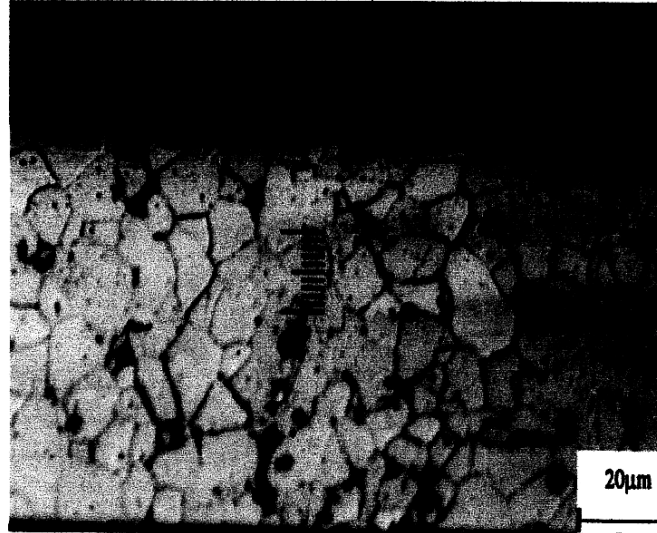


**Gambar 4.4c Analisa pengaruh tegangan terhadap ketebalan waktu 15 menit**



**Gambar 4.4d Analisa pengaruh tegangan terhadap ketebalan waktu 15 menit**

Pada proses pelapisan variasi tegangan listrik menggunakan waktu kurang dari atau menggunakan lama waktu proses 5 dan 10 menit tidak terjadi lapisan krom atau sangat tipis sekali: yang tampak hanya warna hitam dan logam dasar saja dan gambar struktur mikro dapat disajikan pada gambar 4.5.



Gambar 4.5. Struktur mikro pelapisan pada base metal dengan waktu < 15 menit

#### 4.5. Pengujian Kekerasan Lapisan krom keras dengan Metode Vickers

Pada pengujian cara ini mula – mula permukaan logam yang diuji ditekan dengan indentor yang berbentuk piramida intan bagian dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besar sudut antara permukaan – permukaan piramida yang berhadapan adalah  $136^\circ$ . Angka kekerasan piramida intan atau angka kekerasan *Vickers* (VHN atau VPN), secara teoritis diartikan sebagai beban bagi luas penampang lekukan. VHN dapat ditentukan dari persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 VHN &= \frac{2P \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{d^2} \\
 &= \frac{1.854P}{d^2}
 \end{aligned}
 \tag{4.2}$$

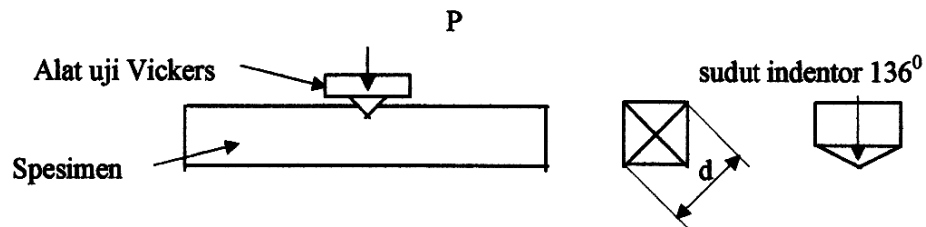
dimana :

P = Beban yang diterapkan (kg)

d = Panjang diagonal rata - rata

$\alpha$  = Sudut antara intan yang berlawanan ( $136^\circ$ )

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode Vickers seperti pada Gambar 4.6 Bentuk pengujian vickers



Gambar 4.6. Bentuk pengujian Vickers

Angka kekerasan Vickers dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$HV = 1,8544 \frac{P}{d^2} \quad (4.3)$$

Dimana :

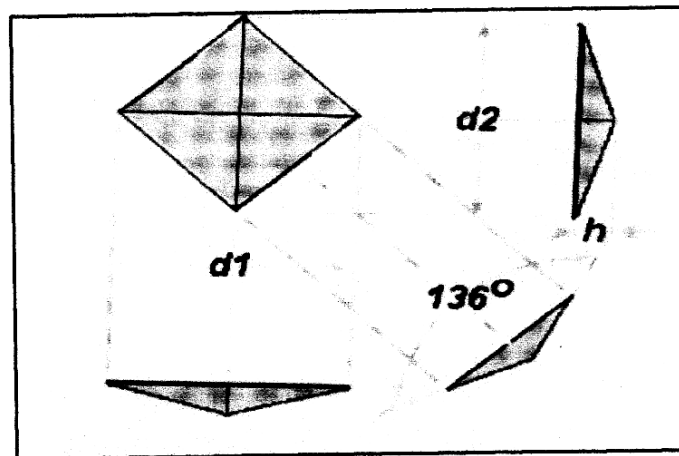
Hv = angka kekerasan Vickers (MPa)

P = pembebanan (N)

d = diagonal rata-rata akibat pembebanan Vickers (mm)

Pengujian kekerasan adalah salah satu pengujian dari sekian banyak pengujian yang mudah dilakukan, karena dapat dilaksanakan pada spesimen yang relatif kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi benda uji. Pengujian yang banyak dipakai adalah dengan cara menekan indenter pada benda uji dengan beban 20 gram dan ditahan 5 detik, kemudian mengukur bekas hasil penekanan

yang terbentuk pada permukaan spesimen uji, lihat gambar 4.7 Menguji kekerasan dengan alat mikro vickers.

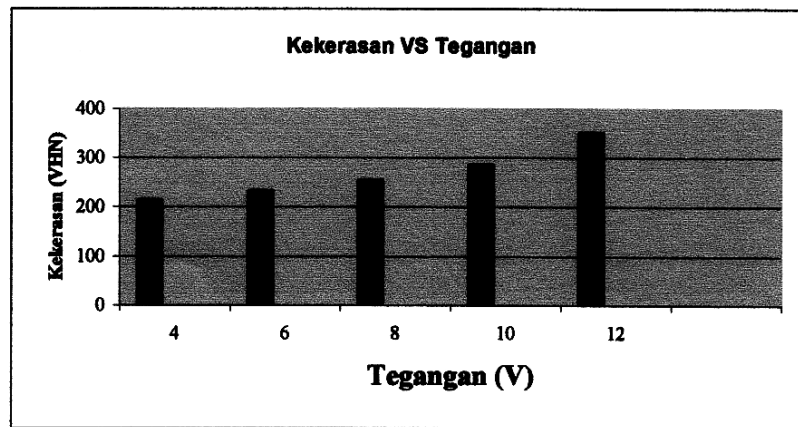


**Gambar 4.7. Skema indenter Vickers**

Pengujian kekerasan adalah salah satu pengujian dari sekian banyak pengujian yang mudah dilakukan, karena dapat dilaksanakan pada spesimen yang relatif kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi benda uji. Pengujian yang banyak dipakai adalah dengan cara menekankan indenter pada benda uji dengan beban tertentu dan ditahan sesaat kemudian mengukur bekas hasil penekanan yang terbentuk pada permukaan spesimen uji, lihat gambar lampiran penelitian! Menguji kekerasan dengan alat mikro vickers.

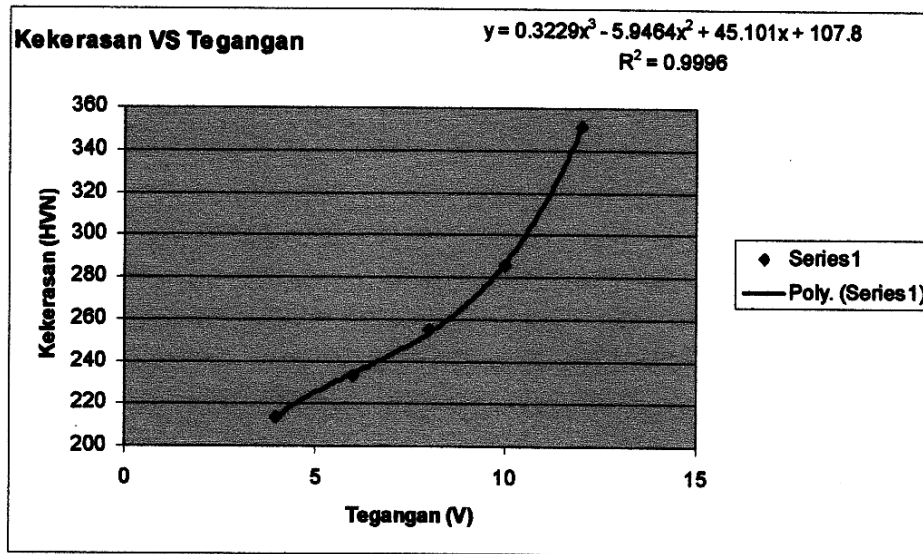
Indenter diamond vickers dengan kedalaman penetrasi  $1/7$  panjang diagonal bujur sangkar terhadap specimen uji ( [www.gordonengland.co.uk](http://www.gordonengland.co.uk) ), skala tanda injakan dalam eksperimen panjang diagonal bujur sangkar  $1 \mu\text{m}$ , maka bila dihitung tebal lapisan minimal yang terbentuk adalah:  $1/7 \times 33 \mu\text{m} = 4,90 \mu\text{m}$ .

Hasil perhitungan kekerasan lapisan krom keras menggunakan alat penguji Mikro Vickers hardness dengan pembebanan 20 gram, didapatkan diagonal d1 dan d2 hasil injakan indentor sebagai acuan dalam perhitungan nilai keras spesimen sebelum dan sesudah dilapis dengan lapisan Hard chrome dengan menggunakan persamaan ( 4.2 ). Dan hasilnya disajikan pada gambar grafik batang 4.8.



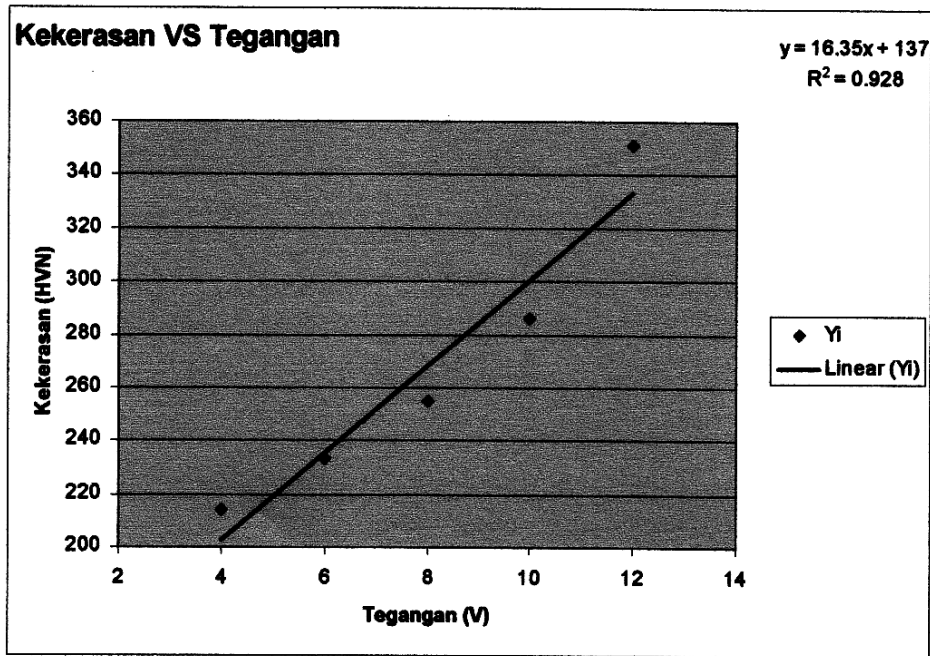
**Gambar 4.8. Grafik Batang kekerasan VS Tegangan**

Grafik diatas menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai kekerasan Vickers yang disebabkan oleh variasi tegangan listrik dan lama waktu 15 menit di mana untuk spesimen yang diberi tegangan 4 Volt memiliki nilai kekerasan sebesar 214,28 VHN, nilai kekeraan ini semakin naik menjadi 232,92 VHN pada specimen yang diberi tegangan 6 Volt, untuk specimen yang diberi tegangan 8 Volt nilai kekerasan lapisan akan naik menjadi 254,77 VHN, nilai kekeraan yang diberi tegangan 10 Volt akan naik menjadi 286,17 VHN dan pada tegangan 12 Volt nilai kekeraan lapisan specimen akan naik menjadi 351 VHN. Selanjutnya dianalisa dengan regresi polynomial hasilnya sangat akurat dan dapat disajikan pada Gambar 4 9. Grafik pengaruh variasi tegangan listrik terhadap kekerasan.

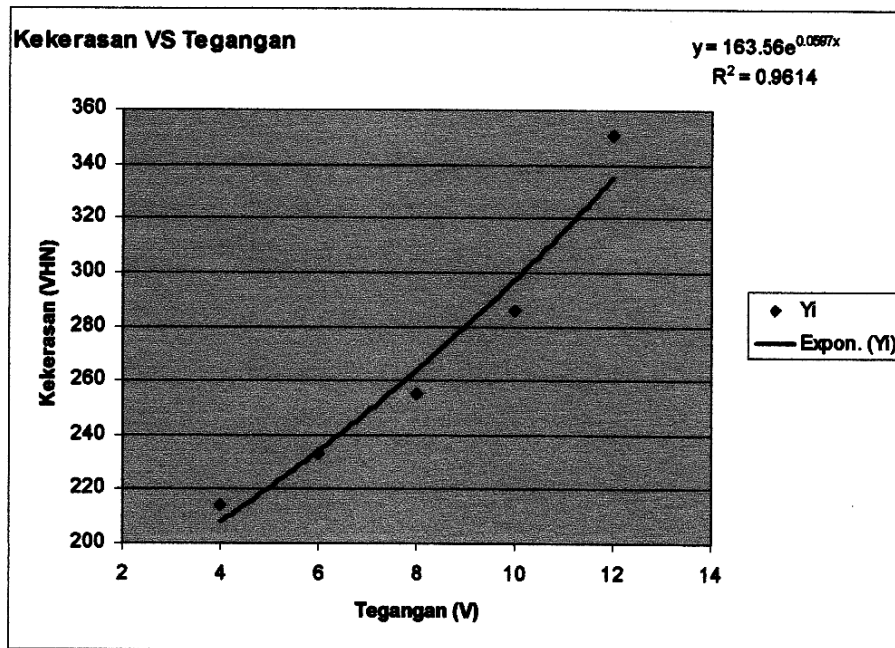


**Gambar 4.9 Pengaruh variasi tegangan listrik terhadap kekerasan**

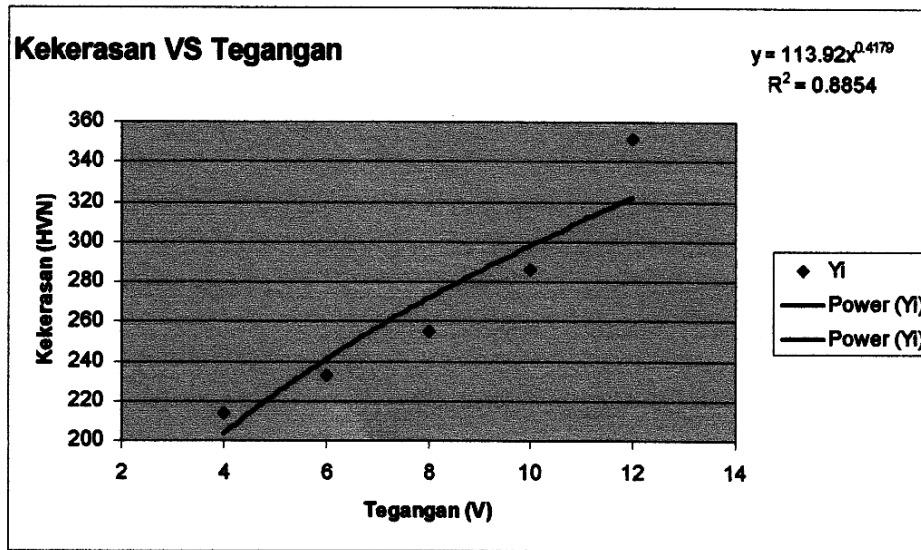
Gambar grafik 4.9 menunjukkan adanya kenaikan nilai kekerasan (VHN) yang disebabkan dengan seiring kenaikan tegangan listrik yang diberikan pada tiap-tiap spesimen, semakin tinggi tegangan yang diberikan yaitu pada tegangan listrik 12 volt dan waktu 15 menit, maka jumlah muatan yang mengalir dan menempel pada katoda akan semakin banyak dan menyebabkan lapisan yang dihasilkan semakin tebal, tebal lapisan ini mempengaruhi naiknya nilai kekerasan karena berdasar data tabel 4.2a dan 4.2b, halaman 59 penelitian ini, dapat dibuktikan bahwa jika tegangan listrik semakin besar maka nilai kekerasan ( VHN ) akan semakin besar hal ini karena lapisan krom keras semakin tebal. Gambar 4.9. merupakan alternatif hasil analisa tabel 4.2b halaman 53 pada penelitian ini dengan dukungan atau determinan (  $R^2$  ) = 0,9996 dan dapat disajikan pada gambar 4.10. Analisa regresi dengan metode kuadrat terkecil:



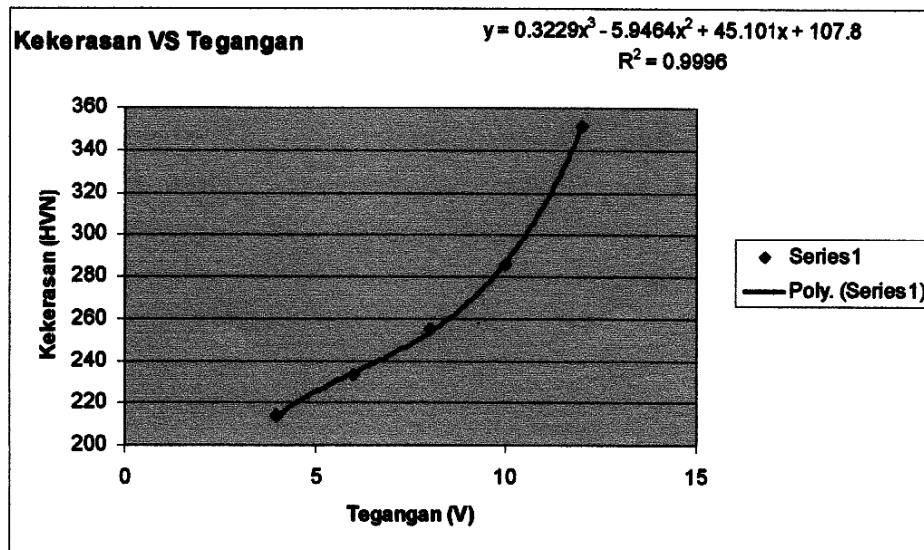
**Gambar 4.10a Pengaruh tegangan terhadap kekerasan waktu 15 menit**



**Gambar 4.10b Pengaruh tegangan terhadap kekerasan waktu 15 menit**



**Gambar 4.10c Pengaruh tegangan terhadap kekerasan waktu 15 menit**



**Gambar 4.10 d Pengaruh tegangan terhadap kekerasan waktu 15 menit**

Hasil percobaan–percobaan pada lama proses 5 dan 10 menit baik menggunakan alat uji dan diperkuat dengan perhitungan sebagai berikut:

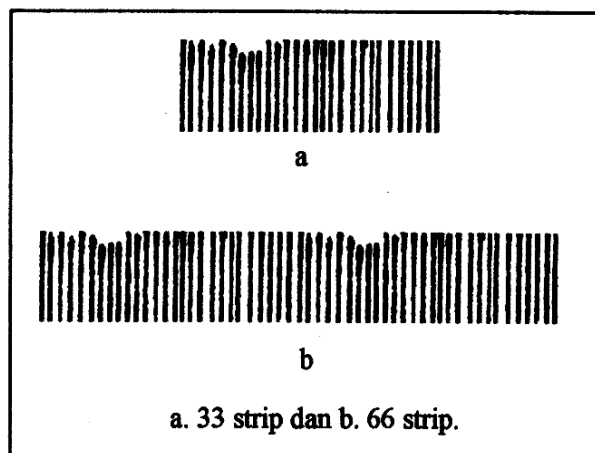
- a. Pada rerata percobaan proses elektrolating dengan tegangan 4 volt lama proses 5 menit dan 10 menit hampir tidak terlapis, gambar struktur mikro dapat dilihat pada lampiran!
- b. Pada rerata percobaan proses elektrolating dengan tegangan 6 volt lama proses 5 menit dan 10 menit mulai nampak ada lapisan, gambar struktur mikro dapat dilihat pada lampiran!
- c. Pada rerata percobaan proses elektrolating dengan tegangan 8 volt lama proses 5 menit dan 10 menit mulai nampak ada lapisan sebesar  $< 2 \mu\text{m}$ , gambar struktur mikro dapat dilihat pada lampiran!
- d. Pada rerata percobaan proses elektrolating dengan tegangan 10 volt lama proses 5 menit dan 10 menit mulai nampak ada lapisan sebesar  $< 3 \mu\text{m}$ , gambar struktur mikro dapat dilihat pada lampiran!

Berdasar Ivanova (2007), Melakukan penelitian tentang pelapisan galvanis pada baja karbon menggunakan sampel-sampel eksperimen berbentuk piringan dengan luas  $1000 \text{ mm}^2$  terbuat dari baja karbon rendah kandungan C = 0,17% ketebalan material 1,0 mm, Kemudian sampel digalvanis dengan elektrolit clorida sehingga menghasilkan tebal lapisan  $12 \mu\text{m}$  bekerja pada temperatur eksperimen  $20^\circ$ ,  $40^\circ$  dan  $60^\circ$  dengan lama waktu proses 5, 10, dan 15 menit. Dan Kvedaras (2006), Melakukan penelitian kekuatan lelah dari plat baja yang dikrom: menggunakan objek penelitian baja yang dinormalkan secara konstruksi dan dipilih komposisi kimia: C= 0,49%, Mn=0,55%, Si=0,24%, Cr=0,6% Ni=1,2% dan Cu=0,13%, Spesimen dipersiapkan dengan diameter minimal 7,52 mm panjang 20 mm, Kemudian pengujian fatigue dengan frekwensi 3000 siklus/menit serta kekerasan diukur dengan mikro hardness kemudian mikrografi potongan melintang menggunakan neophot mikroskop dengan hasil ketebalan lapisan yang dicapai  $10 \mu\text{m}$ . Selanjutnya Bettina (2000), berhasil melaksanakan penelitian pelapisan khrom keras dapat mencapai deposit khrom 20 sampai  $150 \mu\text{m}$  dengangan kekerasan lebih dari 600 Hv pada kandungan asam khromat 100 – 400

g/l dan rata – rata endapan pelapisan 1 – 1,5  $\mu\text{m}/\text{menit}$  pada temperature 55 - 65°C. Dengan menghasilkan persamaan polinom  $Y_t = - 0,062 V^3 + 1,821 V^2 - 12,34 V + 31,4$  dan  $Y_h = 0,322 V^3 - 5,946 V^2 + 45,10 V + 107,8$  serta nilai korelasi sangat meyakinkan: 0,999.

#### 4.6 Hasil Keausan Lapisan Hard Chrome

Pengujian keausan menggunakan mesin penguji aus jenis wheel on disc, dimensi specimen yang akan diuji diameter 30 mm dan tebal 4 mm, final load 12,78 gram, gear ratio 96 : 48 dan lama waktu pengujian masing-masing specimen 15 detik, akan didapat luasan goresan pada spesmen, disajikan pada gambar 4.11 goresan keausan:



**Gambar 4.11 Luas goresan keausan**

Menunjukkan banyaknya strip dalam 1 mm yang dilihat dengan mikroskop dengan pembesaran 50 X, hasil pengujian keausan lihat table 4.3

**Tabel 4.3 Luas goresan lapisan hard chrome**

No.	Spesimen	Ukuran Lebar Gores dalam Strip	1 mm = 16 Strip
1	I	50 Strip	3,66 mm
		54 Strip	4,12 mm
		55 Strip	4,50 mm
2	II	47 Strip	2,45 mm
		48 Strip	3,00 mm
		50 Strip	3,66 mm
3	III	42 Strip	2,62 mm
		46 Strip	2,87 mm
		45 Strip	2,85 mm
4	IV	42 Strip	2,62 mm
		40 Strip	2,50 mm
		44 Strip	2,75 mm
5	V	40 Strip	2,50 mm
		40 Strip	2,50 mm
		38 Strip	2,45 mm

#### 4.7 Analisis Laju Keausan

a. Spesimen 1 : Spesimen 5 =  $(3,66+4,12+4,50/3):(2,50+2,50+2,45/3)$

i. = 3,13% : 1,65%

b. Berdasarkan data pengujian menyatakan bila specimen 5 lebih keras 1,38% dari specimen 1.

c. Spesimen 2 : Spesimen 5 =  $(2,45+3+3,66/3) : (2,50+2,50+2,45/3)$

i. = 2,26% : 1,65%

d. Berdasarkan data pengujian menyatakan bila specimen 5 lebih keras 0,61% dari specimen 2.

e. Spesimen 3: Spesimen 5 =  $(2,62+2,87+2,85/3) : (2,50+2,50+2,45/3)$

i. = 1,85% : 1,65%

- f. Berdasarkan data pengujian menyatakan bila specimen 5 lebih keras 0,20% dari specimen 3.
- g. Spesimen 4 : Spesimen 5 =  $(2,62+2,50+2,75/3) : (2,50+2,50+2,45/3)$ 
  - i. = 1,84% : 1,65%
- h. Berdasarkan data pengujian menyatakan bila specimen 5 lebih keras 0,19% dari specimen 4.

Secara keseluruhan dari analisis pengujian keausan lapisan *hard chrome* yang melalui proses *electroplating* dengan tegangan listrik 12 volt dan waktu proses 15 menit memiliki kekerasan paling tinggi dibandingkan specimen yang diproses *electroplating* dengan tegangan listrik 4, 6, 8 dan 10 volt.

#### 4.8 Pengukuran Kekasaran Permukaan

Pengukuran kekasaran permukaan specimen pelapisan hard krom dilakukan di Laboratorium Tribologi Program Studi Teknik Mesin UNDIP, dengan menggunakan alat Surface Roughness Charts presision measuring instrumens Merk. Mitutoyo SJ.20IP . disajikan pada table 4.4.

**Tabel 4.4 Mencatat data hasil pengukuran kekasaran specimen A**

N0.	Ra	RJ	RZ	RQ
1	0,08	0,60	0,51	0,10
2	0,11	0,67	0,62	0,14
3	0,09	0,74	0,59	0,12
4	0,10	0,75	0,67	0,12
5	0,11	0,56	0,45	0,10
6	0,10	0,57	0,60	0,11

**Tabel 4.5 Mencatat data hasil pengukuran kekasaran specimen B**

N0.	Ra	RJ	RZ	RQ
1	0,11	0,73	0,64	0,14
2	0,10	0,78	0,65	0,13
3	0,10	0,76	0,58	0,13
4	0,11	0,60	0,61	0,12
5	0,10	0,56	0,57	0,13
6	0,10	0,59	0,58	0,11

Dapat disimpulkan bahwa hasil pengukuran kekasaran permukaan specimen pelapisan hard krom kekasaran Ra (*aritmatic mean of the depart of the roughness profile from the mean line within the evolution length*) adalah 0,10.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. SIMPULAN**

Berdasarkan hasil Penelitian dapat disimpulkan pada variasi tegangan listrik dan lama waktu proses elektroplating adalah sebagai berikut:

- a). Ketebalan lapisan adalah: 37,79  $\mu\text{m}$  dan kekerasan mencapai 351 VHN.
- b) Nilai korelasi ketebalan Vs voltase dan kekerasan Vs voltase sangat meyakinkan/ sah sebesar 0,999, Dengan menghasilkan persamaan regresi polinomial:  $Y_t = - 0,062 V^3 + 1,821 V^2 - 12,34 V + 31,4$  dan  $Y_h = 0,322 V^3 - 5,946 V^2 + 45,10 V + 107,8$ .
- c) Pengaruh ketebalan dan kekerasan berbanding lurus dengan naiknya tegangan.

#### **5.2. SARAN**

- a) Perlunya dilakukan pengamatan perubahan rapat arus terhadap ketebalan dan kekerasan krom
- b) Analisa struktur mikro dengan menggunakan Scanning Electro Microscopy (SEM) .

## DAFTAR PUSTAKA

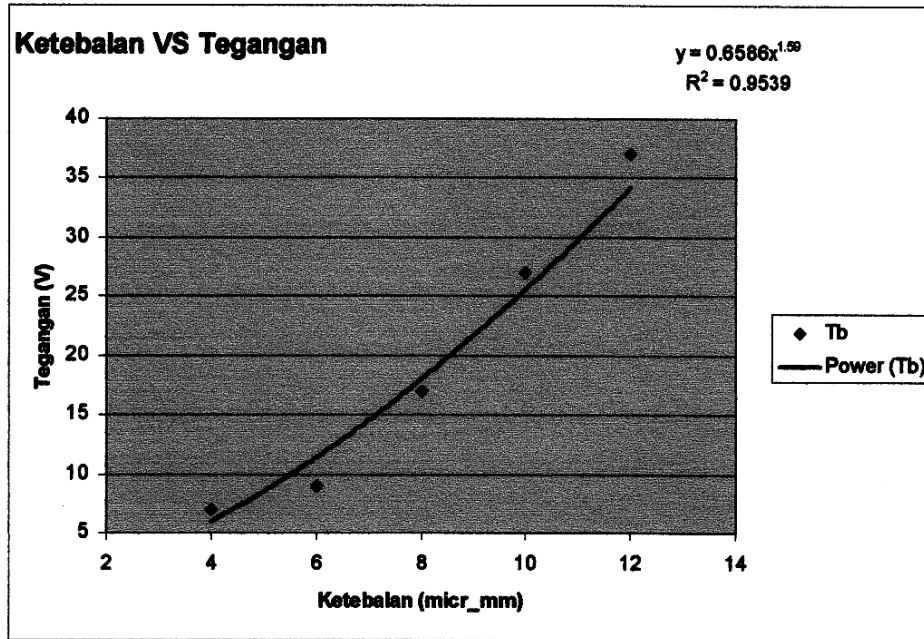
- Anton J Hartono, Tomijiro Kaneko. (1992),” *Mengenal Pelaisan Logam Elektroplating*”, Yogyakarta: Andi Offset
- Apticote 100 Hard Chrome Plating ( [www.poeton.co.uk](http://www.poeton.co.uk) )
- Akira Iwabuchi ( 2001 ), “ **Effects of ambient pressure on fretting friction and wear behavior between SUS 304 steels**”, accepted 22 february 2001
- Arikunto Suharsini (1997),”*Prosedur Penelitian*”: Suatu Pendekatan Praktek. Edisi kelima- Jakarta: Aneka Cipta
- Bettina Kerle, Mathias`Opper and Sirqudvock (2000), “**Hexavalent Chromium**”: Sur Tec 875
- Chapra ( 1985 ),”Numerical Methods For Engineers, Mc. Graw-Hill Book Company, New York
- Dagun Save M (2005),”*Kamus Besar Ilmu Pengetahuan*”, Edisi keempat- Jakarta: Lembaga Pengkajian Kebudayaan Nusantara
- D. Ivanova, L. Fachikov (2007), “**Phospating of Cold Galvanized Carbon Steel**“: Vol. 42 No. 2 h 159 – 162.
- GT Burstein, (2006),” *Materials Science And Metallurgy*”. Universty of Cambridge.
- Gordon E ( 2009 ), “**Surface Engineering Forum**”, The Journal www. Gordon Englang co.uk diakses 5/11/2009.
- Gun Y. Lee ( 2003 ), “**Abrasive Wear Behavior of Head-Treated ABC-Silicon Carbide**”: The journal J.Am. Ceram Soc. 1370-78
- Guofeng Zhou ( 2004 ). Wear Mechanism of Clutch Separating Ring in a Heavy Load Vehicle, Avaible online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- Hadromi (2000), *Industri Elektroplating Kecil dan Menengah*.
- Kobayashi (2001), “**Chrome Plated Parts and Chrome Plating Method**” ; Vol.37 h 636 – 642
- Lawrence H Van vlack (1992), “*Ilmu dan teknologi Bahan*”. Jakarta: Erlangga.
- Nasser Kanani (2006), *Elektro Plateng Basic Principles, process and practice: Publisher Elsevier Ltd.*

- Purwanto, syamsul huda, (2005), *“Teknologi Industri Electroplating”*.  
Semarang: Universitas Diponegoro
- Raharjo Samsudi ( 2008 ), **“Pemilihan Jenis Larutan Elektrolit Sebagai Media Pelapis Krom Keras Pada Baja Karbon Rendah”**: *Traksi*. Vol.8 No.1 h 1 – 7
- Raharjo Samsudi (2007 ), **“Perbaikan kualitas Sproket Sepeda Motor local dengan proses pack Karburising Berbahan bakar arang batok kelapa”**: *Traksi* vol.7 No.1 h
- Sandi ( 2002 ), **Pengaruh Temperatur, Rapat arus dan Waktu Proses pada Proses Hard Chrome Electroplating terhadap Kekerasan Permukaan Baja ST-42**: Master Thesis ITB.
- Smallman R.E (1991), *“Metallurgy Fisik Modern”*. Jakarta: Gramedia
- Tomoko Hirayana, Noriaskihisika and Hiroshiyabe (2003), *“Performances of Journal Bearing Arth Mos2 – Skot Coating for Spindle of Magnetic Recording Storage System “*: Vol. 11 No. 8 – 10 h 751 – 757.
- Valdas Kvedaras, Jonas Vilys and Vytantas Ciuplys (2006), *“Fatigue Strenght of Chromium – Plated Steel”* ; Vol. 12 No. 1 h 1320 – 1392
- Waraka ( 2002), **Pengaruh lama Waktu Pengekruman terhadap Ketebalan dan Kekerasan Permukaan Logam yang dilapis Krom**: Master Thesis ITB.

Lampiran B.1 Tabel 1 menyajikan hasil tebal lapisan

Tegangan Listrik	Spesimen	Pengukuran ke						Tebal( $\mu\text{m}$ )	Rata-rata ( $\mu\text{m}$ )
		1	2	3	4	5	6		
4 Volt	1	7.1	7.1	6.3	7.02	6.3	7.2	7.03	7.11
	2	6.4	7.2	7.1	7.2	7.05	7.4	7.06	
	3	7.2	6.32	6.36	7.28	7.15	7.34	7.11	
	4	7.24	7.12	7.3	7.34	7.1	7.12	7.20	
	5	7.15	7.32	7.22	7.31	7.14	7.11	7.22	
6 Volt	1	9.2	9.1	9.14	9.21	9.1	9.12	9.15	9.31
	2	9.5	9.3	9.31	9.12	3	9.16	9.23	
	3	9.1	8.9	9.3	9.1	9.11	9.21	9.12	
	4	3.1	3.13	3.16	3.13	3.28	3.17	9.16	
	5	3.18	3.06	3.16	3.27	3.15	3.12	9.16	
8 Volt	1	17.7	17.4	17.2	17.3	17.1	17.8	17.41	17.85
	2	17.8	17.4	17.2	17.1	17.3	17.7	17.42	
	3	17.5	17.2	17.4	17.2	17.5	17.15	17.33	
	4	17.1	17.23	17.3	17.9	17.3	17.1	17.16	
	5	17.01	17.14	17.21	17.32	17.35	17.57	17.27	
10 Volt	1	27.11	27.2	27.24	27.23	27.11	27.4	27.22	27.16
	2	27.52	27.1	27.33	27.2	26.42	27.13	27.12	
	3	27.7	27.2	27.8	27.2	27.1	27.2	27.37	
	4	27.1	27.22	27.5	27.18	27.6	27.4	27.33	
	5	27.2	27.24	27.1	27.3	27.2	27.15	27.20	
12 Volt	1	37.5	37.2	36.7	37.5	37.1	36.8	37.13	37.79
	2	37.1	36.7	37.8	37.3	37.2	37	37.21	
	3	37.2	37.3	37.23	37.1	36.7	37.3	37.14	
	4	36.95	37.5	37.1	36.98	37.45	37.3	37.21	
	5	37.2	36.87	37.3	37.4	36.88	37.8	37.24	

### Lampiran B.2 Analisa ketebalan Vs tegangan



### Lampiran B.2 Analisa ketebalan Vs tegangan

