



UNIVERSITAS INDONESIA

PENGARUH JENIS PELUMAS TERHADAP SIFAT MAMPU BENTUK  
BAJA LEMBARAN BERLAPIS SEPERTI SECD, SGCC DAN SPTE PADA  
PROSES PEMBUATAN RUMAH FILTER OTOMOTIF

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik

KWE KOSASIH

0606151412

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL

DEPOK

JULI 2009

# HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS

**Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar**

**Nama : Kwe Kosasih**

**NPM : 0606151412**

**Tanda Tangan :** 

**Tanggal : 10 Juli 2009**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Kwe Kosasih

NPM : 0606151412

Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material

Judul Tesis : Pengaruh Jenis Pelumas terhadap sifat mampu bentuk baja lembaran berlapis seperti SECD, SGCC dan SPTE pada proses pembuatan rumah filter otomotif

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

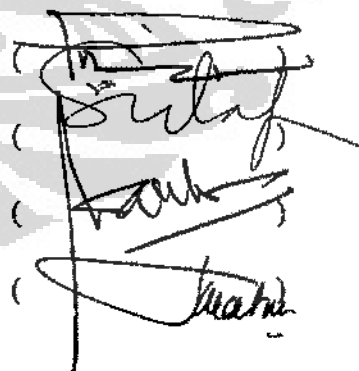
### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Dedi Priadi, DEA

Penguji : Dr. Ir. Sutopo MSc

Penguji : Dr. Ir. Winarto MSc

Penguji : Dwi Marta Nurjaya ST., MT



Three handwritten signatures are present, each preceded by a small circle. The signatures are written in black ink on a white background.

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 10 Juli 2009

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat rahmatNya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Dedi Priadi, DEA – selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Para dosen Jurusan Metalurgi dan Material, Bapak Dr. Ir. Sutopo, Bapak Prof Dr Ing. Bambang Suharno, Bapak Dr. Ir. Winarto, Bapak Ir. Rahmat Saptono MSc, Ibu Ir. Myrna Ariati MS , Bapak Prof .Dr. Ir. Jhonny W,DEA, Ibu Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia yang telah membimbing penulis selama mengikuti perkuliahan;
3. Istri Tercinta ( Dian), adik, kakak serta Ibu mertua atas doanya;
4. Pihak PT XXX dan PT YYY yang telah membantu dalam hal pengadaan bahan bahan untuk pengujian;
5. Para sahabat dan kerabat lainnya yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 10 Juli 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN  
PUBLIKASI TESIS UNTUK KEPENTINGAN  
AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Kwe Kosasih  
NPM : 0606151412  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Departemen : Teknik Metalurgi dan Material  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif ( Non-exclusive Royalty-Free Right )** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Pengaruh Jenis Pelumas terhadap sifat mampu bentuk baja lembaran berlapis seperti SECD, SGCC dan SPTe pada proses pembuatan rumah filter otomotif.

Beserta perangkat yang ada ( jika diperlukan ). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 10 Juli 2009

Yang menyatakan

( Kwe Kosasih )



## ABSTRAK

Nama : Kwe Kosasih  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul : Pengaruh Jenis Pelumas terhadap sifat mampu bentuk baja lembaran berlapis seperti SECD, SGCC dan SPTE pada proses pembuatan rumah filter otomotif

Rumah filter otomotif terbuat dari lembaran baja berlapis melalui proses penarikan dalam (*deep drawing*), bahan yang digunakan adalah SPTE ( baja dilapis Timah Putih secara elektrolitik ).

Untuk menurunkan biaya produksi, material SPTE diganti dengan SECD ( baja dilapis Seng secara elektrolitik ), namun terjadi endapan kotoran pada produk jadi akibat terjadinya erosi pada logam pelapis.

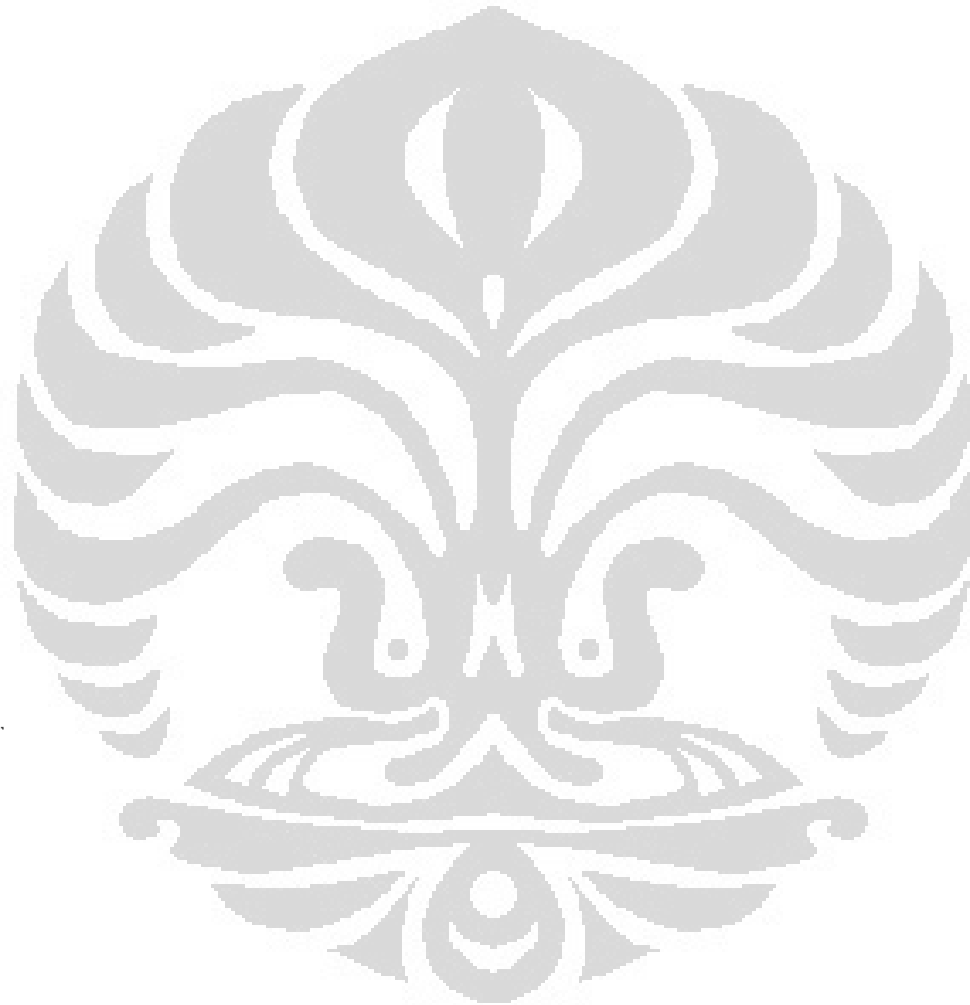
Beberapa hipotesa telah dijabarkan sebagai penyebabnya, yaitu pelumasan, bahan baku, temperatur terlalu tinggi, kecepatan proses, kualitas alat perkakas proses (*dies* dan *tools* ).

Penelitian ini ditujukan untuk menganalisa penyebab terjadinya erosi tersebut, dengan menguji karakter material ( logam dasar dan logam pelapisnya) dan pengaruh jenis pelumas. Material yang diuji adalah SECD, SGCC dan SPTE, sedangkan variabel jenis pelumas adalah minyak sayur Bimoli, minyak formula Neoform ( produksi PT YYY), minyak formula Iloform ( produksi PT ZZZ ), tanpa pelumas ( kering ) dan kertas.

Pada skala laboratorium diperoleh hasil bahwa SECD memiliki mampu bentuk tertinggi dibanding kedua material lainnya. LDR pada pengujian tanpa pelumas dan kertas minyak lebih tinggi dibandingkan dengan ketiga jenis pelumas, namun permukaan sampel mengalami erosi yang berat.

Pada skala pabrik, penggunaan minyak pelumas Neoform masih menunjukkan adanya endapan akibat erosi dalam jumlah yang lebih sedikit dibandingkan Bimoli, disamping untuk proses pembersihannya juga lebih mudah. Sedangkan minyak Iloform terasa lebih lekat dan sulit dibersihkan dari produk jadi.

**Kata kunci : erosi, pelumas, mampu bentuk**



## ABSTRACT

Name : Kwe Kosasih  
Program Study : Teknik Metalurgi dan Material  
Title : The influence of Lubricant type against Drawability of Coated Steel Sheet, such as SECD, SGCC and SPTE on produced Automotive Filter Body.

Automotive filter body is produced from coated steel sheet by deep drawing process, which used material SPTE (Electrolytic Tin Coated Steel)

To reduce production cost, it should change material from SPTE to SECD (electrolytic zinc coated steel). With change material, the new problem raise, it happen erosion on coated steel.

Some hypotesys have been done to know the causes, such as lubricant, raw material, too high temperature, speed process, quality of tools process as well

The purpose of this research is to analyze causes of erosion by testing material characteristic (based steel and coated steel) as well as the influence of lubricant type. Materials to be tested are SECD, SGCC and SPTE meanwhile the variable lubricant types are palm oil Bimoli, formulated oil Neoform (produced by PT YYY), formulated oil Iloform (ex ZZZ), without lubricant (dry) and paper.

The result on laboratory scale is that SECD has highest drawability comparing other both materials. LDR test without lubricant and with paper is higher comparing the other three lubricants, but high erosion still happen on surface sample.

Eventhough, use of oil lubricant Neoform on factory scale is still exist residu which is relatively in small quantity but cleaning process is easier than using Bimoli. Meanwhile using formulated oil Iloform is more sticky/glutinous and difficult to remove.

**Keywords : erosion, lubricant, drawability**



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH .....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH .....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
<b>BAB I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. LATAR BELAKANG .....	1
1.2. RUMUSAN MASALAH .....	1
1.3. TUJUAN PENELITIAN .....	2
1.4. KEGUNAAN PENELITIAN .....	2
1.5. RUANG LINGKUP DAN KETERBATASAN PENELITIAN .....	2
<b>BAB II. TEORI .....</b>	<b>4</b>
2.1. PROSES PENARIKAN DALAM .....	4
2.1.1. Mekanika pada proses Penarikan dalam .....	4
2.1.1.1. <i>Tegangan di dalam proses penarikan dalam.....</i>	<i>5</i>

2.1.1.2. Efek pengerasan regang .....	6
2.1.1.3. Efek Friksi.....	7
2.1.2. Parameter pada Proses Penarikan dalam.....	9
2.1.2.1. Karakter Material .....	9
2.1.2.2. Perbandingan diameter "blank" dgn diameter pemukul....	12
2.1.2.3. Ketebalan material .....	12
2.1.2.4. Radius sudut pemukul dan dies .....	13
2.1.2.5. Jarak antara pemukul dengan dies.....	14
2.1.2.6. Kecepatan proses .....	14
2.1.2.7. Gaya "blankholder" .....	14
2.1.2.8. Tribologi .....	15
2.1.2.9. Rekayasa Permukaan .....	15
<b>2.2. MATERIAL UNTUK PENARIKAN DALAM.....</b>	
2.2.1. Karakterisasi Material .....	15
2.2.1.1. Kekuatan Tarik .....	15
2.2.1.2. Kurva tegangan regangan rekayasa .....	17
2.2.1.3. Kurva tegangan regangan sejati.....	17
2.2.1.4. Anisotropi .....	19
2.2.1.5. Sensitifitas kecepatan .....	20
2.2.2. Lembaran baja terlapis .....	20
2.2.2.1. Metode Pelapisan.....	21
2.2.2.2. Proses Celup panas Seng ( Zinc Hot Dip Galvanized ).....	22

2.2.2.3. <i>Proses Pelapisan Elektro Seng ( Zinc Electroplating )</i> .....	23
2.2.2.4. <i>Proses Pelapisan Elektro Timah Putih</i> .....	24
2.2.2.5. <i>Pengaruh proses pelapisan terhadap mampu bentuk lembaran baja</i> .....	24
2.3. <b>TRIBOLOGI</b> .....	25
2.3.1. <b>Dasar dasar Tribologi</b> .....	26
2.3.1.1. <i>Friksi</i> .....	26
2.3.1.2. <i>Wear ( keausan )</i> .....	27
2.3.1.3. <i>Pelumas ( lubrikasi )</i> .....	29
2.3.2. <b>Minyak Pelumas ( lubricant oil )</b> .....	30
2.3.2.1. <i>Sifat sifat fisika dan kimia dari minyak pelumas</i> .....	31
2.3.2.2. <i>Zat zat additif</i> .....	35
2.3.3. <b>Tribologi pada Proses Penarikan dalam</b> .....	43
2.3.4. <b>Rekayasa Permukaan ( surface engineering )</b> .....	43
2.3.3.1. <i>Aplikasi Rekayasa Permukaan pada Penarikan dalam</i> .....	44
<b>BAB III. METODE PENELITIAN</b> .....	47
3.1. <b>DIAGRAM ALIR PENELITIAN</b> .....	47
3.2. <b>BAHAN BAHAN PENELITIAN</b> .....	47
3.3. <b>PERALATAN PENELITIAN</b> .....	48
3.4. <b>PROSEDUR PENELITIAN</b> .....	48
3.4.1. <b>Uji Tarik</b> .....	48
3.4.2. <b>Uji metalografi ( termasuk untuk uji kekerasan mikro )</b> .....	49

3.4.2.1. <i>Persiapan sampel uji</i> .....	49
3.4.2.2. <i>Metode Pengujian</i> .....	50
3.4.2.3. <i>Prosedur Pengujian</i> .....	50
3.4.3. Uji Scanning Electron Microscope .....	50
3.4.3.1. <i>Persiapan sampel uji</i> .....	50
3.4.3.2. <i>Metode Pengujian</i> .....	51
3.4.3.3. <i>Prosedur Pengujian</i> .....	51
3.4.4. Uji kekerasan mikro .....	51
3.4.4.1. <i>Persiapan sampel uji</i> .....	51
3.4.4.2. <i>Metode Pengujian</i> .....	51
3.4.4.3. <i>Prosedur Pengujian</i> .....	52
3.4.5. Uji kekasaran ( arah 0 dan 90 ).....	52
3.4.5.1. <i>Persiapan sampel uji</i> .....	52
3.4.5.2. <i>Metode Pengujian</i> .....	52
3.4.5.2. <i>Prosedur Pengujian</i> .....	53
3.4.6. Simulasi penarikan dalam .....	53
3.4.6.1. <i>Persiapan sampel uji</i> .....	53
3.4.6.2. <i>Metode Pengujian</i> .....	54
3.4.6.3. <i>Prosedur Pengujian</i> .....	54
<b>BAB IV. HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>56</b>
<b>4.1. DATA HASIL PENGUJIAN</b> .....	<b>56</b>
4.1.1. Uji tarik.....	56

4.1.2 Uji metalografi .....	57
4.1.3. Uji Scanning Electron Microscope (SEM) .....	57
4.1.3.1. <i>Ketebalan lapisan logam</i> .....	57
4.1.3.2. <i>Komposisi kimia logam pelapis dan area sekitarnya</i> .....	58
4.1.4. Uji kekerasan mikro .....	60
4.1.5. Uji kekasaran .....	60
4.1.6. Simulasi penarikan dalam .....	61
<b>4.2. PEMBAHASAN HASIL PENGUIJIAN</b> .....	<b>61</b>
4.2.1. Karakterisasi material .....	61
4.2.1.1. <i>Hasil Metalografi</i> .....	61
4.2.1.2. <i>Hasil Uji Tarik</i> .....	63
4.2.1.3. <i>Hasil analisa SEM</i> .....	65
4.2.1.4. <i>Uji kekerasan mikro</i> .....	68
4.2.2. Uji kekasaran.....	68
4.2.3. Simulasi penarikan dalam.....	69
4.2.4. Pengamatan secara visual pengujian skala pabrik.....	71
<b>BAB V. KESIMPULAN</b> .....	<b>73</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>74</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>75</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1 Proses penarikan dalam sederhana.....	4
Gambar 2.2 Gaya gaya yang bekerja dalam proses penarikan dalam.....	5
Gambar 2.3 Tegangan tegangan dalam proses deep drawing menurut von Mises.....	6
Gambar 2.4 Bagian dari “blank” dalam kondisi tanpa friksi.....	7
Gambar 2.5 Tegangan vs ketinggian proses penarikan dalam.....	7
Gambar 2.6 Tegangan tegangan pada radius die.....	8
Gambar 2.7 Tegangan tegangan pada blankholder .....	8
Gambar 2.8 Pengaruh besaran radius die terhadap kekuatan pemukul.....	13
Gambar 2.9 Sampel tarik untuk material berbentuk plat.....	16
Gambar 2.10 Grafik hasil uji tarik beban ( <i>load</i> ) vs regangan).....	16
Gambar 2.11 Kurva tegangan regangan dalam skala logaritma.....	18
Gambar 2.12 Diagram fasa biner antara Fe-Zn.....	22
Gambar 2.13 Sketsa benda bergeser di atas bidang permukaan.....	26
Gambar 2.14 Mekanisme keausan mikromekanik.....	27
Gambar 2.15 Mekanisme pelumasan antara dua permukaan.....	29
Gambar 2.16 Mekanisme pelumasan batas ( <i>boundary lubrication</i> ).....	29
Gambar 2.17 Konsep tentang viskositas minyak.....	33

## DAFTAR TABEL

Hal

Tabel 2.1	Fasa fasa paduan antara Fe-Zn.....	22
Tabel 4.1	Hasil uji tarik ( <i>uniaxial</i> ).....	56
Tabel 4.2	Hasil perhitungan koefisien pengerasan regang.....	56
Tabel 4.3	Hasil perhitungan koefisien anisotropi.....	57
Tabel 4.4	Hasil Pengukuran ketebalan lapisan.....	58
Tabel 4.5	Hasil pengujian kekerasan mikro terhadap material dasar....	60
Tabel 4.6	Hasil pengujian kekasaran material plat.....	60
Tabel 4.7	Hasil pengukuran kekasaran dies simulasi.....	61
Tabel 4.8	Hasil analisa terhadap jenis pelumas.....	69

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Perhitungan tegangan tarik dan regangan
Lampiran 2	Perhitungan koefisien pengerasan regang, $n$
Lampiran 3	Perhitungan koefisien anisotropi
Lampiran 4	Foto foto hasil metalografi
Lampiran 5	Hasil pengujian EDAX terhadap lapisan logam
Lampiran 6	Komposisi kimia logam dan logam pelapis
Lampiran 7	Dimensi logam pelapis hasil SEM
Lampiran 8	Foto foto hasil simulasi <i>deep drawing</i>
Lampiran 9	Hasil Analisa Minyak Pelumas
Lampiran 10	<i>Mill Sheet Material</i>
Lampiran 11	Foto replika kekasaran <i>dies</i>
Lampiran 12	Foto permukaan sampel uji simulasi <i>deep drawing</i>



# BAB I.

## PENDAHULUAN

### 1.1. LATAR BELAKANG

PT XXX bergerak dibidang pabrikan komponen otomotif, yaitu filter otomotif, berdasarkan fungsinya, jenis filter yang diproduksi adalah filter minyak pelumas, filter bahan bakar dan filter udara, sedangkan berdasarkan tipenya jenis filter terbagi atas *spin on*, elemen dan *cartridge*.

Filter merupakan hasil perakitan beberapa komponen pendukungnya, salah satu komponen untuk membuat filter adalah rumah filter ( *body* ). Rumah filter diproduksi melalui proses penarikan dalam ( *deep drawing* ) terhadap baja lembaran, yang dilanjutkan dengan proses pengecatan, guna melindungi filter dari serangan korosi dan untuk tujuan estetika produk

### 1.2. RUMUSAN MASALAH

Untuk melayani konsumen luar negeri terdapat permintaan bahwa bahan baku plat baja harus dilapis sehingga tahan terhadap korosi, karena terjadi jeda waktu yang cukup lama antara waktu produksi hingga komponen sampai ke tangan pemakai.

Pada awalnya digunakan material baja dengan spesifikasi SPTE ( lembaran baja lapis timah putih secara elektrolitik ), namun dalam rangka menurunkan biaya produksi, material SPTE diganti dengan SECD ( lembaran baja lapis seng secara elektrolitik )

Setelah pergantian tersebut, terjadi masalah dimana terjadi erosi terhadap lapisan sehingga terdapat endapan pada permukaan produk yang harus dibersihkan secara manual, sehingga dibutuhkan kerja tambahan.

Universitas Indonesia

Beberapa aspek yang dapat menyebabkan terjadinya erosi tersebut adalah :

Jenis pelumas, dimana jenis pelumas yang digunakan saat ini belum mampu memberikan efek pelumasan yang cukup untuk proses tersebut

Aspek dies, dimana dies yang digunakan saat ini sudah tergores sehingga kasar, terdapat sisa-sisa logam yang menempel dipermukaan dies, atau jarak (clearance) antara dies dengan pemukul terlalu kecil.

Aspek proses, adanya kenaikan temperatur dan kecepatan proses yang terlampaui tinggi.

### **1.3. TUJUAN PENELITIAN**

Menganalisa penyebab masalah erosi dengan meneliti karakter material yang digunakan ( logam terlapis, logam pelapis serta ikatan di antara keduanya ), serta pengaruh pelumas terhadap sifat-sifat tribologi dari permukaan bahan baku.

### **1.4. KEGUNAAN PENELITIAN**

Hasil penelitian dapat digunakan untuk memperbaiki proses produksi guna menghilangkan cacat produksi.

### **1.5. RUANG LINGKUP DAN KETERBATASAN PENELITIAN**

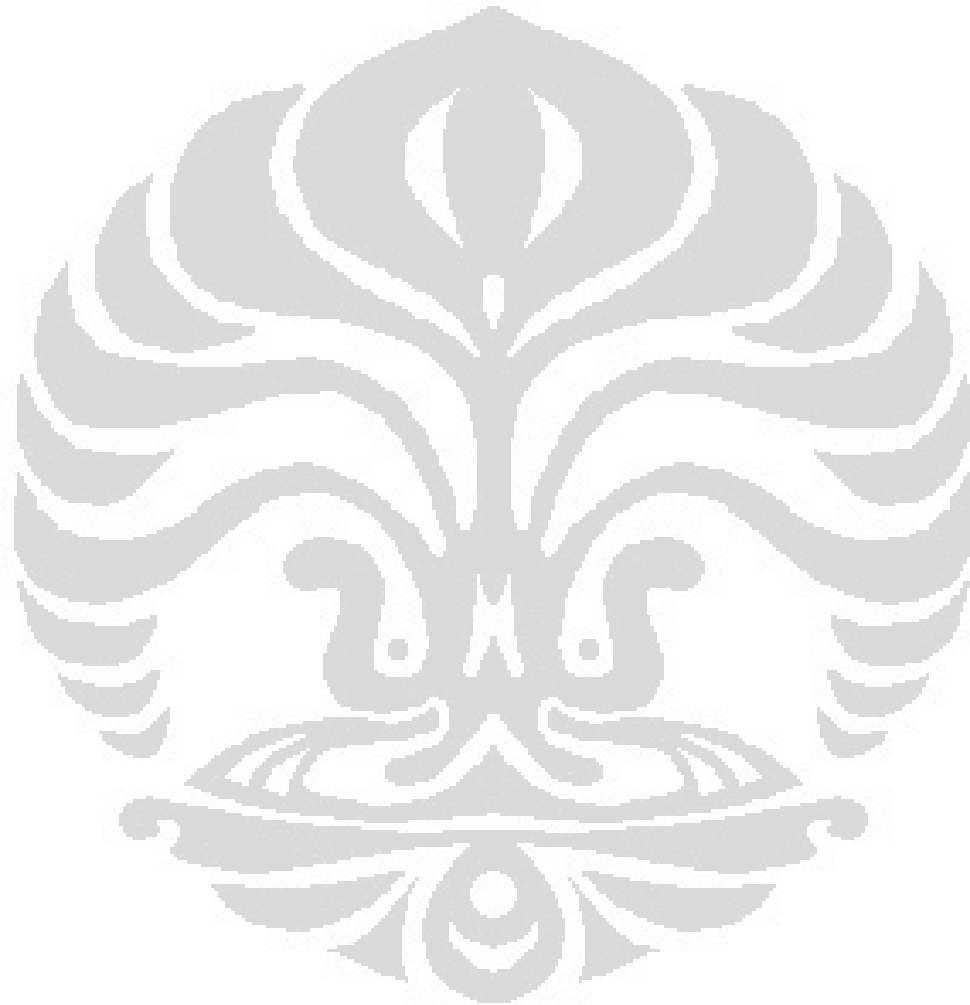
Berdasarkan hipotesa terdapat berbagai kemungkinan yang dapat menyebabkan terjadinya erosi pada lapisan permukaan logam pelapis.

Tetapi pada penelitian ini akan dibatasi pada parameter bahan baku yaitu bahan baku yang sedang digunakan saat ini dan parameter jenis pelumas, yaitu pelumas yg sedang digunakan saat ini (minyak goreng ) di tambah dengan beberapa jenis pelumas lainnya.

Universitas Indonesia

Adapun material yang diuji adalah SPTE ( bahan baku awai ), SECD ( bahan baku pengganti ) dan SGCC sebagai bahan baku pembanding.

Sedangkan parameter pelumasan adalah minyak sayur Bimoli, minyak formula merk Neoform ( PT YYY ), minyak formulasi merk Iloform ( ex ZZZ ), tanpa pelumas ( kering ) dan kertas.



Universitas Indonesia

## BAB II.

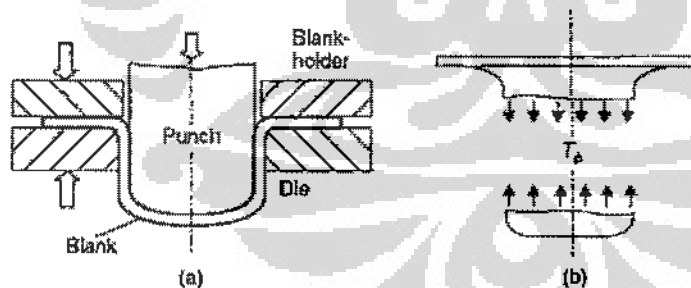
### TEORI

#### 2.1. PROSES PENARIKAN DALAM

Penarikan dalam merupakan salah satu proses pembentukan logam lembaran, dimana lembaran logam ( biasanya disebut "Blank" ) diletakan di atas sebuah *dies* lalu sebuah pemukul menekan lembaran logam tersebut hingga memenuhi rongga *dies* tersebut. Hasil dari proses ini sebuah produk yang sesuai dengan bentuk *dies* dan pemukul yang digunakan, biasanya berbentuk sebuah mangkuk atau cup.

##### 2.1.1. Mekanika pada proses Penarikan dalam

Gambar 1 menjelaskan sebuah proses penarikan dalam untuk membuat sebuah produk yang berbentuk mangkuk. Dalam sebuah proses penarikan dalam terlihat ada 2 kejadian yang saling berhubungan, yaitu perentangan ( *stretching* ) dan penarikan ( *drawing* ).

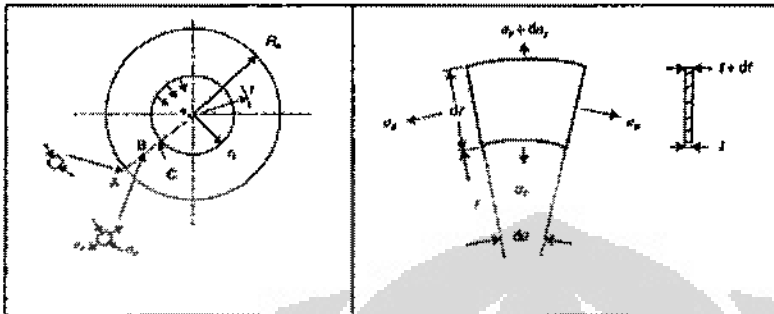


Gambar 2.1 Proses penarikan dalam sederhana <sup>(1)</sup>

Kedua operasi tersebut dihubungkan oleh dinding silindris yang tidak mengalami deformasi tetapi menyalurkan gaya di antara kedua area tersebut.

### 2.1.1.1. Tegangan di dalam proses penarikan dalam <sup>[1]</sup>

Gambar 2.2 memperlihatkan sebuah “blank” yang mengalami proses penarikan dalam, dengan diameter  $R_0$  dan diameter pemukul  $r_1$ .



Gambar 2.2 Gaya gaya yang bekerja dalam proses penarikan dalam.

Bila diamati sebagian kecil dari sistim tersebut maka terjadi persamaan keseimbangan sbb:

$$(\sigma_r + d\sigma_r) (t + dt) (r + dr) d\theta = \sigma_r t r d\theta + \sigma_{\theta} t dr d\theta \quad (2.1)$$

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r}{r} \frac{dr}{dr} - \frac{\sigma_{\theta} - \sigma_r}{r} = 0 \quad (2.2)$$

Pada area terluar, yaitu titik A,  $\sigma_r = 0$ , yang ada hanyalah tegangan melingkar yang bersifat negatif (kompresi), dimana  $\sigma_{\theta} = -\sigma_r$ ,  $\sigma_r$  adalah tegangan alir (current flow stress).

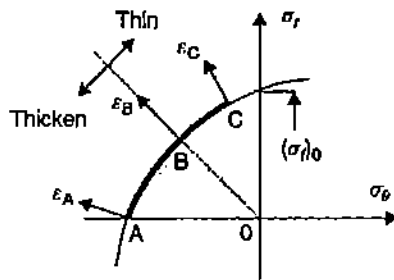
Pada area tengah, titik B, terjadi tegangan radial dan tegangan melingkar. Sedangkan pada area terdalam ( $r_1$ ), titik C, tegangan radial mencapai nilai maksimum, yaitu sebesar tegangan alir,  $\sigma_f$ .

Pada titik A, ketebalan bahan akan bertambah karena terjadinya deformasi, pada titik B kondisinya stabil, sedangkan pada titik C terjadi penipisan bahan.

Secara keseluruhan, dalam sebuah proses penarikan dalam total area bahan awal tidak berubah banyak, hal ini berguna untuk menentukan ukuran “blank”.

Gambar 2.3 memperlihatkan tegangan tegangan yang terjadi pada ketiga area tersebut menurut *Von Mises*.

Universitas Indonesia



Gambar 2.3 Tegangan tegangan dalam proses deep drawing menurut *von Mises*

$$\sigma_{\theta} - \sigma_r = - (\sigma_f)_0 \quad (2.3)$$

$(\sigma_f)_0$  = tegangan alir awal, dimana ketebalan awal masih sama yaitu  $t = t_0$

$\sigma_r = 0$ , pada radius  $R_0$  dan

$\sigma_r = \sigma_{ri}$  pada radius dalam  $r_i$  maka diperoleh persamaan

$$\sigma_{ri} = - (\sigma_f)_0 \ln \frac{r_i}{R_0} \quad (2.4)$$

$$\sigma_{\theta_i} = - \{ (\sigma_f)_0 - \sigma_{ri} \} \quad (2.5)$$

Bila efek pengerasan regang diabaikan, tegangan radial terbesar terjadi pada saat awal dan akan turun setelah jari jari luar berkurang.

Tegangan terbesar pada dinding yang dapat terjadi, dimana material masih dapat bertahan, berdasarkan TRESCA adalah  $(\sigma_f)_0$

Bila  $\sigma_{ri} = (\sigma_f)_0$  maka  $LDR = R_0/r_i = e = 2.72$

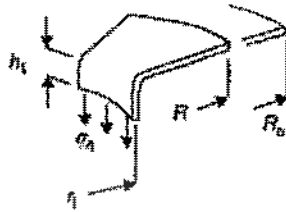
### 2.1.1.2. Efek pengerasan regang<sup>[1]</sup>

Karena pengerasan regang, selama proses penarikan dalam tegangan proses akan naik walaupun diameter luar,  $R_0$ , turun, gambar 2.4, besarnya tegangan ini tidak sama/tetap. Dengan mengabaikan ketidak ragaman ketebalan, kita asumsikan tegangan proses sebesar  $(\sigma_f)_{nv}$ .

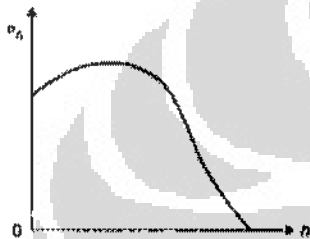
Universitas Indonesia

Maka

$$\sigma_r = (\sigma_T)_{av} \ln \frac{R}{r_i} \quad (2.6)$$



Gambar 2.4 Bagian dari "blank" dalam kondisi tanpa friksi



Gambar 2.5 Tegangan vs ketinggian proses penarikan dalam

Selama proses penarikan dalam terjadi 2 faktor yang mempengaruhi tegangan, yaitu pengerasan regang akan meningkatkan tegangan dan penurunan diameter "blank" yang akan menurunkan tegangan

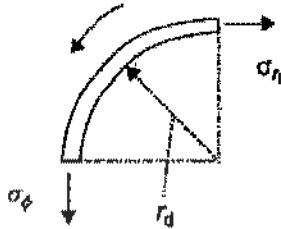
Biasanya tegangan akan naik terlebih dahulu lalu akan turun setelah melewati puncaknya, seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.5.

### 2.1.1.3. Efek Friksi <sup>(1)</sup>

Pada proses penarikan dalam friksi akan terjadi pada 2 daerah yaitu pada radius die dan blankholder.

### Friksi pada radius *dies*

Gambar 2.6 memperlihatkan tegangan tegangan yang terjadi pada radius *dies*, dimana besar tegangan dinding adalah :



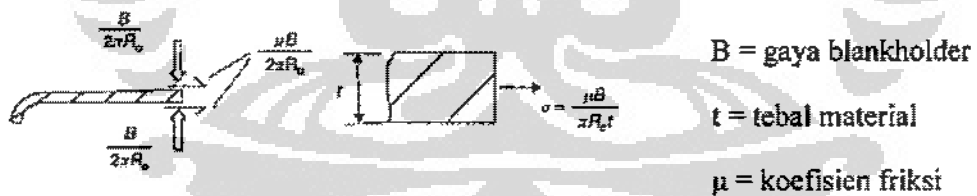
Gambar 2.6 Tegangan tegangan pada radius *dies*

$$\frac{d\sigma_\phi}{\sigma_\phi} = \mu d\phi \quad (2.7)$$

Setelah di integralkan menjadi

$$\sigma_\phi = \sigma_r \exp \mu \frac{\pi}{2} \quad (2.8)$$

### Friksi pada *blankholder*



Gambar 2.7 Tegangan tegangan pada *blankholder*

Gambar 2.7 memperlihatkan tegangan tegangan yang terjadi antara *blankholder* dan benda kerja, besarnya tegangan radial pada  $r = R_o$  adalah

$$(\sigma_r)_{r=R_o} = \frac{\mu B}{\pi R_o t} \quad (2.9)$$



Keduanya, pengerasan regang dan friksi akan meningkatkan tegangan proses, bila digabungkan akan menjadi

$$\sigma_r = (\sigma_f)_{av.} \ln \frac{R_o}{r_i} + \frac{\mu B}{\pi R_o t} \quad (2.10)$$

$$\sigma_\phi = \frac{1}{\eta} \left\{ (\sigma_f)_{av.} \ln \frac{R}{r_i} + \frac{\mu B}{\pi R t} \right\} \exp \frac{\mu \pi}{2} \quad (2.11)$$

$\eta$  = faktor efisiensi yang diberikan untuk memperhitungkan hal hal lain seperti energi yang dibebaskan selama proses bending unbending pada radius *dies*.

### 2.1.2. Parameter pada Proses Penarikan dalam

Selama proses penarikan dalam, banyak aspek aspek yang bekerja dan saling berinteraksi satu dengan lainnya, untuk menghasilkan suatu proses penarikan dalam yang baik, maka seorang insinyur disain harus memperhatikan aspek aspek tersebut dengan cermat, adapun aspek aspek tersebut adalah :

#### 2.1.2.1. Karakter Material<sup>[1]</sup>

Pada saat proses penarikan dalam, material mengalami deformasi plastis, sehingga untuk menghasilkan produk yang baik beberapa karakter material harus diperhatikan. Berikut beberapa karakter material yang berpengaruh terhadap proses pembentukan logam.

Bentuk kurva tegangan regangan sejati

Aspek yang penting dari hasil pengujian tarik adalah pengerasan regang, bila indek pengerasan regang tinggi maka regangan akan terdistribusi lebih merata dan material akan lebih tahan terhadap robekan (*tearing*).

Terdapat beberapa indikator pengerasan regang, salah satunya adalah indek pengerasan regang,  $n$ , dimana metode ini dianggap yang paling presisi.

Aspek lain adalah kekuatan luluh (*yield strength*), kekuatan luluh berkaitan dengan kekuatan produk, khususnya bila sebuah konstruksi ringan dibutuhkan, semakin tinggi kekuatan luluh, semakin efisien pemakaian material, namun semakin sulit pula dibentuk

Modulus elastisitas juga mempengaruhi kinerja produk, modulus yang tinggi akan menghasilkan produk yang kaku dan hal ini merupakan sebuah keunggulan dari produk tersebut.

Dalam proses pembentukkan, modulus akan berpengaruh terhadap "*springback*", elastisitas yang rendah akan menghasilkan "*springback*" yang lebih besar dan biasanya lebih sulit untuk-mengontrol dimensi akhir dari suatu produk.

#### Anisotropi

Jika planar anisotropi ( $\Delta R$ ) besar, baik positif maupun negatif, orientasi bahan yang berkaitan dengan *dies* atau produk yang akan dibentuk menjadi sangat penting, pada produk produk yang berbentuk lingkaran, pembentukkan asimetris dan earing akan terobservasi.

Jika normal anisotropi ratio,  $R$ , lebih besar dari 1, hal ini mengindikasikan bahwa pada saat pengujian tarik, regangan arah lebar lebih besar dari regangan arah tebal, ini berkaitan dengan kekuatan yang lebih besar pada arah tebal dan umumnya ketahanan terhadap penipisan menjadi lebih baik.

Normal anisotropi,  $R$ , juga mempunyai banyak efek yang tidak kentara. Pada produk produk dengan proses penarikan dalam, nilai  $R$  yang tinggi akan memungkinkan pembentukkan produk produk penarikan dalam yang panjang. Pada produk yang pendek atau landai, seperti bodi mobil, nilai  $R$  yang lebih tinggi juga mengurangi kemungkinan terjadi efek mengkerut.

## Perpatahan

Sekalipun pada bahan yang ulet, proses penarikan dapat diakhiri oleh perpatahan tiba tiba, karakter perpatahan tidak ditentukan oleh total mulur, tetapi diindikasikan oleh area penampang permukaan patahan setelah sampel mengecil (*necking*) dan putus.

## Homogenitas

Di dalam dunia industri, tidak pernah diperoleh bahan logam yang homogen secara sempurna, atau bebas dari cacat. Cacat bisa disebabkan oleh variasi komposisi kimia, cacat kritical, cacat titik seperti inklusi, hal ini sulit untuk dikarakterisasikan secara presisi.

Ketidak homogenan tidak dapat diindikasi hanya dengan pengujian tarik tunggal walaupun dengan pengujian yang berulang ulang, volume material yang diuji terlalu kecil untuk memenuhi persyaratan untuk identifikasi.

## Efek permukaan

Kekasaran permukaan dan interaksinya dengan bahan pelumas dan permukaan perkakas akan mempengaruhi kinerja pada proses pembentukan produk. Tetapi hal tersebut tidak dapat diukur dengan pengujian tarik, harus dilakukan pengujian khusus untuk mengetahui pengaruh sifat sifat permukaan.

Abdul karim melakukan penelitian tentang pengaruh pelumas terhadap mampu bentuk dari baja galvanis perforasi, dikatakan bahwa adanya bahan pelumas dapat memperbaiki kemampu bentuk (*deep drawability*) material dengan meningkatnya nilai LDR nya.<sup>[2]</sup>

## Kerusakan

Selama terjadi deformasi plastis, bahan mengalami kerusakan pada skala mikro, kecepatan dimana pertumbuhan kerusakan ini terjadi bervariasi dari material yang satu dengan material lainnya

## Sensitifitas kecepatan

Sensitifitas kecepatan pada sebagian besar jenis bahan plat pada temperatur kamar adalah kecil, baja sedikit di atas titik 0, aluminium berada pada titik 0 atau sedikit di bawahnya.

Sensitifitas kecepatan yang positif, biasanya memperbaiki sifat pembentukan dan mempunyai efek yang sama terhadap pengerasan regang.

### 2.1.2.2. Perbandingan antara diameter "blank" dgn diameter pemukul

LDR ( *limiting drawing ratio* ) adalah perbandingan antara diameter "blank" terbesar yang dapat di penarikan dalam ke dalam diameter pemukul tanpa terjadi kegagalan.

$$LDR = D_s/D_p \quad (2.12)$$

Dimana  $D_s$  = diameter "blank"

$D_p$  = diameter pemukul

### 2.1.2.3. Ketebalan material <sup>[3]</sup>

Ketebalan material berkaitan erat dengan besarnya jarak ( *clearance* ) antara *dies* dan pemukul, selain itu ketebalan material juga berkaitan dengan kekuatan material sehingga akan mempengaruhi besarnya gaya yang dibutuhkan untuk mendeformasi material tersebut.

Universitas Indonesia

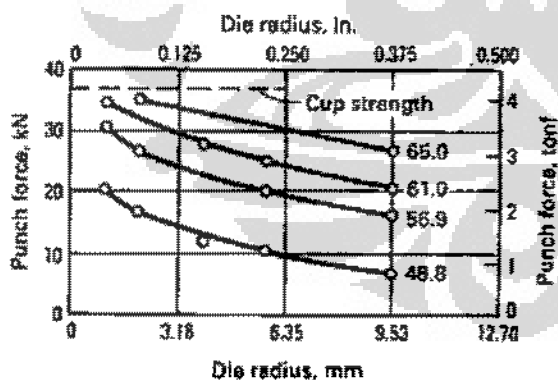
#### 2.1.2.4. Radius sudut pemukul dan dies<sup>[3]</sup>

Ketika “*blank*” ditekan oleh pemukul pada saat proses penarikan dimulai, ia akan menyelimuti area radius pemukul dan *dies*, tegangan dan regangan yang terjadi pada benda kerja mirip dengan yang terjadi pada proses pembengkokan, dengan penambahan terjadinya peregangan (*stretching*). Setelah terbentuk, lengkungan hasil bending akan memiliki radius yang sama dengan radius pemukul dan *dies*.

Gaya yang dibutuhkan untuk proses drawing meliputi :

- Gaya yang dibutuhkan untuk proses *bending unbending*
- Gaya yang dibutuhkan untuk melawan gaya friksi pada *blankholder* dan radius *dies*
- Gaya yang dibutuhkan gaya tekan melingkar dan peregangan radial

Radius pemukul dan *dies* dan prosentasi reduksi akan menentukan beban saat dimana bagian bawah dari dinding mengalami kerusakan (robek). Proses *drawing* semakin mudah dengan naiknya radius pemukul dan *dies*, gambar 2.8 memperlihatkan gaya yang dibutuhkan untuk proses *drawing* mengalami penurunan dengan meningkatnya radius *dies*.



Gambar 2.8 Pengaruh besaran radius *dies* terhadap kekuatan pemukul<sup>[3]</sup>

### 2.1.2.5. Jarak antara pemukul dengan dies <sup>[3]</sup>

Penentuan jarak ( *clearance* ) antara pemukul dengan *dies* tergantung pada kebutuhan dari komponen yang akan dibuat. Karena terjadi penurunan dan kemudian kenaikan ketebalan secara bertahap, maka dibutuhkan jarak sebesar 7 – 15 % ( setiap 1 sisi ) dari ketebalan material guna mencegah terjadi efek pemolesan pada dinding benda kerja. Gaya untuk drawing berada pada posisi minimum bilamana jarak antara pemukul dengan *dies* sebesar 15 - 20% dari ketebalan material (setiap sisinya ).

### 2.1.2.6. Kecepatan proses <sup>[3]</sup>

Kecepatan proses biasanya diukur dalam satuan panjang per satuan waktu, meter/menit. Dalam kondisi ideal, untuk baja karbon rendah, adalah sebesar 23 m/menit. Tetapi biasanya berada pada kisaran 6 hingga 17 m/menit untuk aksi tunggal dan 11-15 m/menit untuk aksi ganda.

### 2.1.2.7. Gaya "blankholder"

Gaya blank holder harus optimal, artinya tidak boleh lebih atau kurang, sebab bila kurang maka benda kerja akan bergelombang sedangkan bila berlebih maka benda kerja akan tertahan dan karena ditarik oleh gaya dari pemukul maka akan terjadi deformasi yang tidak terkontrol sehingga berefek terjadinya penipisan setempat dan berakhir dengan robeknya benda kerja.

Besarnya gaya *blankholder* yang dibutuhkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut

$$B = \pi/4.( D^2 - d^2 ). p \quad [4] \quad (2.13)$$

B = gaya *blankholder*

D = diameter "blank"

Universitas Indonesia

$d$  = diameter pemukul

$p$  = *specific blankholder pressure* ( untuk baja bernilai  $2.5 \text{ N/mm}^2$  )

#### 2.1.2.8. Tribologi

Tribologi memegang peranan penting dalam proses penarikan dalam karena didalam proses penarikan dalam terjadi gesekan antara material dan peralatan perkakas yang berpotensi menimbulkan keausan baik pada material maupun pada peralatan kerja.

#### 2.1.2.9. Rekayasa Permukaan

Untuk meningkatkan kinerja penarikan dalam perlu dilakukan perbaikan melalui rekayasa permukaan. Rekayasa permukaan dilakukan baik pada material maupun peralatan perkakasnya. Pada subbab Tribologi akan didiskusikan lagi mengenai friksi, *wear* dan pelumas lebih detail.

## 2.2. MATERIAL UNTUK PENARIKAN DALAM

### 2.2.1. Karakterisasi Material

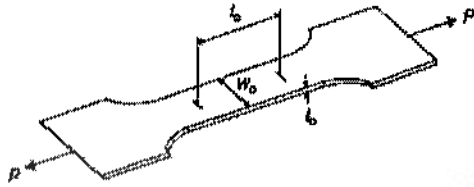
Karakter material adalah sifat sifat dasar yang dimiliki oleh suatu material yang tidak dipengaruhi oleh kondisi.

#### 2.2.1.1. Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik suatu material adalah kemampuan material tersebut untuk menahan beban tarik yang diberikan kepadanya

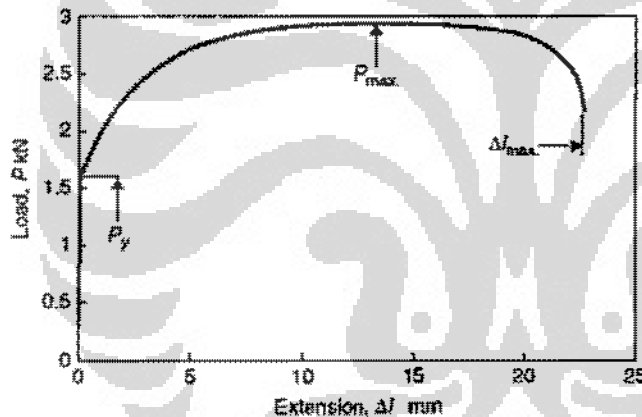
Universitas Indonesia

Untuk mengetahui kekuatan tarik suatu material, dilakukan dengan melakukan pengujian yang disebut sebagai pengujian tarik, gambar 2.9 memperlihatkan contoh sampel tarik untuk material berbentuk plat.



Gambar 2.9 Sampel tarik untuk material berbentuk plat <sup>(1)</sup>

Bila nilai beban tarik  $P$  dan regangan ( $\Delta l$ ) dari suatu pengujian tarik diplot ke dalam sebuah diagram maka diperoleh sebuah diagram seperti diperlihatkan pada gambar 2.10



Gambar 2.10 Grafik hasil uji tarik beban (*load*) vs regangan (*extension*) <sup>(1)</sup>

Pada prinsipnya diagram tersebut terbagi atas 2 area besar, yaitu area elastis dan area plastis. Area elastis adalah area dimana apabila beban yang diberikan kepada sampel dihilangkan maka sampel akan kembali ke bentuk awal, sedangkan pada area plastis, deformasi yang terjadi bersifat tetap.

Batas antara area elastis dengan plastis disebut titik luluh (*yield point*), maka bebannya disebut sebagai beban luluh  $P_y$ .



Setelah melewati titik luluh, deformasi terjadi secara merata dan bebanpun meningkat. Peningkatan ini disebabkan oleh pengerasan regang (strain hardening), dimana dislokasi dislokasi bergerak dan saling bertemu, menumpuk, sehingga makin sulit untuk bergerak lagi, secara teknis material akan semakin keras.

Pada area plastis, setelah melewati titik luluh, sampel makin memanjang sedangkan penampang permukaan makin mengecil, kecepatan penurunan penampang permukaan diimbangi oleh kenaikan kekuatan material karena pengerasan regang, hingga beban terus meningkat dan mencapai puncaknya di  $P_{max}$ . Setelah itu kondisi sudah tidak berimbang lagi hingga akhirnya sampel putus.

#### 2.2.1.2. Kurva tegangan regangan rekayasa (engineering stress strain curve)

Tegangan rekayasa didefinisikan sebagai

$$\sigma_{eng.} = \frac{P}{A_0} \quad (2.14)$$

Regangan rekayasa didefinisikan sebagai

$$e_{eng.} = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100\% \quad (2.15)$$

Tegangan Rekayasa maksimum adalah

$$TS = \frac{P_{max.}}{A_0} \quad (2.16)$$

#### 2.2.1.3. Kurva tegangan regangan sejati

Kurva rekayasa memiliki kelemahan yaitu tidak cocok untuk digunakan dalam menganalisa sebuah proses pembentukan bahan karena kurva tersebut dibuatkan

Universitas Indonesia

berdasarkan dimensi awal sampel, sedangkan kenyataan sampel berubah dimensinya.

Untuk mengatasi hal tersebut maka dibuat kurva tegangan regangan sejati.

Tegangan sejati

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.17)$$

Tegangan sejati dapat ditentukan dari kurva beban – regangan pada area antara titik luluh hingga beban puncak.

Dengan asumsi tidak ada perubahan volume maka

$$A_0 l_0 = A l \quad (2.18)$$

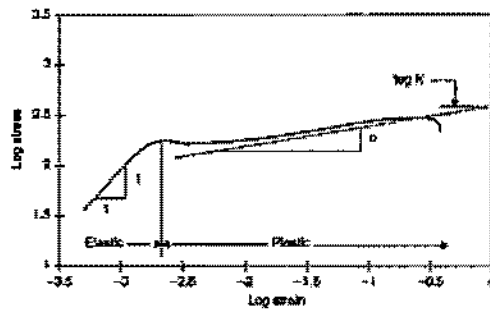
$$\sigma = \frac{P l}{A_0 l_0} \quad (2.19)$$

Selama deformasi, sampel mengalami penambahan panjang sebesar  $dl$  maka kenaikan regangan adalah

$$d\varepsilon = \frac{dl}{l} \quad (2.20)$$

$$\varepsilon = \int d\varepsilon = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln \frac{l}{l_0} \quad (2.21)$$

Bila tegangan regangan sejati diplot ke dalam kurva dengan skala logaritma maka diperoleh kurva seperti gambar 2.11



Gambar 2.11 Kurva tegangan regangan dalam skala logaritma <sup>[1]</sup>

Pada area elastis berlaku

$$\sigma = E\varepsilon \text{ or } \log \sigma = \log E + \log \varepsilon \quad (2.22)$$

Pada area plastis berlaku

$$\log \sigma = \log K + n \log \varepsilon \quad (2.23)$$

$n$  disebut sebagai indeks pengerasan regang.

#### 2.2.1.4. Anisotropi

Material yang memiliki sifat sifat yang sama pada berbagai arah disebut sebagai material isotropi tetapi di dalam dunia industri jarang ditemukan material seperti itu. Biasanya terjadi perbedaan sifat pada berbagai arah ( pada material plat dengan pengerjaan canai dingin ), arah  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  dan  $90^\circ$  terhadap arah canai, variasi ini disebut sebagai planar anisotropi.

Pada material yang sifatnya bergantung pada arah, besaran anisotropi dinyatakan sebagai nilai  $R$ , dimana  $R$  adalah perbandingan antara regangan lebar  $\varepsilon_w = \ln(w/w_0)$  dengan  $\varepsilon_t = \ln(t/t_0)$ .

Planar anisotropi

Universitas Indonesia

$$\Delta R = \frac{R_0 + R_{90} - 2R_{45}}{2} \quad (2.24)$$

Normal plastis anisotropi

$$\bar{R} = \frac{R_0 + 2R_{45} + R_{90}}{4} \quad (2.25)$$

#### 2.2.1.5. Sensitivitas kecepatan

$$\sigma = K \varepsilon^n \dot{\varepsilon}^m \quad (2.26)$$

$$m = \frac{\log(P_1/P_2)}{\log(v_1/v_2)} \quad (2.27)$$

$$\dot{\varepsilon} = \frac{v}{L} \quad (2.28)$$

$m$  = sensitivitas kecepatan regang dan  $e$  = kecepatan regang

$P_1$  dan  $v_1$  = Tegangan dan kecepatan awal sedangkan  $P_2$  dan  $v_2$  = tegangan dan kecepatan sesudah

#### 2.2.2. Lembaran baja terlapis

Proses penarikan dalam dapat diaplikasikan pada berbagai jenis lembaran logam untuk menghasilkan produk guna pakai, yang terbanyak digunakan adalah baja dan aluminium.

Baja yang digunakan sebagai material, pada umumnya adalah baja karbon rendah, yang memiliki sifat mampu bentuk yang baik. Untuk meningkatkan kinerja material baja dalam aplikasinya, dapat dilakukan pelapisan dengan material logam lainnya, seperti Zn dan Sn.

Universitas Indonesia

### 2.2.2.1. Metode Pelapisan

Terdapat beberapa metode pelapisan baja dengan logam pelapis, yang paling sering digunakan orang adalah celup panas (*hot dip*) dan elektrolitik.

#### Celup Panas (*Hot Dip*)

Metode ini dilakukan dengan merendam bahan yang akan dilapis ke dalam cairan logam pelapis, lamanya waktu dan frekuensi pencelupan akan berpengaruh terhadap ketebalan dari lapisan.

Berdasarkan cara mencelupnya terdapat 2 pilihan, yaitu sistim berkelanjutan dan sistim "*batch*", masing masing memiliki kelebihan dan kekurangan, pilihan disesuaikan dengan kebutuhan.

Sistim berkelanjutan biasanya dipilih untuk produksi massal dengan bentuk yang sudah tetap seperti lembaran, kawat, pipa, sedangkan sistim "*batch*" sebaliknya, digunakan untuk melapisi benda kerja yang jumlahnya tidak banyak tetapi bentuknya bervariasi.

Pada metode ini pelapisan dilakukan pada temperatur lebur dari bahan pelapis, untuk kasus seng ( titik lebur  $419^{\circ}\text{C}$  ) temperatur operasi berada di kisaran  $450^{\circ}\text{C}$ . Sehingga secara tidak langsung bahan baku baja akan mengalami proses laku panas dan akan mempengaruhi struktur mikro dan karakternya.

#### Elektrolitik ( Electrodeposition )

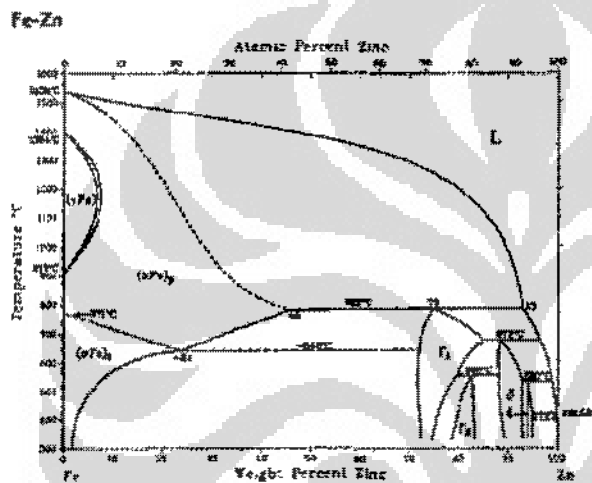
Metode elektrolitik melapisi bahan baku dengan menggunakan prinsip elektrodposisi, dimana ion ion logam pelapis direduksi dan mengendap pada sisi katoda ( benda kerja ).

Universitas Indonesia

Proses pelapisan secara elektrolitik berlangsung pada temperatur kamar, sehingga tidak akan merubah karakter logam dan struktur mikronya.

#### 2.2.2.2. Proses Celup panas Seng (Zinc Hot Dip Galvanized)

Pada proses ini, benda kerja dicelupkan ke dalam cairan Seng selama waktu tertentu pada temperatur sekitar 450 °C. Logam Seng akan melapisi baja, pada perbatasan antara Seng dengan Fe akan terbentuk fasa fasa baru. Guna menjelaskan fasa fasa yang terjadi antara Fe dgn Zn maka dibutuhkan diagram fasa Fe-Zn seperti gambar 2.12.



Gambar 2.12 Diagram fasa biner antara Fe-Zn <sup>[5]</sup>

Gambar 2.12 memperlihatkan diagram fasa biner antara Fe dengan Zn, dimana terlihat bahwa antara Fe dengan Zn dapat membentuk beberapa tipe fasa dengan komposisi kimia yang berbeda, begitu juga dengan struktur kristal dan karakteristiknya dan pada umumnya lapisan yang terjadi bersifat getas.

Table 2.1 Fasa fasa paduan antara Fe-Zn <sup>[5]</sup>

B.P. Burton and P. Perrot, 1992

Phase	Composition, wt% Zn	Pearson symbol	Space group
( $\gamma$ -Fe)	0 to 6.59	cF4	$Fm\bar{3}m$
( $\alpha$ -Fe, $\delta$ -Fe)	0 to 46	cF2	$Im\bar{3}m$
$\Gamma_1$	-72 to -85	cF52	$I\bar{4}3m$
$\Gamma_2$	0.91 to 83	cF408	$F\bar{4}3m$
$\delta$ -FeZn <sub>16</sub>	88.5 to 93.0	AP553	$P6_3mc$
$\zeta$ -FeZn <sub>13</sub> (Zn)	-94 to -94.87 -100	mC28 AP2	$C2/m$ $P6_3/mmc$

Tabel 2.1 berisikan fasa fasa yang terbentuk pada sistim paduan antara Fe dengan Zn beserta komposisi kimia, sistim kristalnya.

Pada proses celup panas Seng, ditambahkan logam Aluminium sekitar 0.1-0.2% ke dalam cairan Zn, adapun fungsi dari Aluminium tersebut adalah meningkatkan keuletan dari lapisan, menjadi perantara (*wetting agent*) antara logam dasar dengan logam pelapis, meningkatkan penampilan lapisan (lebih mengkilap).

### 2.2.2.3. Proses Pelapisan Elektro Seng (Zinc Electroplating) <sup>[6]</sup>

Berdasarkan jenis elektrolitnya, proses pelapis elektro seng terdapat atas 3 sistim yang berbeda, yaitu bak sianida, bak alkalin bukan sianida dan bak asam klorida.

Sistim bak sianida saat ini sudah mulai ditinggalkan karena terdapat masalah dengan lingkungan hidup. Yang lebih berkembang adalah bak asam klorida.

Beberapa kelebihan bak asam klorida :

- lebih mudah mengontrol limbahnya
- dapat diaplikasikan pada besi tuang, malleable iron
- konduktivitas listrik asam klorida lebih baik dibandingkan alkaline sehingga lebih efisien
- kemungkinan terjadinya rapuh hidrogen (*hydrogen embrittlement*) minim.

Universitas Indonesia

Sedangkan kelemahannya adalah :

- elektrolit asam klorida bersifat korosif, sehingga semua peralatan harus tahan korosi
- untuk benda kerja yang kompleks bentuknya, ada kemungkinan asam klorida yang terjebak.

#### *2.2.2.4. Proses Pelapisan Elektro Timah Putih*

Seperti halnya pada proses pelapisan elektro seng, pada pelapisan elektro timah putihpun menggunakan media elektrolit, dimana media elektrolitnya terdiri atas 2 jenis, larutan alkalin (basa ) atau larutan asam. Ion timah putih di dalam larutan alkalin memiliki nilai valensi +4, sedangkan pada larutan elektrolit asam memiliki nilai valensi +2, sehingga pada sistim larutan alkalin membutuhkan arus 2 kali lebih besar untuk mengendapkan 1 gram molekul timah putih bila dibandingkan dengan larutan asam.

#### *2.2.2.5. Pengaruh jenis proses pelapisan terhadap mampu bentuk lembaran baja* [6]

Metode yang digunakan untuk melapisi lembaran baja, akan mempengaruhi struktur mikro dari logam dasarnya, begitu pula dengan sifat sifat mekanisnya.

Pada proses celup panas terdapat 2 pilihan proses tergantung pada sifat akhir yang diperlukan, yaitu temperatur rendah (455 – 480 °C ) dan temperatur tinggi (675 – 870 °C ).

Temperatur rendah dipilih bila baja yang dilapisi adalah baja anil, untuk mendapatkan baja yang lunak, ulet dan mempunyai mampu bentuk yang baik.

Temperatur tinggi dipilih bila proses celup panas digunakan juga sebagai proses anil, karena proses anil dilakukan dalam waktu yang singkat maka sifat mampu

Universitas Indonesia



bentuk yang dihasilkan lebih rendah bila dibandingkan dengan baja yang dilapis pada temperatur rendah.

Baja setelah dilapisi, dapat diperbaiki sifat mampu bentuknya dengan melakukan anil ulang, hal ini tergantung pada kadar karbonnya, untuk baja karbon rendah biasanya dilakukan anil ulang sedangkan untuk *extra low carbon steel* ( baja karbon sangat rendah, 0.01% C ) biasanya tidak membutuhkan anil ulang.

Selama proses celup panas akan terbentuk lapisan getas yang berisi fasa Fe-Zn, adanya lapisan ini akan menurunkan kemampu bentukan baja. Ketebalan lapisan ini tergantung pada siklus temperatur dan waktu, selain itu dipengaruhi pula oleh kandungan logam lain khususnya Pb dan Al di dalam cairan Zn. Penurunan kemampu bentukan baja berbanding lurus dengan ketebalan lapisan tersebut.

Ibnu telah melakukan penelitian mengenai hubungan antara temperatur galvanisasi dengan mampu bentuk material SPCC, diperoleh bahwa semakin tinggi temperatur galvanisasi semakin rendah mampu bentuk material, yang diwakili oleh LDR dan nilai R nya. <sup>[7]</sup>

Tidak ada laporan yang menyatakan terbentuknya lapisan Fe-Zn selama bahan disimpan di dalam gudang pada waktu yang lama, sejumlah lapisan Fe-Zn dapat terbentuk pada proses laku panas sebelum material digunakan, tetapi terlalu kecil untuk mempengaruhi sifat mampu bentuk.

Lapisan logam seng yang lunak akan mencegah terjadinya erosi/galling selama proses pembentukan karena mengurangi kontak langsung antara logam dasar dengan perkakas proses.

Karena proses pelapisan elektro dilakukan pada temperatur kamar, maka sifat sifat baja sebelum dan sesudah proses pelapisan relatif sama.

Karena lapisan perantara antara logam dasar (Fe) dengan logam pelapis (Zn ) yang terjadi selama proses dengan elektro, sangat tipis atau hampir tidak ada, maka sifat mampu bentuknya hampir sama dengan baja tanpa lapisan.

Universitas Indonesia

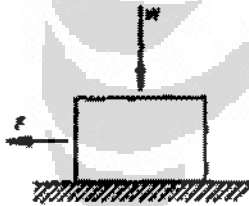
## 2.3. TRIBOLOGI

Tribologi berasal dari kata *Tribos* ( bahasa Yunani ), di dalam bahasa Inggris berarti “*rubbing*”, jadi tribologi berarti kombinasi ilmu pengetahuan dan teknologi tentang interaksi antara permukaan yang bergerak relatif satu dengan lainnya, atau dengan kata lain tribologi adalah disiplin pengetahuan yang berkaitan dengan friksi, keausan dan pelumasan.

### 2.3.1. Dasar dasar Tribologi

#### 2.3.1.1. Friksi

Friksi di antara 2 benda mengikuti 2 hukum yang dikenal sebagai Hukum Amontons, yaitu pertama, friksi antara 2 benda bebas dari luas permukaan kontak, hukum yang kedua adalah besarnya friksi proposional dengan besarnya gaya yang diberikan oleh benda 1 kepada benda 2.



gambar 2.13 Sketsa benda bergeser di atas bidang permukaan

Gambar 2.13. memperlihatkan sebuah benda yang diletakkan pada sebuah permukaan, benda tersebut mempunyai berat  $W$ , bila benda tersebut di tarik dengan gaya  $F$  yang tegak lurus terhadap gaya berat  $W$ , maka pada saat benda tersebut akan bergerak terjadi kesetimbangan gaya yang memenuhi persamaan

$$F = \mu \times W$$

dimana  $\mu$  adalah koefisien friksi

Koefisien friksi bergantung pada material dimana terjadi kontak luncur dan biasanya bervariasi antara 0.003 hingga 3.0 atau lebih.

Koefisien friksi antara 2 benda tidak selalu tetap, bervariasi dengan perubahan beban dan kecepatan luncurnya. Terdapat 2 jenis koefisien friksi, yaitu koefisien friksi statis ( pada saat benda akan bergerak ) dan koefisien friksi dinamis ( pada saat benda sedang bergerak ), biasanya koefisien friksi statis lebih besar daripada koefisien friksi dinamis.

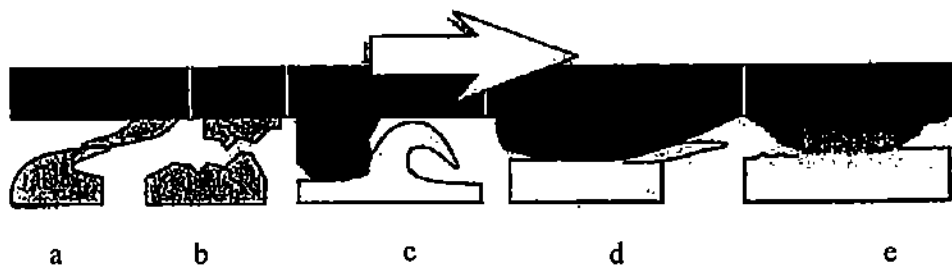
Koefisien friksi dapat diketahui melalui pengujian dengan kondisi tertentu, pemilihan metode pengujian harus memperhatikan beberapa hal, yaitu bentuk, ukuran dan ketersediaan sampel; kondisi permukaan aktual yang akan diuji seperti kebersihan, kekasaran, arah gerakan relatif pengujian, gerakannya berkelanjutan atau mempunyai jeda, besarnya gaya kontak dan kecepatan gerak, menggunakan pelumas atau tidak, berapa kali pengujian akan dilakukan sehingga diperoleh data yang mewakili.

Terdapat berbagai metode pengujian yang telah dikembangkan, baik bersifat dasar atau yang sudah disesuaikan dengan kebutuhan penelitian. Beberapa contoh pengujian yang bersifat dasar adalah bidang miring untuk menguji friksi statis. "Pin on disk", "disk on disk" merupakan contoh pengujian friksi dinamis/luncur.

Gaya friksi terdiri atas 2 gaya yaitu gaya adhesi dan gaya deformasi. Gaya adhesi adalah gaya yang terjadi akibat pertemuan antara kekasaran kedua permukaan sedangkan gaya deformasi adalah gaya yang diperlukan untuk melewati kekasaran permukaan yang lebih keras melalui permukaan yang lebih lunak.

#### 2.3.1.2. Wear ( keausan )

Keausan dapat didefinisikan sebagai kehilangan material dari satu atau dua permukaan yang bergerak relatif satu dgn lainnya karena adanya kontak mekanis.



Gambar 2.14 Mekanisme keausan mikromekanik <sup>[8]</sup>

Gambar 2.14. memperlihatkan mekanisme mikromekanik terjadinya proses keausan antara permukaan satu dengan permukaan lainnya yang bersentuhan.

(a) keausan terjadi karena potongan geser (*shear*) dimana terdapat 2 gaya yang bergerak paralel satu dengan lainnya. (b) keausan patahan (*fracture*) terjadi karena material yang getas atau menjadi getas, patah/pecah menjadi bagian bagian yang kecil. (c) keausan karena potongan (*cutting*) dimana permukaan sepertinya menjadi peralatan perkakas yang memotong bagian permukaan lawannya. (d) keausan karena ekstrusi, dimana bagian yang satu di dorong oleh bagian permukaan lain yang menjadi lawannya (e) keausan karena difusi, paling sering terjadi berkaitan dengan gas atau cairan, material dengan konsentrasi yang lebih tinggi akan berpindah untuk mengurangi perbedaan konsentrasi tersebut, perpindahan ini dilakukan dengan cara difusi.

Pendekatan lain terhadap keausan adalah melihat dari sudut bagaimana kedua permukaan tersebut kontak, cara ini lebih bersifat praktikal selama satu atau dua cara terjadi bersama sama.

Kategori keausan terbagi atas meluncur (*sliding*), mengelinding (*rolling*), abrasi dan erosi. Keausan luncur dan gelinding terjadi di antara 2 benda padat yang bergerak relatif satu dengan lainnya, seperti piston yang bergerak di dalam rongga mesin dan bola bearing yang berputar di dalam rumahnya. Keausan luncur dapat ditemukan di setiap konstruksi dan di dalamnya terdapat beberapa mekanisme keausan mikromekanik. Perbedaan antara keausan luncur dengan abrasi dan erosi adalah ada tidaknya partikel keras di antara kedua permukaan.

Universitas Indonesia

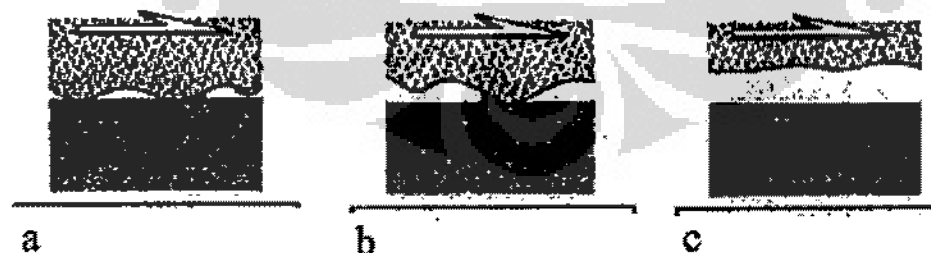
Pada keausan abrasif, partikel yang keras menggores permukaan yang lebih lunak. Dilihat dari cara bersentuhan, keausan abrasif hampir mirip dengan keausan luncur, hanya menghasilkan goresan yang lebih banyak. Goresan dihasilkan oleh kekasaran permukaan atau partikel yang keras, misalnya butiran pasir berada di antara dua permukaan. Contoh yang paling mudah dari keausan abrasif adalah proses gerinda. Partikel partikel keras dapat ditempelkan pada kertas (contohnya kertas amplas) disebut abrasif 2 tubuh (*two body abrasion*), atau berada bebas diantara 2 permukaan, disebut abrasif 3 tubuh (*three body abrasion*).

Kontak erosi, terjadi bilamana partikel keras menumbuk suatu permukaan dan menimbulkan keausan, media yang membawa partikel keras tersebut berupa udara atau cairan.

### 2.3.1.3. Pelumas (*lubrikasi*)

Pelumas adalah media, baik berupa zat padat, atau cair yang berada di antara 2 permukaan yang saling bersentuhan dan bergerak relatif satu terhadap lainnya (baik searah maupun berlawanan arah). Pelumasan adalah cara yang baik untuk mengurangi koefisien friksi antara 2 permukaan baik secara total, atau dengan membentuk lapisan tipis.

Mekanisme pelumasan diperlihatkan oleh gambar 2.15, yaitu terdiri atas pelumasan batas atau *boundary lubrication* (a), pelumasan hidrodinamik (c), dan campuran (b).



Gambar 2.15 Mekanisme pelumasan antara dua permukaan <sup>(8)</sup>

Pada hidrodinamik, kedua permukaan dipisahkan oleh pelumas, gerakan relatif diantara kedua permukaan akan memberikan beban kepada pelumas. Bila gerakan relatif tersebut cukup tinggi maka pelumas akan mengatasi beban tersebut dan memisahkan kedua permukaan.

Bila tekanan rendah maka kecepatan bisa dibuat rendah juga, tetapi bila tekanannya tinggi maka dibutuhkan kecepatan yang lebih tinggi. Untuk mendapatkan pelumasan hidrodinamik pada kecepatan rendah, maka harus dibuat disain khusus sehingga terjadi aliran pelumas diantara permukaan.



Gambar 2.16 Mekanisme pelumasan batas ( boundary lubrication )<sup>[8]</sup>

Berbeda dengan hidrodinamik, pelumasan batas tidak memisahkan kedua permukaan melainkan membentuk suatu lapisan khusus. Lapisan ini dibentuk oleh molekul molekul yang terpolarisasi, dimana mereka memiliki kepala yang menempel erat dengan logam dan memiliki ekor yang mudah bergeser di antara sesama mereka. Gambar 2.16 memperlihatkan hal tersebut. Jadi seakan akan masing masing permukaan dilapisi oleh karpet yang memiliki koefisien friksi rendah. Hal yang perlu mendapatkan perhatian adalah tersedianya molekul pengganti untuk menggantikan molekul yang rusak akibat beban mekanis.

Terdapat juga mekanisme pelumasan yang merupakan gabungan dari hidrodinamik dan batas, biasanya disebut pelumasan campuran.

### 2.3.2. Minyak Pelumas ( *lubricant oil* )

Minyak merupakan bahan yang banyak digunakan sebagai bahan pelumas, baik dalam dunia otomotif maupun dalam industri. Minyak sebagai pelumas dapat diperoleh dari berbagai sumber, yaitu minyak mineral ( *mineral oil* ) yang berasal dari hasil penyulingan minyak bumi atau minyak mentah ( *crude oil* ) dan minyak

Universitas Indonesia

sintetis ( *synthetic oil* ) yang merupakan hasil proses antara gas CO, CO<sub>2</sub> dengan metana. Dan minyak tumbuh tumbuhan ( *vegetable oil* ) yang akhir akhir ini kembali menjadi perhatian masyarakat dikarenakan tuntutan lingkungan dan semakin mahalnya biaya produksi minyak sintestis dan minyak mineral.

Keuntungan dari minyak tumbuhan sebagai bahan dasar pelumas adalah tidak beracun, biodegradabilitas, sumber terbaru, biaya aplikasi yang terjangkau (murah ), sifat pelumasan yang baik dan indek viskositas yang tinggi. Sedangkan kekurangannya adalah mudah teroksidasi, sifat sifat yang buruk pada temperatur rendah.<sup>[9]</sup>

Agar dapat berfungsi dengan baik, maka minyak pelumas harus memenuhi karakteristik yang dibutuhkan oleh pemakai. Karakteristik minyak pelumas untuk otomotif tentunya berbeda dengan kebutuhan industri, guna memenuhi kebutuhan tersebut maka minyak pelumas sebagai bahan dasar membutuhkan zat additif.

#### 2.3.2.1. Sifat sifat fisika dan kimia dari minyak pelumas<sup>[10]</sup>

##### Residu Arang

Residu arang adalah jumlah deposit yang dikandung oleh minyak pelumas, dihitung dalam satuan persentasi, yang mengendap setelah minyak di uapkan. Awalnya pengujian residu arang digunakan untuk mengetahui kecenderungan pembentukan karbon pada mesin uap, lalu dikembangkan untuk mengetahui karbon yang terbentuk di dalam motor bakar. Namun kini, pengujian residu arang digunakan untuk menentukan derajat pemurnian bahan baku minyak pelumas.

##### Warna

Warna dari minyak pelumas merupakan hasil observasi dengan melewati sinar melalui mereka, bervariasi dari transparan hingga buram atau hitam. Biasanya, metode pengukuran warna berdasarkan perbandingan visual dari sejumlah cahaya yang dilewatkan melalui minyak dengan kedalaman tertentu dengan sejumlah

cahaya yang dilewatkan melalui satu dari sekian seri gelas berwarna. Warna diberikan sebagai angka yang berkaitan dengan nomor dari gelas berwarna.

Variasi warna dari minyak pelumas adalah hasil dari perbedaan pada minyak mentahnya, viskositas, metode dan derajat perlakuan selama pemurnian dan jumlah additif yang di tambahkan. Selama pemrosesan warna di dimanfaatkan sebagai pegangan apakah proses yang dilakukan sudah benar atau tidak.

Pada produk jadi, warna tidak memegang peranan yang besar kecuali untuk pemakaian di bidang kesehatan.

#### Berat jenis dan SG (*Specific Gravity*)

Berat jenis suatu zat adalah perbandingan antara berat dan volume zat tersebut pada temperatur standar, sedangkan SG suatu zat adalah perbandingan antara massa zat tersebut dengan massa air dengan volume yang sama, pada temperatur yang sama.

#### Titik nyala dan Titik Bakar

Titik nyala merupakan temperatur dimana minyak melepaskan uap ke atas permukaannya dalam jumlah yang cukup untuk terbakar.

Tetapi kecepatan pembentukan uap tidak dapat mengimbangi kecepatan uap yang terbakar, untuk mengimbangnya perlu dinaikan temperaturnya, sehingga pada temperatur tersebut kecepatan pembentukan uap sama dengan kecepatan bakarnya, dengan demikian terjadi pembakaran yang berkelanjutan, titik temperatur tersebut disebut titik bakar.

Untuk minyak baru titik nyala bervariasi terhadap nilai viskositas, makin tinggi viskositas makin tinggi titik nyalanya. Titik nyala juga dipengaruhi oleh jenis minyak mentah dan cara pemurniannya. Titik nyala menjadi perhatian untuk minyak pelumas yang digunakan pada temperatur tinggi, titik nyala yang rendah

Universitas Indonesia



mengindikasikan volatilitas yang tinggi dan kecepatan konsumsi yang tinggi pula.

#### Angka Netralisasi, Total Angka Asam, Total Angka Basa

Total Angka Asam adalah tingkat keasaman minyak pelumas sedangkan Total Angka Basa merupakan tingkat kebasaan minyak pelumas. Untuk mengetahui tingkat keasaman minyak maka ditambahkan zat asam dan sebaliknya untuk tingkat kebasaan minyak ditambahkan zat basa. Jumlah asam atau basa yang digunakan untuk menetralkan minyak tersebut disebut Angka Netralisasi.

#### Titik Curah

Titik curah minyak pelumas adalah temperatur paling rendah dimana minyak masih bisa mengalir pada kondisi tertentu ( tanpa gangguan ). Pengadukan mekanis dan pendinginan yang cepat dapat memungkinkan minyak masih bias mengalir walaupun di bawah titik curahnya.

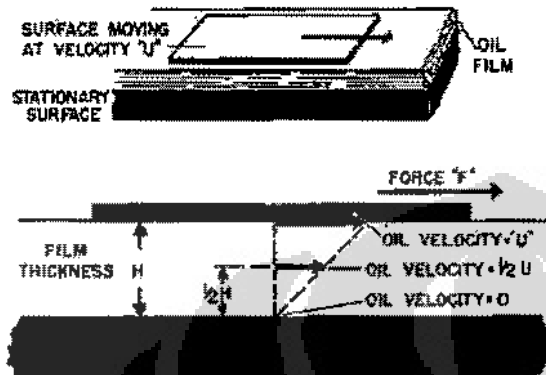
#### Viskositas

Viskositas merupakan sifat minyak pelumas yang paling penting, karena viskositas memiliki pengaruh yang besar di dalam sebuah sistim, seperti pembentukan panas akibat gesekan dua permukaan, efisiensi pemakaian minyak pelumas.

Konsep dasar dari viskositas dapat dijelaskan dengan gambar 2.17, diasumsikan terdapat dua permukaan dimana satu permukaan bergerak sedangkan yang lain tetap diam, diantara kedua permukaan tersebut terdapat lapisan minyak pelumas.

Universitas Indonesia

Bila diasumsikan lapisan minyak tersebut terdiri atas tumpukan lapisan lapisan yang tipis maka minyak yang berada disekitar permukaan bergerak mempunyai kecepatan gerak sama dengan plat bergerak, sedangkan minyak yang berada disekitar plat diam mempunyai kecepatan nol (diam).



Gambar 2.17 Konsep tentang viskositas minyak <sup>[10]</sup>

Dibutuhkan gaya sebesar  $F$  untuk melawan gaya friksi diantara lapisan lapisan minyak tersebut, sehingga plat dapat bergerak, bila diasumsikan bahwa gaya friksi timbul hanya karena viskositas maka besarnya gaya  $F$  berbanding lurus dengan viskositas dari minyak tersebut.

Viskositas dapat diketahui dengan mengukur gaya yang dibutuhkan untuk melawan friksi fluida dari lapisan yang telah diketahui dimensinya. Viskositas tersebut disebut viskositas dinamik atau absolut. Satuan viskositas dinamik adalah *poise* ( P ) atau *centipoises* (cP).

Viskositas dinamik , yang merupakan fungsi untuk friksi di dalam lapisan minyak, banyak digunakan pada perhitungan mendisain bearing atau menghitung aliran minyak. Sehingga lebih bermanfaat bila mengukur viskositas dengan metode yang sudah memasukan pengaruh dari berat jenis, sehingga dikenalah viskositas kinematik yang digunakan untuk mengetahui karakter minyak pelumas.

Viskositas Kinematik adalah besaran viskositas dinamik dibagi dengan berat jenis, yang diukur pada temperatur yang sama dan dalam satuan yang konsisten.

Universitas Indonesia

Satuan yang paling umum digunakan untuk viskositas kinematik adalah *stokes*, *St*, atau *centistokes*, *cSt*.

### Indek Viskositas

Minyak yang berbeda mempunyai kecepatan perubahan viskositas terhadap perubahan temperatur yang berbeda pula, sebagai contoh minyak yang berasal dari jenis naphthanik mempunyai kecepatan perubahan viskositas yang lebih besar bila dibandingkan dengan minyak yang berasal dari jenis parafin.

Indek viskositas adalah sebuah metode yang menggunakan nilai numerik untuk kecepatan perubahan, berdasarkan perbandingan dengan kecepatan perubahan relatif dari 2 jenis minyak yang terpilih, yang memiliki perbedaan nilai kecepatan perubahan viskositas cukup besar. Nilai indek yang tinggi menandakan kecepatan perubahan viskositas yang rendah dan sebaliknya nilai indek yang rendah menandakan kecepatan perubahan viskositas yang tinggi.

Untuk kondisi pemakaian dimana perubahan temperaturnya kecil maka indek viskositas menjadi tidak terlalu berarti, tetapi untuk kondisi dimana temperatur operasinya berubah cukup besar maka indek viskositas minyak harus lebih diperhatikan.

#### 2.3.2.2. Zat zat additif<sup>[10]</sup>

Zat Additif adalah senyawa kimia yang ditambahkan kedalam bahan dasar minyak guna memperbaiki sifat sifat tertentu hingga menjadi produk siap pakai. Cara kerja zat additif adalah menambahkan sifat sifat baru, meningkatkan sifat sifat yang sudah ada atau mengurangi sifat sifat yang sudah ada tetapi tidak dikehendaki.

Zat additif untuk minyak pelumas mulai dipergunakan sekitar tahun 1920 an dan pemakaiannya terus meningkat, saat ini hampir semua jenis minyak pelumas

Universitas Indonesia

menggunakan zat additif, paling tidak satu jenis additif, beberapa minyak pelumas mengandung zat additif lebih dari satu jenis.

Disamping memperbaiki karakter minyak, zat additif dapat juga memberikan efek samping yang merugikan apabila kelebihan dosis atau terjadi interaksi sesama zat additif. Oleh karena itu pembuat formula harus mendisain minyak pelumas yang memiliki karakter yang optimal dengan penambahan zat additif yang seimbang. Berikut adalah beberapa zat additif yang sering digunakan

#### Zat Penekan Titik curah ( *Pour Point Depresant* - PPD )

Jenis polimer tertentu yang memiliki berat molekul tinggi dapat berfungsi sebagai zat penekan titik curah dengan menghambat pembentukan struktur kristal lilin pada temperatur rendah, pembentukan struktur kristal lilin akan menghambat aliran minyak.

Secara umum terdapat 2 jenis PPD yang sering digunakan yaitu Polimer Alkyaromatik yang menyerap kristal lilin ketika mereka terbentuk, sehingga mencegah mereka bertumbuh dan menempel satu dengan lain dan Polymethacrylat yang mengkristal bersama lilin untuk mencegah pertumbuhan kristal.

#### Zat Peningkat Indeks Viskositas ( *Viscosity Indeks Improver* – VII )

VII merupakan polimer dengan berat molekul yang tinggi dan memiliki rantai karbon yang panjang, bekerja dengan meningkatkan viskositas relatif minyak lebih besar pada temperatur tinggi dibandingkan pada temperatur rendah.

Didalam minyak dingin, molekul molekul beradaptasi dengan membentuk gulungan sehingga efek mereka terhadap viskositas menjadi kecil, sedangkan didalam minyak panas molekul molekul cenderung untuk melurus dan terjadi interaksi diantara molekul panjang tersebut dan minyak akan menghasilkan efek pengentalan yang lebih besar secara proposional.

Universitas Indonesia

Walaupun viskositas campuran polimer dan minyak tersebut masih turun apabila temperatur naik tetapi penurunannya tidaklah sebesar apabila tidak ada polimer.

Beberapa VII adalah polimer methacrylate dan kopolimernya, polimer polimer acrylat, polimer polimer olefin dan kopolimernya dan kopolimer styrene butadiene. Derajat VII dari material material tersebut merupakan fungsi dari distribusi berat molekul dari polimer.

Molekul molekul panjang dari VII dapat mengalami degradasi dikarenakan pemutusan akibat mekanis selama pemakaian. Pemutusan dapat terjadi dalam dua mekanisme. Pemutusan sementara yang terjadi dalam kondisi tegangan menengah dan hasilnya kehilangan viskositas sementara. Dibawah kondisi tersebut molekul panjang dari VII mengatur diri mereka sendiri searah dengan arah tegangan sehingga mengurangi ketahanan terhadap aliran. Ketika tegangan dihilangkan, molekul molekul tersebut kembali ke bentuk semula dan kehilangan viskositas sementara, dapat diperoleh kembali. Pemutusan tetap terjadi apabila tegangan potong akhirnya merusak molekul panjang menjadi material dengan berat molekul yang lebih rendah, yang mana mengakibatkan VII kurang efektif lagi, hal menyebabkan kehilangan viskositas secara tetap.

#### Zat anti busa ( *anti foam agent* )

Kemampuan dari minyak untuk tidak membentuk busa bervariasi tergantung pada tipe minyak mentah, tipe dan tingkat pemurnian dan viskositasnya. Dalam pemakaiannya, kadang kadang dibutuhkan minyak yang membentuk busa sehingga sengaja di agitasi tetapi ada juga yang tidak dapat mentolerir busa walaupun dalam jumlah yang sedikit, dalam kasus ini zat pencegah busa ditambahkan ke dalam minyak.

Polimer silikon paling sering digunakan sebagai zat pencegah busa dalam beberapa ppm. Material ini pada dasarnya tidak larut di dalam minyak, pemilihan yang tepat terhadap ukuran polimer dan prosedur pencampuran menjadi hal yang kritis bila minyak akan disimpan dalam waktu yang lama. Additif ini juga

Universitas Indonesia

meningkatkan kandungan udara di dalam minyak. Polimer organik kadang kadang digunakan untuk mengatasi kesulitan kesulitan ini, walaupun dalam konsentrasi yang lebih tinggi.

#### Penghambat Oksidasi ( antioxidant atau oxidation inhibitor )

Ketika minyak di panaskan dengan kehadiran udara, maka terjadi oksidasi. Sebagai akibat dari oksidasi ini, viskositas minyak dan konsentrasi asam organik di dalam minyak meningkat. Endapan pernis terbentuk pada permukaan logam yang panas terbuka ke minyak. Pada kondisi ekstrim, endapan endapan ini selanjutnya akan teroksidasi membentuk material mengandung karbon yang keras.

Kecepatan proses oksidasi dipengaruhi oleh beberapa faktor. Ketika temperatur naik, kecepatan oksidasi akan meningkat secara eksponensial. Keterbukaan yang lebih besar dengan udara (oksigen ) atau terjadi pengadukan dengannya, juga akan meningkatkan kecepatan oksidasi. Banyak material seperti logam (khususnya Cu dan Besi ) dan organik dan asam mineral, bertindak sebagai katalis atau promotor oksidasi.

Walaupun mekanisme yang komplit tentang oksidasi minyak tidak diketahui dengan baik, umumnya disadari bahwa prosesnya dilakukan oleh reaksi berantai radikal bebas. Awal reaksi berantai dimulai dari molekul minyak yang tidak stabil, mereka bereaksi dengan oksigen membentuk radikal peroksi, yang lalu menyerang minyak yg belum teroksidasi untuk membentuk awalan baru dan hidroperoksida. Hidroperoksida tidak stabil dan terbelah, membentuk awalan baru untuk mengembangkan reaksi.

Adanya material yang dapat menginterupsi reaksi berantai ini akan menghambat oksidasi. 2 tipe penghambat oksidasi yang digunakan, yang bereaksi dengan awalan, peroksi radikal dan hidroperoksida membentuk senyawa tidak aktif dan yang menguraikan material tersebut menjadi senyawa kurang reaktif.

Universitas Indonesia

Pada temperatur di bawah 93 °C , proses oksidasi berlangsung lambat sehingga penghambat tipe pertama dapat bekerja efektif. Pada temperatur di atas 93°C, efek katalis dari logam menjadi faktor yang penting dalam mendukung proses oksidasi minyak pelumas. Pada kondisi seperti ini penghambat yang bisa mengurangi efek katalis dari logam harus digunakan. Material ini biasanya bereaksi dengan permukaan logam untuk membentuk lapisan pelindung sehingga untuk alasan tersebut material tersebut kadang kadang disebut "*metal deactivator*".

Additif dari jenis ini adalah *Dithiophosphates*, terutama *Zinc Dithiophosphate*. Sepanjang *Dithiophosphate* juga bertindak untuk mengdekomposisi hidroperoksida pada temperatur di atas 93 °C, mereka menghambat oksidasi dengan mekanisme yang sama.

#### Penghambat korosi

Sejumlah jenis korosi dapat terjadi didalam sebuah sistim yang dilayani oleh minyak pelumas. Terdapat 2 tipe korosi yang paling penting yaitu korosi oleh asam organik yang di hasilkan oleh minyak itu sendiri dan korosi oleh kontaminan yang dibawa dan diangkut oleh minyak.

Selama pemakaian minyak dapat terbakar dan membentuk asam kuat. Asam ini kemudian terkondensasi pada dinding logam. Hal tersebut dapat menyebabkan terjadinya keausan korosif.

Telah ditemukan bahwa inklusi dari material alkalin di dalam minyak akan membantu menetralsir asam kuat tersebut ketika mereka terbentuk, mengurangi keausan karena korosi. Material alkalin ini juga memberikan efek sebagai deterjen.

Penghambat korosi biasanya adalah senyawa yang memiliki daya tarik polar yang tinggi kepada permukaan logam. Melalui interaksi fisika atau kimia pada

Universitas Indonesia

permukaan logam, mereka membentuk sebuah lapisan yang berkelanjutan dan kuat, yang mencegah air untuk mencapai permukaan logam. Tipe material yang digunakan untuk tujuan ini adalah amine succinates dan alkaline earth sulfonate.

Penghambat korosi dapat digunakan pada sebagian besar minyak pelumas, tetapi pemilihannya harus hati hati untuk mencegah terjadinya masalah seperti korosi pada logam bukan baja atau pembentukan emulsi dengan air. Karena penghambat korosi di serap oleh permukaan logam, maka kadarnya di dalam minyak dapat berkurang dengan berjalannya waktu.

#### Deterjen dan Penyebar ( Dispersant )

Dalam aplikasinya minyak pelumas mengalami pengrusakan sehingga dapat menyebabkan terjadi endapan. Endapan tersebut biasanya ikut terbawa dengan minyak pelumas dan dapat menempel di berbagai bagian dari sistim, bersifat keras sehingga untuk membersihkan butuh suatu usaha secara mekanis.

Deterjen adalah zat yang dapat menunda pembentukan dan menurunkan kecepatan pengumpulan mereka pada permukaan logam. Cara yang paling mendasar adalah menguras dan mengganti minyak pelumas dengan yang baru, kontaminan di dalamnya ikut terbuang sebelum kapasitas minyak pelumas untuk menampung mereka melebihi batas.

Deterjen umumnya berupa senyawa kimia yang secara kimiawi menetralkan pelopor deposit yang terbentuk pada temperatur tinggi.

Penyebar atau *dispersant* merupakan senyawa kimia yang menyebar atau menggantung calon material endapan yang potensial di dalam minyak, khususnya yang terbentuk pada temperatur rendah. Kontaminan ini akan terbawa oleh minyak ketika proses pengurasan.

Deterjen yang banyak digunakan saat ini berupa sabun organik dan garam dari logam alkali tanah seperti barium, kalsium dan magnesium. Kalsium dan magnesium sulfonat dan kalsium phenat ( *phenol sulfide* ) secara luas digunakan.

Universitas Indonesia



Netralisasi ini mengurangi korosi dan keausan korosif dan meminimalkan kecenderungan asam asam tersebut yang menyebabkan degradasi kualitas minyak.

#### Antiwear

Additif antiwear digunakan pada minyak pelumas untuk mengurangi friksi, keausan, pelecetan dalam kondisi pelumasan batas, ketika lapisan pelumasan penuh tidak dapat dipertahankan lagi. Ketika lapisan minyak menjadi lebih tipis secara progresif sebagai akibat dari meningkatnya beban atau temperatur, kontak menembus lapisan minyak pertama tama dilakukan oleh kekasaran. Ketika kekasaran lawan membuat kontak, friksi akan meningkat dan terjadi pengelasan atau pengikatan. Ketika peluncuran dilanjutkan, pengikatan segera patah, tetapi proses dapat membentuk kekasaran baru melalui perpindahan logam, seperti partikel partikel keausan, yang dapat menyebabkan pelecetan (scuffing).

Terdapat 2 kelas material yang digunakan untuk mencegah kontak metalik, tergantung pada besarnya kebutuhan.

Additif antiwear menengah dan penurun friksi, kadang kadang disebut additif pelumas batas, adalah material polar seperti fatty oil, asam dan ester. Mereka adalah material dengan rantai panjang yang membentuk lapisan terserap pada permukaan logam, dengan ujung polar dari molekul menempel pada permukaan logam. Kontak akhirnya terjadi antara ujung lain dari molekul dengan lawannya dari permukaan logam lainnya. Friksi akan berkurang dan permukaan akan lebih bebas bergerak terhadap lawannya. Keausan akan berkurang pada kondisi luncur kelas menengah, tetapi pada kondisi lebih berat maka lapisan molekul tersebut akan tergerus, maka efek pengurangan keausan akan hilang.

#### Extreme Pressure ( Tekanan Ekstrim )

Pada kondisi temperatur tinggi dan beban yang berat maka scriyawa yang disebut additif extreme pressure ( EP ) dibutuhkan untuk mengurangi friksi, mengontrol keausan dan mencegah kerusakan permukaan. Cara kerja material tersebut adalah

Universitas Indonesia

secara kimiawi mereka akan bereaksi dengan permukaan luncur membentuk lapisan yang tidak larut dalam minyak. Kecepatan reaksinya tergantung pada temperatur permukaan logam dimana panas tersebut dihasilkan akibat gesekan antara dua kekasaran permukaan yang berlawanan dan akibat putusya ikatan kedua kekasaran tersebut.

Walaupun additif EP telah ditambahkan ke dalam minyak pelumas, keausan pada permukaan baru, awalnya tetap terjadi. Dibutuhkan waktu dan temperatur untuk membentuk lapisan pelindung permukaan. Setelah lapisan terbentuk, gerakan relatif terjadi antara lapisan lapisan permukaan menggantikan permukaan logam. Proses luncur dapat menyebabkan beberapa bagian lapisan terkelupas, tetapi sepanjang penggantianinya cepat, kehilangan logam akan sangat rendah. Proses ini secara perlahan akan menghabiskan sejumlah EP yang tersedia di dalam minyak pelumas.

Kerasnya kondisi luncur membutuhkan reaktifitas additif EP untuk keefektifan yang maksimum. Reaktifitas optimal terjadi apabila additif mengurangi keausan metalik atau adhesif tanpa menyebabkan terjadinya keausan korosif atau kimiawi. Additif yang terlalu reaktif akan menimbulkan pembentukan lapisan permukaan yang berlebihan, yang kurang tahan terhadap erosi, sehingga banyak logam yang hilang akibat aksi luncur tersebut.

Sepanjang sebuah additif EP tertentu mempunyai reaktifitas yang berbeda terhadap logam logam yang berbeda, merupakan hal yang penting untuk mempertemukan reaktifitas logam additif dengan additif tidak hanya dengan kerasnya sistim luncur tetapi juga dengan logam logam yang terkait di dalamnya. Contoh, additif yang sangat baik untuk sistim baja dgn baja belum tentu cocok untuk sistim bronze dengan baja pada kondisi luncur yang sama, karena mereka terlalu reaktif terhadap bronze.

Fungsi penting additif EP lainnya adalah karena reaksi kimia terbesar pada kekasaran dimana kontak terjadi dan temperatur local yang sangat tinggi, mereka menyebabkan permukaan mengalami pemolesan. Oleh karena itu beban akan

Universitas Indonesia

terdistribusi lebih merata pada kontak area yang lebih luas, yang menyebabkan pengurangan kerasnya luncuran, pelumasan yang lebih efektif dan penurunan keausan.

Zat additif EP biasanya berupa senyawa yang mengandung sulfur, klorin atau fosfor, baik dalam kondisi sendiri maupun berupa kombinasi. Senyawa digunakan tergantung pada pemakaian pelumas dan aktivitas kimiawi yang dibutuhkan. Senyawa sulfur, kadang kadang dengan klorin atau fosfor digunakan di dalam cairan pendingin pemotongan logam. Kombinasi sulfur fosfor banyak digunakan dalam pelumas untuk industri dan otomotif. Material ini memberikan perlindungan yang baik terhadap pelecetan gigi dari roda gigi dan stabilitas oksidasi yang lebih baik, korosifitas yang lebih rendah dan friksi yang lebih rendah.

### 2.3.3. Tribologi pada Proses Penarikan dalam

Pembentukan logam terdiri atas proses proses deformasi dimana lembaran baja dibentuk oleh peralatan perkakas. Kinerja proses pembentukan logam tergantung pada karakteristik dari proses pembentukan, bahan baku, bahan perkakas, kondisi tribologi, besaran deformasi plastis dan kebutuhan produk jadinya. Bahan baku dengan mampu bentuk yang tinggi akan memberikan peluang yang besar untuk membentuk bahan logam dengan berbagai bentuk.

Dalam proses penarikan dalam lembaran logam di pegang oleh *blankholder* dan dideformasi oleh pemukul. Lembaran logam dibiarkan meluncur di antara *blankholder* dan *dies* untuk mencegah terjadinya efek meringkel. Pada proses penarikan dalam sistim tribo lokal dan tipe kontaknya sudah bisa diidentifikasi.

Pada area radius, kecepatan aus tertinggi dari perkakas dan bahan baku diperkirakan karena deformasi pembengkokan - pelurusan dan tekanan kontak yang tinggi.

### 2.3.4. Rekayasa Permukaan ( *surface engineering* )

Universitas Indonesia

Rekayasa Permukaan merupakan teknis dan proses yang mempunyai kemampuan untuk membentuk atau memodifikasi suatu permukaan guna memperbaiki kinerjanya seperti ketahanan terhadap korosi dan keausan.

Saat ini, dengan tuntutan atas lingkungan hidup, industri pembentukan logam memberikan perhatian yang besar untuk mengembangkan konsep konsep baru atas rekayasa permukaan yang memberikan harapan untuk proses kering atau tanpa pelumas cair.

#### 2.3.3.1. Aplikasi Rekayasa Permukaan pada proses Penarikan dalam <sup>(11)</sup>

Terdapat 2 konsep utama rekayasa permukaan yang telah diajukan, yaitu menggunakan pelumas kering yang diendapkan pada permukaan bahan baku logam dan memberikan lapisan berfriksi rendah pada perkakas kerja.

Prinsip dasar dari kedua tersebut adalah pelumasan mandiri ( *self lubricating* ) dimana mereka menurunkan kekuatan potong ( *shear strength* ) pada kontak tribologi sehingga menurunkan koefisien friksi. Perbedaan utama diantara kedua konsep adalah kekerasan dan keuletan lapisan yang berkaitan dengan komposisi kimia dan struktur dari lapisan.

Lapisan tipis organik yang berasal dari polimer mempunyai kekuatan potong yang rendah dan cenderung mudah berpindah, sedangkan lapisan PVD mempunyai sifat seperti keramik dengan kekerasan yang tinggi dan ketahanan aus yang baik.

Keuntungan aplikasi lapisan tipis organik bila dibandingkan penggunaan pelumas cair adalah mengurangi masalah lingkungan, penanganan pelumas di dalam pabrik, proteksi korosi sementara, memperbaiki sifat anti sidik jari. Akhirnya

Universitas Indonesia

pelapisan dengan organik akan memperbaiki kualitas produk dan menurunkan keausan perkakas kerja. Pelapisan organik ini dapat dilakukan secara masal pada saat proses pembuatan lembaran baja tersebut.

Keuntungan dari aplikasi lapisan PVD adalah memperbaiki lingkungan kerja (tanpa pelumas cair), mengurangi atau mengontrol friksi, meningkatkan ketahanan terhadap erosi sehingga akan mengurangi keausan pada perkakas kerja dan mengurangi penggunaan kimia untuk membersihkan produk sebelum proses pengecatan.

### Pelumasan kering

Berdasarkan literatur, pelumasan kering terbagi atas 2 kategori, yaitu senyawa inorganik dan senyawa organik. Termasuk pada kategori pertama adalah padatan laminar (seperti grafit dan  $\text{MoS}_2$ ), padatan non laminar (seperti  $\text{PbO}$  dan  $\text{CaF}_2$ ) dan logam-logam lunak (seperti  $\text{Pb}$  dan  $\text{Sn}$ ). Sedangkan yang termasuk kategori kedua adalah variasi dari minyak (fat), sabun, lilin dan polimer.

Pada umumnya, pelumas kering terdiri atas 2 tipe, yaitu bersifat sementara dan tetap. Pelumas kering sementara dapat dibersihkan setelah proses pembentukan, sedangkan pelumas kering tetap tidak bisa dan tidak perlu dibersihkan sehingga tidak membutuhkan biaya tambahan.

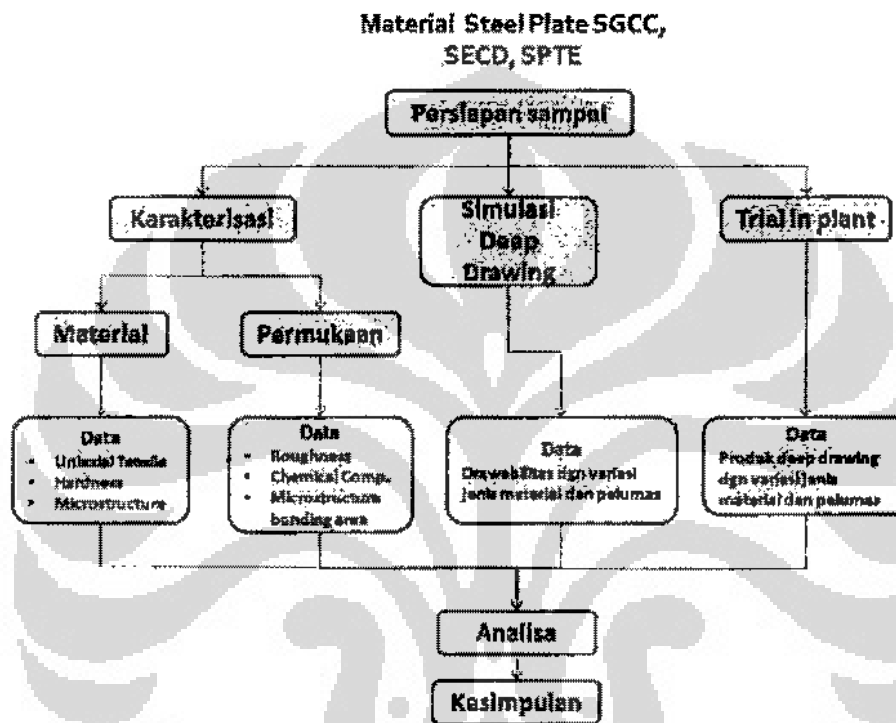
Formula lapisan tipis organik yang berbasis polimer terdiri atas sejenis resin sebagai bahan pembentuk lapisan dan berbagai tipe aditif seperti lilin yang berfungsi menurunkan friksi dan kromat yang berfungsi sebagai penghambat korosi. Fungsi utama resin adalah mempertahankan manfaat dari zat-zat aditif, namun ia harus cukup tahan terhadap beban, serangan kimia dan keausan.

Satu dari sifat-sifat penting lapisan tipis organik adalah memudahkan aplikasi pada proses yang berkelanjutan, metode pelapisan yang sering digunakan adalah penyemprotan (*spraying*) lalu penekanan (*squeeze*).

## BAB III.

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. DIAGRAM ALIR PENELITIAN



#### 3.2. BAHAN BAHAN PENELITIAN

Bahan bahan yang digunakan dalam penelitian diperoleh dari PT XXX yang memproduksi filter otomotif, bahan tersebut merupakan bahan baku untuk memproduksi rumah filter, untuk bahan pendukung diperoleh dari pasar yang ada di Indonesia. Adapun bahan bahan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Lembaran baja berlapis Seng ( SGCC dan SECD ) dan lapis Timah Putih ( SPTE )
2. Bahan pelumas

Universitas Indonesia

- Minyak goreng merk Bimoli
- Metal forming lubricant Neoform LG 3000 produk PT YYY
- Minyak Iloform produk PT ZZZ ( diperoleh dari pasar bebas )
- Kertas minyak

3. Bahan mounting ( resin dan hardenemya )

4. Bahan etsa

5. Bahan replika

### 3.3. PERALATAN PENELITIAN

Fasilitas pengujian yang digunakan adalah milik lab metalurgi UI dan PT XXX, adapun peralatannya adalah sebagai berikut :

1. Alat uji tarik
2. Alat uji kekerasan mikro
3. Mikroskop optik
4. Scanning Electron Mikroskop
5. Mesin Press Universal
6. Alat uji Kekasaran

### 3.4. PROSEDUR PENELITIAN

#### 3.4.1. Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan guna memperoleh nilai kekuatan tarik, kekuatan luluh, koefisien pengerasan regang dan koefisien anisotropi plastis dari suatu material. Prosedur Pengujian mulai dari persiapan sampel, dimensi, cara penarikan,

Universitas Indonesia

pengambilan data di dilakukan berdasarkan ASTM E8 – 04. Untuk menghitung nilai koefisien pengerasan regang (  $n$  ) di lakukan berdasarkan ASTM E646 – 00, sedangkan prosedur untuk mendapatkan nilai koefisien anisotropi (  $R$  ) dilakukan berdasarkan ASTM E517 – 00.

### 3.4.2. Uji metalografi ( termasuk untuk uji kekerasan mikro )

Pengujian metalografi ini bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dari logam dasar, logam pelapis dan senyawa yang terbentuk antara logam pelapis dan logam dasar. Pengamatan ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik, sedangkan untuk pembesaran yang lebih tinggi akan digunakan SEM.

#### 3.4.2.1. Persiapan sampel uji

Sampel uji dipersiapkan dengan memotong sebagian kecil dari bahan pengujian. Lalu sampel tersebut di *mounting* dengan resin, struktur mikro yang akan di lihat adalah bagian penampang maka bagian tersebut menghadap keluar. Arah penampang yang akan dilihat adalah arah  $0^\circ$  dan  $90^\circ$  terhadap arah rol.

Selesai di *mounting*, sampel di amplas dan poles hingga penampangnya sejernih kaca, dan siap untuk dilakukan pengetsaan.

Karena pada sampel terdapat beberapa jenis logam yang berbeda beda ( Fe, Zn dan Sn ) maka proses etsa dilakukan berulang kali dengan cairan etsa yang berbeda beda. Sebab setiap jenis logam membutuhkan cairan etsa yang berbeda beda.

Setiap akan dietsa ulang dengan cairan etsa yang berbeda, sampel harus melalui proses pemolesan dari awal.

Setelah dietsa, maka dapat dilakukan pengambilan gambar atas struktur mikronya.

Universitas Indonesia



Hal hal yang harus diperhatikan adalah timbulnya panas saat pemotongan sampel hingga pemolesan.

#### *3.4.2.2. Metode Pengujian*

Suatu bahan atau material logam terbagun dari beberapa fasa, senyawa senyawa asing dan cacat cacat seperti batas butir. Semua komponen tersebut mempunyai sifat sifat yang berbeda satu dengan lainnya, termasuk reaksi terhadap suatu zat kimia.

Sehingga apabila suatu zat kimia di oleskan pada permukaan sebuah logam maka akan terbentuk pola pola yang unik yang mewakili pola susunan masing masing komponen tersebut. Pola pola unik ini biasanya disebut sebagai struktur mikro, yang sulit dilihat dengan mata telanjang sehingga membutuhkan bantuan sebuah mikroskop.

#### *3.4.2.3. Prosedur Pengujian*

Sampel yang telah dietsa diletakan pada meja mikroskop, lalu melalui lubang pengamatan dilakukan pengamatan terhadap struktur mikro, setelah mendapatkan gambar yang terbaik ( jernih dan focus ) maka dapat dlakukan pengambilan gambar dengan kamera

### **3.4.3. Uji Scanning Electron Microsope**

#### *3.4.3.1. Persiapan sampel uji*

Menggunakan sampel yang sama dengan sampel pengamatan metalografi.

### 3.4.4.3. Prosedur Pengujian

Sampel diletakan pada meja pengujian alat uji kekerasan mikro, melalui lubang pengamatan, dilakukan pemilihan area yang akan diperiksa nilai kekerasannya, lalu dilakukan pengujian maka diperoleh nilai kekerasannya.

### 3.4.5. Uji kekasaran ( arah $0^\circ$ dan $90^\circ$ )

Pengujian kekasaran bertujuan untuk mendapatkan nilai kekerasan yang diwakili oleh  $R_a$ , dikarenakan adanya pengaruh dari proses pengerolan maka pengujian dilakukan pada arah  $0^\circ$  dan  $90^\circ$  derajat dari arah rol.

#### 3.4.5.1. Persiapan sampel uji

Dengan menggunakan gunting baja maka dibuat sampel dengan dimensi 50 x 20 mm, lalu permukaannya dibersihkan dengan menggunakan alcohol 70%.

#### 3.4.5.2. Metode Pengujian

Pada dasarnya setiap permukaan memiliki kekasaran, yaitu kekasaran mikro yang dibentuk oleh bukit dan lembah.

Alat uji kekasaran sebuah alat yang didisain untuk mengukur bukit dan lembah dari suatu permukaan secara mikro. Salah satu bagian alat tersebut, yang disebut sebagai stylus, mempunyai bagian ujung yang dapat bergerak secara vertical dan sangat sensitif, bila stylus tersebut digerakkan secara horizontal menyusuri lembah dan bukit dari suatu permukaan maka stylus tersebut akan naik dan turun mengikuti pola yang dibentuk oleh lembah dan bukit. Data naik dan turunnya stylus tersebut diolah dan menjadi data yang mewakili kekasaran suatu permukaan.

Jarak yang ditempuh oleh *stylus* ditentukan sesuai kebutuhan tergantung pada sampel yang akan diuji, semakin seragam sebuah sampel, misal hasil produksi

Universitas Indonesia

yang bersifat massal, maka jarak yang dibutuhkan semakin pendek, pada penelitian ini diambil jarak 2.5 mm.

Kepresisian alat ukur ini tergantung pada besar kecilnya ujung *stylus*, semakin kecil ujung *stylus* maka kepresisiannya semakin tinggi.

#### 3.4.5.2. Prosedur Pengujian

Sampel yang telah dipersiapkan di letakan padaudukan yang rata, *probe* alat uji kekasaran digerakan di atas permukaan sampel yang akan di periksa.

Alat uji kekasaran hanya dapat dilakukan untuk bidang permukaan yang datar.

Untuk pengujian kekasaran daerah radius dies dan pemukul maka akan dilakukan pengambilan replika permukaan dengan menggunakan bahan replika. Kekasaran yang diwakili oleh replika tersebut di amati dengan menggunakan mikroskop optik sedangkan hasil yang diperoleh bukan nilai nominal melainkan hanya suatu perbandingan visual.

#### 3.4.6. Simulasi penarikan dalam ( termasuk mempersiapkan bahan pelumas dan cara pelumasan )

Uji simulasi bertujuan untuk mendapatkan nilai LDR dari masing masing jenis material dengan kondisi pelumas tertentu.

##### 3.4.6.1. Persiapan sampel uji

Sampel uji berupa lingkaran dengan diameter yang telah ditetapkan , penetapan diameter dilakukan dengan trial dan error. Pertama di tetapkan diameter pemukul, kemudian berdasarkan literatur yang ada diperkirakan besaran LDR untuk baja. Diameter "blank" = LDR x diameter pemukul.

Universitas Indonesia

### 3.4.6.2. Metode Pengujian

Uji simulasi ini didisain sama seperti proses penarikan dalam yang sebenarnya, hanya pada alat ini semua parameter dapat diukur dan di kontrol. Parameter parameter tersebut adalah gaya pemukul, gaya blankholder, kecepatan pemukul.

Parameter lain yang berada diluar kendali mesin adalah diameter "blank", menggunakan jenis pelumas, diameter pemukul, radius pemukul dan dies.

### 3.4.6.3. Prosedur Pengujian

#### Data data awal proses simulasi penarikan dalam

Jenis material : SECD, SGCC dan SPTE

Jenis Pelumas : minyak sayur bimoli, pelumas ex PT YYY, pelumas ex ZZZ, kertas minyak.

Diameter pemukul : 40 mm

Diameter dies : 41.5 mm

Kecepatan pemukul : posisi rendah

Gaya blankholder : besarnya gaya blankholder dihitung berdasarkan rumus

$$F_B = \pi/4 (D^2 - d^2) 2.5 (N)$$

Dimana D = diameter "blank"

d = diameter pemukul

sehingga diperoleh : D = 96 mm →  $F_B = 1,900 \text{ kg}$

D = 93 mm →  $F_B = 1,762 \text{ kg}$

D = 90 mm →  $F_B = 1,625 \text{ kg}$

D = 87 mm →  $F_B = 1,492 \text{ kg}$

Universitas Indonesia

$$D = 84 \text{ mm} \rightarrow F_B = 1,350 \text{ kg}$$

Temperatur operasi : temp kamar

Diameter "blank" : 96 mm, 93 mm, 90 mm, 87 mm, 84 mm

#### Cara melamurkan pelumas ke benda kerja

Untuk mendapatkan ketebalan pelumas yang sama maka digunakan rol karet untuk meratakan bahan pelumas di atas permukaan bahan uji.

Cara kerja simulasi penarikan dalam

"blank" yang telah diberikan pelumas di tempatkan pada posisinya, blankholder ditempatkan di atasnya lalu dikencangkan.

Setting gaya blankholder sesuai dengan kebutuhan melalu alat pemutar, lalu berikan beban pada pemukul sesuai kebutuhan.

Selesai proses penarikan dalam, keluarkan sampel untuk dilihat apakah proses berhasil atau gagal ( retak ).

Proses diulang untuk berbagai ukuran diameter "blank" hingga diperoleh diameter "blank" terbesar dimana proses masih berhasil.

Catat parameter parameter yang dipergunakan yaitu gaya blankholder, gaya pemukul yang digunakan, gaya maksimum pemukul.

## BAB IV.

### HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. DATA HASIL PENGUJIAN

Data hasil pengujian yang disajikan pada bab ini merupakan hasil rangkuman, hasil detailnya disajikan pada bagian lampiran

##### 4.1.1. Uji tarik

Tabel 4.1 Hasil uji tarik (unlaxial)

Jenis Material	arah	Su ( kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_u$ ( kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_y$ (kg/mm <sup>2</sup> )	e (%)
SECD	0	32.21	46.20	21.79	43.43%
	45	32.52	45.67	21.95	40.40%
	90	32.21	44.91	21.79	39.43%
SGCC	0	39.06	54.18	31.91	38.70%
	45	38.11	52.14	31.76	36.83%
	90	37.95	52.10	30.64	37.30%
SPTE	0	34.90	50.44	22.64	44.53%
	45	34.18	48.75	21.08	42.60%
	90	33.49	47.82	20.89	42.77%

Su tegangan rekayasa ( engineering stress )

$\sigma_u$  tegangan sejati ( true stress )

$\sigma_y$  tegangan luluh

e regangan ( elongation )

Tabel 4.2 Hasil perhitungan koefisien pengerasan regang

Sampel	nilai n				$(n_0+2n_{45}+n_{90})/4$	K				$(K_0+2K_{45}+K_{90})/4$
	1	2	3	rata <sup>2</sup>		1	2	3	rata <sup>2</sup>	
SECD-0	0.26	0.26	0.26	0.26	0.23	58.96	57.85	59.83	58.88	56.29
SECD-45	0.23	0.23	0.21	0.23		56.95	56.88	55.57	56.47	
SECD-90	0.19	0.21	0.19	0.20		52.88	54.29	52.91	53.36	
SGCC-0	0.23	0.24	0.22	0.23	0.23	68.64	67.88	66.67	67.73	67.19
SGCC-45	0.22	0.22	0.25	0.23		66.85	67.02	68.92	67.60	
SGCC-90	0.21	0.23	0.22	0.22		65.58	66.07	65.80	65.82	
SPTE-0	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	65.45	65.26	62.59	64.43	63.22
SPTE-45	0.28	0.26	0.26	0.27		64.24	61.88	62.37	62.83	
SPTE-90	0.28	0.28	0.29	0.28		62.80	62.07	63.54	62.80	

Tabel 4.3 Perhitungan koefisien anisotropi

Jenis Material	Arah	$R_{average}$	Planar Anisotropi $(R_0+R_{90}-2R_{45})/2$	Normal Planar Anisotropi $(R_0+2R_{45}+R_{90})/4$
SECD	0	1.52	0.348093315	1.626825064
	45	1.45		
	90	2.08		
SGCC	0	1.12	0.221798367	1.096026955
	45	0.99		
	90	1.30		
SPTE	0	1.50	0.323257391	1.431242181
	45	1.27		
	90	1.69		

#### 4.1.2 Uji metalografi

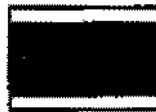
Hasil pengujian metalografi terdapat dalam lampiran 4

#### 4.1.3. Uji Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope atau SEM pada kesempatan ini digunakan untuk 2 hal, yaitu mengetahui komposisi kimia pada area area tertentu dan ketebalan lapisan logam.

##### 4.1.3.1. Ketebalan lapisan logam

Tabel 4.4 memperlihatkan hasil pengukuran ketebalan lapisan logam pada material SECD, SGCC dan SPTE.



lapisan 1

base metal

lapisan 2

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran ketebalan lapisan

Jenis Material	Pengukuran	tebal lapisan 1, mikron			tebal lapisan 2, mikron		
		Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
SECD Hot Dip Zinc coated steel	1	4.84	6.62	8.00	4.30	2.27	7.61
	2	6.08	5.53	8.45	4.94	2.91	9.39
		6.37	6.77	6.80	3.56	2.32	6.03
	rata rata	5.53	6.73	7.21	3.70	2.47	7.21
SGCC Elektrolitik Zinc coated steel	1	14.52	19.11	17.34	21.48	13.93	24.00
	2	13.63	19.26	15.11	21.93	12.30	25.63
		16.74	20.15	17.78	30.23	15.41	20.00
	rata rata	14.22	15.41	16.59	27.27	13.93	22.52
SPTE Elektrolitik Tin coated steel	1	0.518	0.740	0.963	Lapisan tidak dapat diukur karena rusak.		
	2	0.703	0.407	0.629			
		0.481	0.703	0.629			
	rata rata	0.555	1.000	0.777			
rata rata		0.564	0.713	0.750			

keterangan :

sampel 1. penampang 0 arah rol

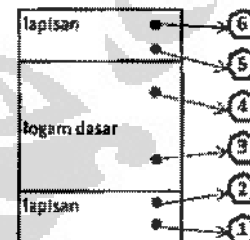
sampel 2. penampang 45 arah rol

sampel 3. penampang 90 arah rol

#### 4.1.3.2. Komposisi kimia logam pelapis dan area sekitarnya

Jenis material : SECD

	Elemen	Posisi									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sampel 1	Fe		10.68	16.97	16.53	4.32					
	Al										
	Zn	80.09	50.69			78.01	33.36				
	C	7.38	27.13	3.13	3.47	10.37	43.95				
	O	12.52	11.5			7.4	22.09				
Sampel 2	Fe		17.59	17.31	19.46	4.03					
	Al										
	Zn	31.81	21.76			63.45	28.03				
	C	68.39	15.64	7.69	0.54	14.1	36.3				
	O					13.41	35.67				
Sampel 3	Fe		95.68	99.54							
	Al										
	Zn	27.88				19.73					
	C	72.12	4.32	0.46	49.42						
	O				30.85						

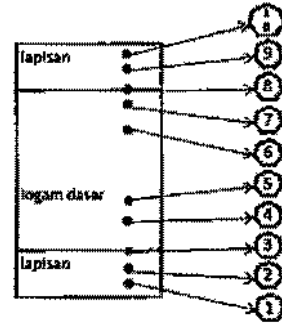


Universitas Indonesia



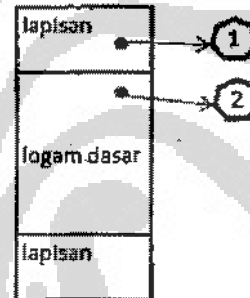
## Jenis material : SGCC

	Elemen	Posisi									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Fe			76.34	99.43	99.48	99.53	99.51	48.43		
	Al			1.54					11.6		
Sampel 1	Zn	97.57	97.93	20.29					35.28	94.28	96.87
	C	2.43	2.07	1.62	0.53	0.52	0.47	0.49	2.33	1.57	1.73
	O								2.38	3.75	1.46
	Si									0.42	
	Fe			77.89	98.7	99.41		99.37	54.58		
	Al			0.41					5.67		
Sampel 2	Zn	95.9	97.32	30.43					34.01	97.23	97.55
	C	1.55	2.01	1.27	0.61	0.59		0.63	1.73	1.34	1.42
	O	2.14	0.67						3.41	1.43	1.03
	Si				0.68						
	Fe			73.8	99.87	99.47	99.43	99.64	23.4		
	Al			0.85					8.84		
Sampel 3	Zn	97.77	97.69	21.4					37.38	95.08	96.97
	C	1.85	1.84	1.95	0.53	0.51	0.57	0.36	2.83	2.35	1.87
	O	0.58	0.47						7.56	1.58	1.21
	Si										



## Jenis Material : SPTE

	Elemen	Posisi			
		1	2	3	4
	Fe	96.89			
	Al				
Sampel 1	Sn		92.25		
	C	3.11	1.61		
	O		6.15		
	Fe	97.41			
	Al				
Sampel 2	Sn		98.59		
	C	2.59	1.41		
	O				
	Fe	99.56	29.85		
	Al				
Sampel 3	Sn		67.7		
	C	0.44	2.45		
	O				



#### 4.1.4. Uji kekerasan mikro

Tabel 4.5 Hasil pengujian kekerasan mikro terhadap material dasar

Material	material pelapis	metode pelapisan		Kekerasan material dasar, Hv			Kekerasan dari arah permukaan
				0	45	90	
SECD	Zinc	elektrolitik	1	94.10	98.70	98.60	tidak dapat diuji
			2	95.90	98.10	94.80	karena terlalu
			3	93.30	95.20	98.90	tipis
			4	91.50	100.80	105.10	
			5	93.80	96.20	99.80	
			rata <sup>2</sup>	93.72	97.80	99.40	
SGCC	Zinc	Hot Dip	1	111.10	114.90	108.90	59.00
			2	113.80	116.70	114.60	65.80
			3	112.30	118.20	117.70	
			4	117.50	117.60	112.70	
			5	112.40	120.00	109.60	
			rata <sup>2</sup>	113.42	117.48	112.70	62.40
SPTE	Tin	elektrolitik	1	91.30	88.30	89.70	tidak dapat diuji
			2	92.90	89.40	92.20	karena terlalu
			3	87.50	91.90	87.80	tipis
			4	92.40	92.80	90.70	
			5	90.20	93.90	90.70	
			rata <sup>2</sup>	90.86	91.26	90.02	

Metode pengujian Microhardness Vicker  
 Beban 300 gr ( utk material dasar )  
 50 gr ( utk lapisan )

#### 4.1.5. Uji kekasaran

##### 4.1.5.1. Kekasaran material

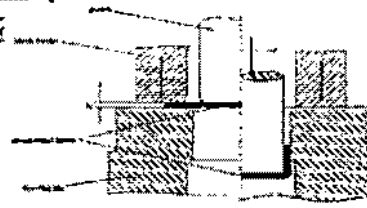
Tabel 4.6 Hasil pengujian kekasaran material plat

Pengujian Ke	Jenis material					
	SPTE		SECD		SGCC	
	sdt tdk arah roll	sdt tdk arah roll	sdt tdk arah roll	sdt tdk arah roll	sdt tdk arah roll	sdt tdk arah roll
	0°	90°	0°	90°	0°	90°
1	0.515	0.535	0.776	0.558	0.772	0.758
2	0.570	0.661	0.719	0.735	0.784	0.925
3	0.932	0.583	0.458	0.582	0.816	0.836
4	0.531	0.649	0.732	0.506	0.976	1.095
5	0.750	0.611	0.737	0.669	0.866	0.871
6	0.780	0.508	0.653	0.751	1.117	1.000
7	0.556	0.774	0.701	0.926	0.956	0.853
8	0.718	0.675	0.942	0.670	0.700	0.874
9	0.659	0.677	0.612	0.682	1.025	1.018
10	0.659	0.692	0.823	0.849	0.878	1.045
rata <sup>2</sup>	0.667	0.637	0.715	0.691	0.889	0.922
Rata <sup>2</sup> total	0.65175		0.70305		0.90525	

#### 4.1.5.2. Hasil uji kekasaran permukaan die simulasi

Tabel 4.7 Hasil Pengukuran kekasaran Diea Simulasi

Pengujian	Nilai kekasaran, Ra, mikron			
	Punch	Blankholder	Diea	Donding
1	0.145	0.189	0.233	
2	0.130	0.160	0.174	
3	0.130	0.270	0.151	
4	0.140	0.267	0.134	
5	0.145	0.279	0.190	
6	0.174	0.151	0.170	
7	0.141	0.240	0.122	
8	0.158	0.230	0.126	
9	0.152	0.194	0.151	
10	0.131	0.156	0.104	0.188
Rata-rata	0.145	0.210	0.155	0.167



#### 4.1.6. Simulasi penarikan dalam

Hasil simulasi penarikan dalam dapat dilihat pada lampiran 8

### 4.2. PEMBAHASAN HASIL PENGUJIAN

Setelah dilakukan pengujian, maka masing masing data baik berupa angka maupun visual dilakukan analisa dan pembahasan, guna melihat keterkaitan antara pengujian yang satu dengan lainnya, Berikut ini adalah pembahasannya.

#### 4.2.1. Karakterisasi material

##### 4.2.1.1. Hasil metalografi

Dari sisi jenis material. Hasil pengamatan metalografi, struktur mikro dari ke tiga jenis material yang di uji ( SECD, SGCC dan SPTE ) terdiri atas butiran ferit, yang berbeda dari ketiganya adalah ukuran butir dari fasa ferit.

Universitas Indonesia

SECD mempunyai ukuran butir ferit yang cukup besar dan agak memanjang, sedangkan SGCC ukuran fasa kecilnya lebih halus dan bulat, sedangkan ukuran butir SPTE lebih besar dari SGCC dan bentuknya bulat lonjong namun berukuran lebih kecil bila dibandingkan dengan butiran SECD.

Dari sisi logam pelapis. Lapisan logam seng pada material SECD pada pembesaran 500X cukup tipis sehingga tidak terlalu jelas, sedangkan lapisan seng pada material SGCC pada pembesaran 500X terlihat cukup jelas, terdapat butiran butiran fasa seng ( dendritik ). Lapisan timah putih pada material SPTE pada pembesaran 500X sangat tipis dan hampir tidak terlihat pada gambar metalografinya.

#### Faktor arah pengerolan.

Butiran ferit pada material SECD, bila dilihat pada arah  $0^\circ$  dan  $90^\circ$  terhadap arah pengerolan ( pada pembesaran 500X ) terlihat agak berbeda, pada arah  $0^\circ$  ( penampangnya ) terlihat bentuk butiran ferit yang bulat memanjang sedangkan pada arah  $90^\circ$  ( penampangnya ) terlihat bulat memanjang juga, hanya lebih panjang bila dibandingkan dengan arah  $0^\circ$ .

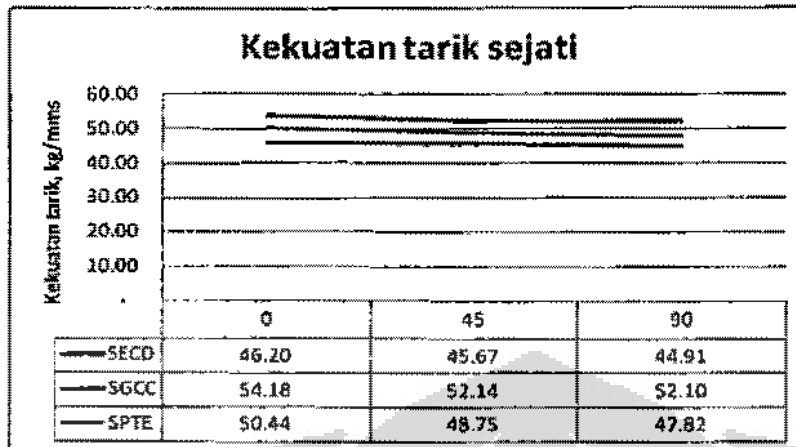
Butiran ferit pada material SGCC, bila dilihat pada arah  $0^\circ$  dan  $90^\circ$  terhadap arah pengerolan juga hampir sama, butirannya terlihat bulat. Terdapat hal yang menarik, yaitu, butiran disekitar lapisan seng terlihat lebih besar disbanding dengan butiran yang berada di pusat.

Hal tersebut dikarena pengaruh dari panas yang diperoleh dari proses celup panas ( *hot dip* ) sehingga butiran di sekitar permukaan bertumbuh lebih cepat dibandingkan dengan butiran pada area pusat ketebalan.

Butiran material SPTE, bila dilihat pada arah  $0^\circ$  dan  $90^\circ$  terhadap arah pengerolan terlihat hampir sama, bulat agak lonjong ( pada pembesaran 500 X ), terdapat campuran antara butiran besar dan kecil, namun pada arah  $90^\circ$  terlihat bentuk butirannya lebih lonjong.

Universitas Indonesia

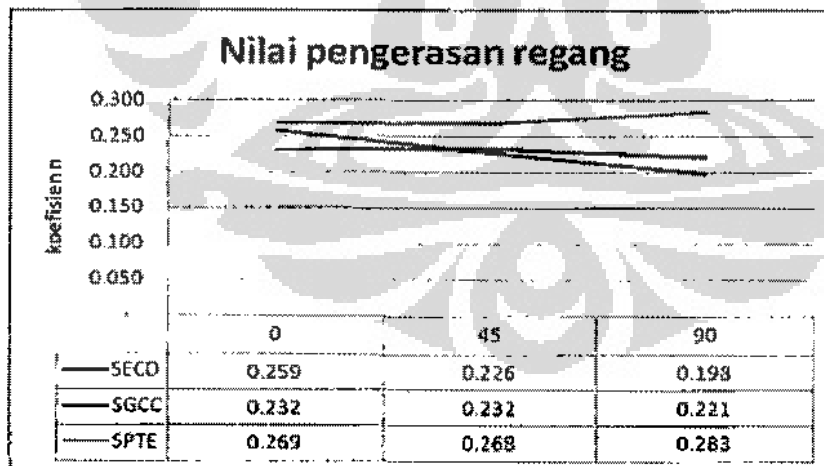
#### 4.2.1.2. Hasil Uji tarik



Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa yang paling besar adalah SGCC, kemudian diikuti oleh SPTE dan yang paling kecil adalah SECD. Sedangkan faktor arah pengerolan ada pengaruhnya namun tidak terlalu menonjol.

Bila dikaitkan dengan pengamatan struktur mikronya, kekuatan tarik berkaitan dengan struktur mikronya dalam hal ini adalah besar dan bentuk dari butiran fasa ferit. Semakin kecil ukuran butir semakin besar kekuatan tariknya.

Material SGCC mempunyai ukuran butir yang paling kecil, kemudian material SPTE, dan yang terbesar adalah material SECD.



Nilai koefisien pengerasan regang material SPTE adalah yang tertinggi, kemudian diikuti oleh SGCC dan SECD.

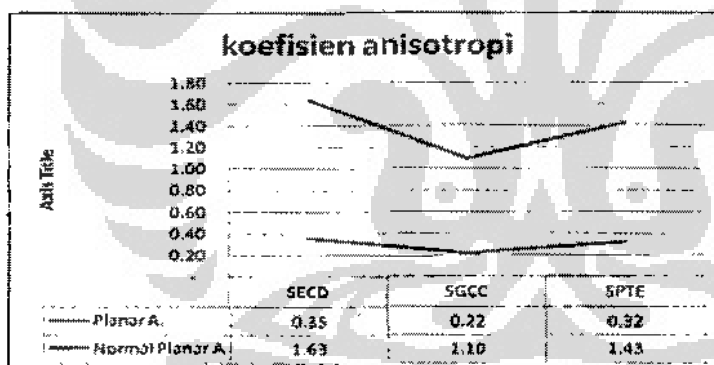
Universitas Indonesia

Nilai dipengaruhi oleh arah rol, pada material SECD dan SGCC terjadi penurunan nilai terhadap arah rol ( dari  $0^\circ$  hingga ke  $90^\circ$  ), sedangkan pada SPTE yang terjadi adalah sebaliknya, nilai  $n$  mengalami sedikit peningkatan pada arah  $90^\circ$ .

Pengerasan regang berkaitan dengan pergerakan dislokasi didalam logam, bila pergerakan dislokasi tersebut tertahan, baik oleh inklusi, endapan fasa kedua atau batas butir maka kekutan logam tersebut akan meningkat. Sehingga dapat dikatakan bahwa salah satu faktor yang mempengaruhi pengerasan regang adalah besar butir, semakin besar butiran suatu logam maka semakin kecil pengerasan regangnya atau nilai  $n$  nya.

Pada material SECD, ukuran butir pada penampang arah  $90^\circ$  terlihat lebih besar daripada arah  $0^\circ$  sehingga terjadi penurunan nilai  $n$  nya.

Nilai  $n$  berkaitan dengan kemampuan material mendistribusikan regangan secara merata, semakin tinggi nilai  $n$  kemampuan material bertahan terhadap robekan (tearing) semakin baik.



Untuk nilai planar anisotropi, material SECD dan SPTE memiliki nilai yang hampir sama sedangkan SGCC berada di bawahnya. Sedangkan untuk nilai normal planar anisotropi, nilai tertinggi dimiliki oleh SECD, kemudian SPTE dan yang terkecil adalah SGCC.

Bentuk butiran SGCC yang cukup bulat dan homogen membuat regangan pada arah lebar dan arah tebal hampir sama. Struktur mikro yang cukup homogen

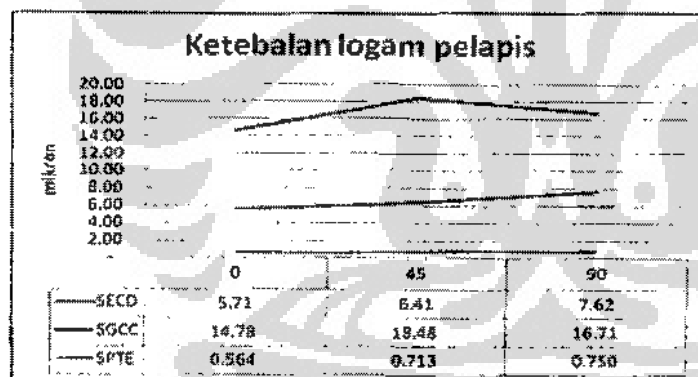
tersebut juga menghasilkan nilai R pada arah  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  dan  $90^\circ$  yang relatif dekat sehingga nilai planar anisotropi dan normal planar anisotropi SGCC rendah.

Sedangkan material SECD dan SPTE memiliki bentuk butiran yang lonjong memanjang sehingga menghasilkan perbedaan regangan antara arah lebar dan arah tebal, begitu pula dipengaruhi oleh arah pengerolan. Dengan demikian kedua material tersebut memiliki nilai planar anisotropi dan normal planar anisotropinya cukup besar, terutama material SECD.

Untuk proses penarikan dalam ( deep drawing ), nilai normal planar anisotropi lebih mendapat perhatian, nilai di atas 1 memiliki kemampuan bentuk yang baik, jadi kemampuan bentuk deep drawing dari material uji berurutan adalah SECD, SPTE dan yang terendah kemampuannya adalah SGCC.

#### 4.2.1.3. Hasil analisa SEM

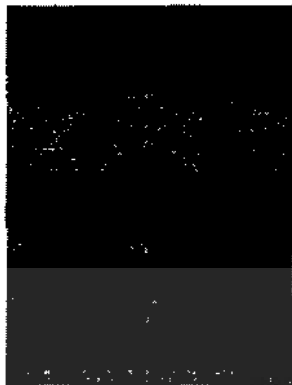
Ketebalan logam pelapis



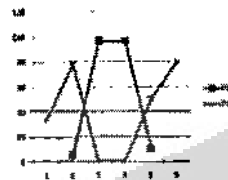
Hasil pengamatan melalui SEM, ketebalan logam pelapis seng pada material SGCC adalah yang tertinggi yaitu di kisaran 15 – 18 mikron, faktor arah pengerolan tidak terlalu berarti. Lapisan seng pada SECD adalah sekitar 6 hingga 7 mikron sedangkan lapisan timah putih ( SPTE ) sekitar 0.5 hingga 0.8 mikron.

## Komposisi kimia lapisan

SECD



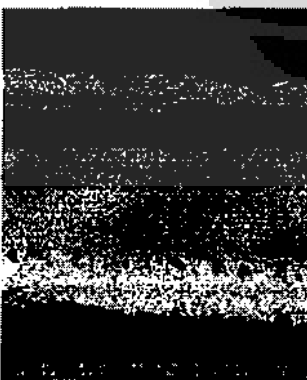
No	Fe	Al	Zn	C	O
1			23.26	43.85	27.67
2	4.21		28.21	18.37	7.80
3	28.53			3.47	
4	28.87			3.25	
5	12.89		20.69	27.38	22.36
6			47.25	7.38	22.52



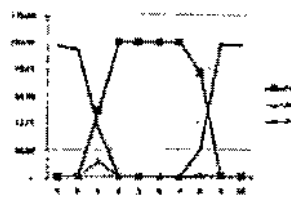
Dari hasil pengamatan melalui SEM, terlihat adanya 2 lapisan Zn pada material SECD, terdapat hal yang menarik bahwa kadar Seng pada lapisan tidak mendekati kadar seng murni (100%) tetapi yang tertinggi hanyalah sekitar 80% sedangkan sisa terdeteksi oleh SEM sebagai karbon (C) dan Oksigen (O).

Berdasarkan laporan pengiriman ( *mill test certificate* ) material SECD mendapatkan perlakuan permukaan ( *surface treatment* ) berupa AC ( *Cr-free anti fingerprint* ) sedangkan material SGCC mendapat perlakuan NC ( *Cr free coating* ). Lapisan tersebut adalah sejenis resin yang ditujukan untuk melindungi material dari serangan korosi, sebelumnya digunakan larutan kromat (VI) untuk membentuk lapisan pasif guna melindungi material dari serangan korosi. Namun karena isu lingkungan perlakuan dengan larutan kromat sudah tidak digunakan lagi.

SGCC



No	Fe	Al	Zn	C	O	S
10			96.83	1.23	1.88	
9			96.76	1.57	Δ.PS	Δ.PS
8	14.84	21.60	25.28	3.81	2.38	
7	28.53			3.48		
6	19.53			2.47		
5	28.48			3.52		
4	28.49			3.51		
3	28.54	3.26	23.79	2.82		
2			27.83	2.07		
1			27.57	2.43		



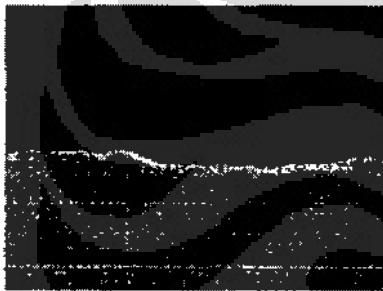
Universitas Indonesia



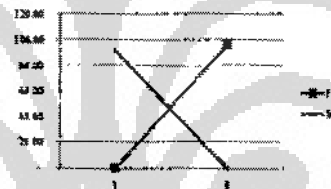
Pada material SGCC terdapat garis batas yang tegas antara lapisan seng dengan material dasar baja, kadar seng pada lapisan adalah sekitar 96 hingga 98%. Terjadi gradasi penurunan kadar seng mulai dari area terluar hingga ke perbatasan antara lapisan seng dengan bajanya.

Hal yang menarik adalah adanya kandungan logam aluminium pada area perbatasan, hal ini karena pada proses pencelupan panas seng, sejumlah aluminium di masukkan ke dalam cairan seng tersebut ( sekitar 0.2% ). Adapun tujuan penambahan unsure Al ini adalah untuk meningkatkan keuletan dari lapisan, sebagai *wetting agent* dan meningkatkan penampilan ( *appearance* ) produk

SPTED

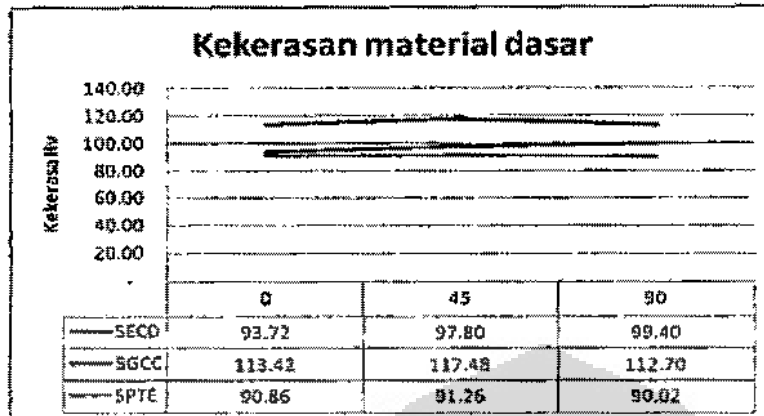


No	Fe	Al	Sn	C
2	-	-	92.25	1.61
1	94.85	-	-	3.13



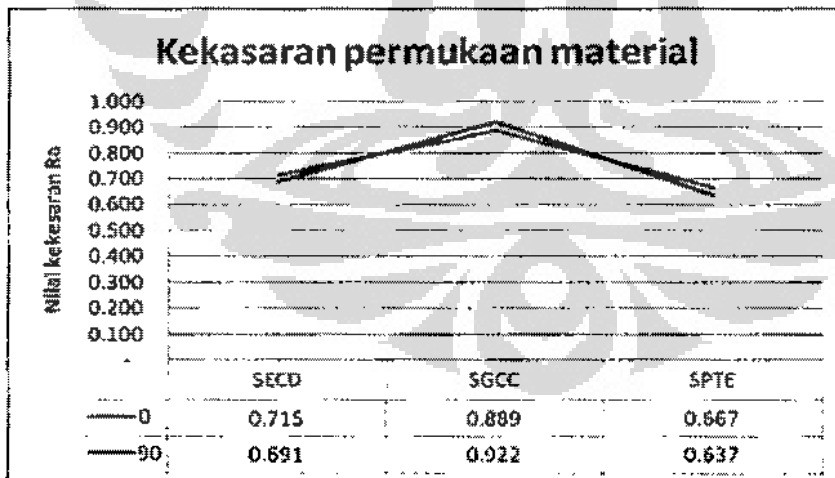
Lapisan timah putih pada material SPTED sangatlah tipis ( berwarna putih ) mengikuti kontur dari permukaan material dasar. Kadar timah yang tertinggi adalah sekitar 98%.

#### 4.2.1.4. Uji kekerasan mikro



Karena material yang akan diuji tipis ( 0.4 – 0.55 mm ) maka metode kekerasan yang dipilih adalah kekerasan mikro, sehingga kemungkinan terjadinya hasil pengujian yang menyimpang cukup besar. Dari hasil pengujian terlihat bahwa faktor arah pengerolan tidak terlalu menonjol, SGCC terlihat yang paling keras, disusul oleh SECD dan SPTE. Hasil pengujian kekerasan ini agak kontradiktif bila dibandingkan dengan hasil pengujian tarik.

#### 4.2.2. Uji kekasaran



Kekasaran permukaan SPTE dan SECD hampir sama sedangkan kekasaran permukaan SGCC lebih besar. Pengaruh arah pengerolan untuk ketiga material

tersebut juga tidak terlalu menonjol. Kekasaran permukaan tidak berkaitan dengan karakter material lainnya seperti kekerasan, kekuatan tarik, kekasaran permukaan sepenuhnya dipengaruhi oleh parameter parameter proses selama proses pelapisan.

#### 4.2.3. Simulasi penarikan dalam

Dari hasil analisa minyak pelumas.

Pada temperatur rendah ( 40 °C ) Iloform memiliki viskositas tertinggi lalu diikuti dengan Neoform dan Bimoli, namun pada temperatur tinggi keadaan menjadi terbalik, viskositas Bimoli dan Neoform lebih tinggi daripada Iloform.

Tabel 4.8 Rekapitulasi analisa minyak pelumas

Parameter	Unit	method	Pelumas 1	Pelumas 2	Pelumas 3
			Bimoli	Neoform	Castrol Iloform
				LG 3000	Iloform
Colour	No ASTM	ASTM D 1500/05	L1	L2	4
Kinematic Viscosity, 40°C	cSt	ASTM D 445/05	39.6	40.1	43
Kinematic Viscosity, 100°C	cSt	ASTM D 445/05	8.4	8.3	7
Viscosity Index		ASTM D 2270/05	196.0	189.0	103
Density, 15°C	kg/m <sup>3</sup>	ASTM D 1203/05	915.0	915.0	904
Sulphur % wt	ppm	ASTM D 2622/05	9.4	38.7	30,283
Chlorine % Wt	ppm	Spectroscopy	< 5	< 5	6

Hal tersebut sejalan dengan nilai indek viskositas, dimana nilai viskositas Bimoli dan Neoform lebih tinggi daripada Iloform, artinya Bimoli dan Neoform lebih mampu mempertahankan perubahan viskositasnya karena temperatur dibandingkan dengan Iloform.

Dari data analisa yang dilakukan oleh Petrolab, terlihat bahwa bimoli memiliki karakter yang hampir sama dengan Neoform, hanya pada Neoform ditambahkan bahan additif Sulphur, guna meningkatkan kinerjanya. Sedangkan kadar additif yang dikandung oleh Iloform terlihat jauh menonjol dibandingkan dengan Bimoli dan Neoform.

Penambahan bahan additif klorin dan sulphur ke dalam pelumas bertujuan agar selama proses kedua unsur tersebut dalam skala mikro pada permukaan asperiti

Universitas Indonesia

- Proses pembersihan produk lebih mudah

Untuk minyak pelumas Iloform

- Minyak pelumas lebih lengket sehingga sulit untuk dibersihkan
- Produk berwarna kekuning kuningan karena minyak pelumas berwarna agak gelap
- Tetap ditemukan endapan dari erosi lapisan Seng

Dengan demikian, minyak pelumas Neoform dirasakan lebih baik kinerja dibandingkan dengan bimoli walaupun pada saat pengujian skala lab, minyak bimoli memberikan hasil mampu bentuk yang lebih baik.

Perbedaan antara skala lab dengan skala pabrik adalah

- Temperatur operasi
- Kecepatan pemukulan (*punching*).

Universitas Indonesia

## BAB V.

### KESIMPULAN

Dari pembahasan di atas maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Di antara ke tiga material yang di uji, yaitu SECD, SGCC dan SPTE, material SECD memiliki mampu bentuk yang terbaik, hal tersebut didukung oleh data hasil uji tarik dimana nilai Normal Planar Anisotropi (R) material SECD adalah yang paling tinggi dibandingkan dengan kedua material lainnya, hal lain yang mendukung kesimpulan tersebut adalah data hasil uji simulasi *deep drawing*, dimana material SECD selalu memiliki nilai LDR ( Limiting Drawing ratio ) yang tertinggi pada berbagai variasi jenis pelumas.
2. Dari hasil simulasi *deep drawing*, pengujian tanpa pelumas ( kering ) dan kertas memberikan nilai LDR yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan pengujian dengan menggunakan minyak pelumas ( Bimoli, Neoform dan Iloform ), namun dari hasil pengamatan visual terhadap sampel simulasi menunjukkan bahwa pengujian tanpa menggunakan minyak pelumas menghasilkan erosi dan guratan yang dalam pada permukaan sampel.
3. Hasil pengamatan terhadap pengujian dalam skala pabrik, menunjukkan bahwa minyak merk Neoform memberikan indikasi hasil yang lebih baik dibandingkan Bimoli, namun belum mampu menghilangkan erosi yang terjadi pada lapisan Seng. Sedangkan minyak merk Iloform dirasakan lebih lekat dan sulit untuk di bersihkan dari produk.
4. Jadi penggantian bahan baku dari SPTE menjadi SECD, secara teknis pembentukan logam sudah benar, hanya harus di cari penyelesaian atas erosi yang terjadi selama proses produksi.

Universitas Indonesia

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Marciniak, J.L. Duncan, S.J. Hu, *Mechanics of Sheet Metal Forming*, (Oxford: Butterworth Heinemann, 2002 ).
- [2] Abdul Karim, "Pengaruh Pelumasan Terhadap Sifat Mampu Bentuk Lembaran Baja Galvanis Perforasi Heksagonal", Skripsi, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jurusan Metalurgi, Depok 2000.
- [3] ASM International Handbook Committee, *Metal Handbook Volume 14 : Forming and Forging*, ( ASM International, 1996 ).
- [4] Schuler, *Metal Forming Handbook*,( Berlin Heidelberg : Springer-verlag 1998 ).
- [5] ASM International Handbook Committee, *Metal Handbook Volume 3 : Alloy Phase Diagram*, ( ASM International, 1996 ).
- [6] ASM International Handbook Committee, *Metal Handbook Volume 5 : Surface Engineering*, ( ASM International, 1996 ).
- [7] Ibnu Dahlan, "Pengaruh Temperatur Galvanisasi Baja Lembaran SPCC Terhadap Sifat Mekanis dan Nilai Limiting Drawing Ratio (LDR)", Skripsi, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jurusan Metalurgi, Depok, 1999.
- [8] Fredrik W. Lindvall, "Development of a Test Method for Measuring Galling Resistance", Tesis Master, Fakultas Material Teknik Karlstads Universitet, Karlstad, 2007.
- [9] Ilija Gawrilow, "Palm oil usage in lubricant", presented at 3<sup>rd</sup> Global Oils and Fats Business Forum USA :Interfacing with the Global Oils and Fats Business, 2003.
- [10] D.M. Pirro, A.A. Wessol, *Lubrication Fundamental*, ( Marcel Dekker, Inc, 2001 )
- [11] Per Carlsson, *Surface Engineering in Sheet Metal Forming*, Uppsala : Acta Universitatis Upsaliensis,2005.

Universitas Indonesia



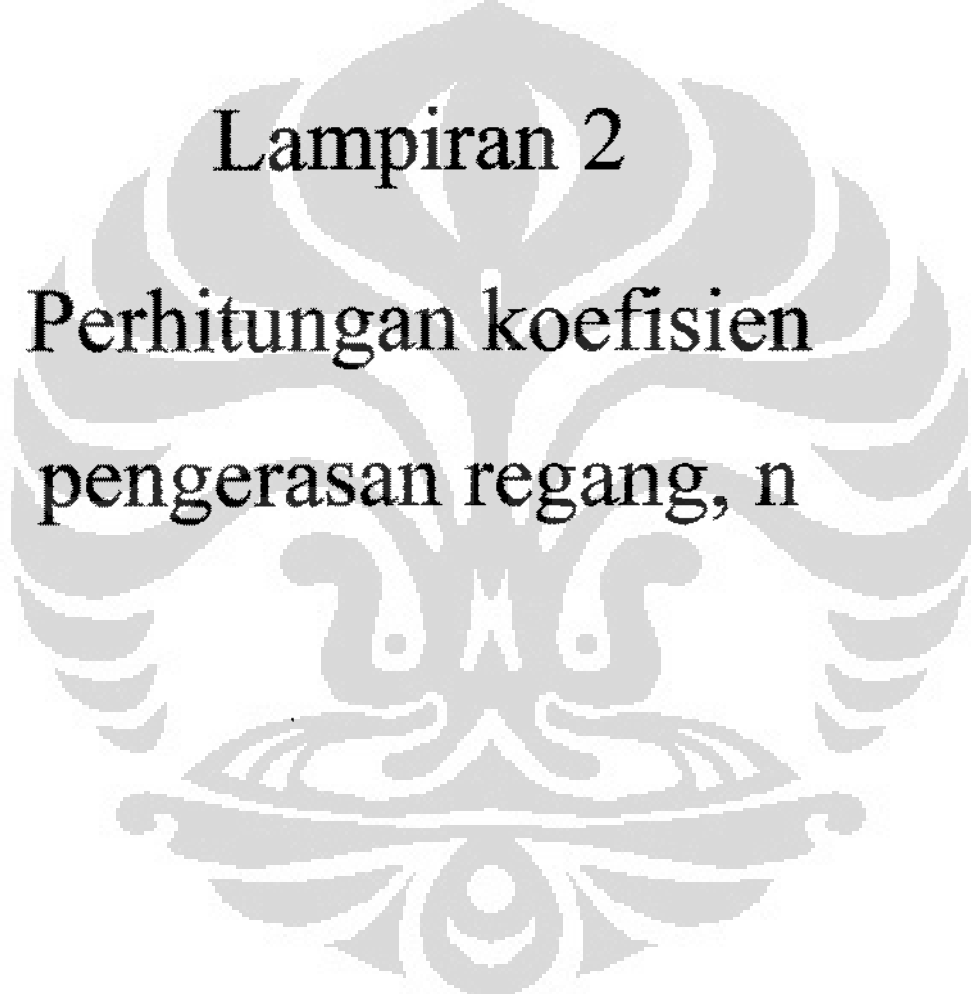
Lampiran 1

Perhitungan tegangan tarik  
dan regangan

Lampiran 1. Perhitungan kekuatan tarik rekayasa, kekuatan tarik sejati, kekuatan luluh dan regangan

Jenis material	Sampel	Dimensi		luas (mm <sup>2</sup> )	L mm	ΔL	Pu (kg)	Py (kg)	Su (kg/mm <sup>2</sup> )	σ <sub>u</sub> (kg/mm <sup>2</sup> )	σ <sub>y</sub> (kg/mm <sup>2</sup> )	e (%)
		t, mm	w, mm									
SECD - 0	1	0.406	26.00	10.56	50	22.20	340	230	32.21	46.51	21.79	44.40%
	2	0.406	26.00	10.56	50	21.60	340	230	32.21	46.12	21.79	43.20%
	3	0.406	26.00	10.56	50	21.35	340	230	32.21	45.96	21.79	42.70%
average		0.406	26.00	10.56	50	21.72	340	230	32.21	46.20	21.79	43.43%
SECD - 45	1	0.406	26.00	10.56	50	21.25	345	235	32.68	46.57	22.26	42.50%
	2	0.406	26.00	10.56	50	20.10	340	230	32.21	45.16	21.79	40.20%
	3	0.406	26.00	10.56	50	19.25	345	230	32.68	45.27	21.79	38.50%
average		0.406	26.00	10.56	50	20.20	343	232	32.52	45.67	21.95	40.40%
SECD - 90	1	0.406	26.00	10.56	50	19.70	340	230	32.21	44.90	21.79	39.40%
	2	0.406	26.00	10.56	50	19.90	340	230	32.21	45.03	21.79	39.80%
	3	0.406	26.00	10.56	50	19.55	340	230	32.21	44.80	21.79	39.10%
average		0.406	26.00	10.56	50	19.72	340	230	32.21	44.91	21.79	39.43%
SGCC - 0	1	0.430	24.40	10.50	50	19.35	410	335	39.06	54.18	31.91	38.70%
	2	0.430	24.40	10.50	50	19.35	400	320	38.11	52.85	30.49	38.70%
	3	0.430	24.40	10.50	50	19.35	400	335	38.11	52.85	31.91	38.70%
average		0.430	24.40	10.50	50	19.35	403	330	38.42	53.29	31.44	38.70%
SGCC - 45	1	0.430	24.40	10.50	50	18.45	400	340	38.11	52.17	32.39	36.90%
	2	0.430	24.40	10.50	50	18.35	400	330	38.11	52.09	31.44	36.70%
	3	0.430	24.40	10.50	50	18.45	400	330	38.11	52.17	31.44	36.90%
average		0.430	24.40	10.50	50	18.42	400	333	38.11	52.14	31.76	36.83%
SGCC - 90	1	0.430	24.40	10.50	50	18.60	400	325	38.11	52.28	30.96	37.20%
	2	0.430	24.40	10.50	50	18.55	395	315	37.63	51.59	30.01	37.10%
	3	0.430	24.40	10.50	50	18.80	400	325	38.11	52.43	30.96	37.60%
average		0.430	24.40	10.50	50	18.65	398	322	37.95	52.10	30.64	37.30%
SPTE - 0	1	0.507	24.70	12.51	50	22.55	445	290	35.56	51.60	23.18	45.10%
	2	0.507	24.70	12.51	50	21.60	440	280	35.16	50.35	22.38	43.20%
	3	0.507	24.70	12.51	50	22.65	425	280	33.96	49.35	22.38	45.30%
average		0.507	24.70	12.51	50	22.27	437	283	34.90	50.44	22.64	44.53%
SPTE - 45	1	0.507	25.60	12.97	50	21.20	445	270	34.31	48.86	20.82	42.40%
	2	0.507	25.60	12.97	50	21.25	440	270	33.93	48.35	20.82	42.50%
	3	0.507	25.60	12.97	50	21.45	445	280	34.31	49.03	21.59	42.90%
average		0.507	25.60	12.97	50	21.30	443	273	34.18	48.75	21.08	42.60%
SPTE - 90	1	0.507	25.80	13.07	50	21.50	435	270	33.28	47.59	20.66	43.00%
	2	0.507	25.90	13.12	50	21.10	440	280	33.53	47.69	21.34	42.20%
	3	0.507	25.80	13.07	50	21.55	440	270	33.66	48.17	20.66	43.10%
average		0.507	25.83	13.09	50	21.38	438	273	33.49	47.82	20.89	42.77%





Lampiran 2  
Perhitungan koefisien  
pengerasan regang,  $n$

Lampiran 2. Menghitung koefisien pengerasan regang, n

Nama sampel		SECD-0		Luas penampang, mm <sup>2</sup>		10.56			
No sampel		1		panjang ukur, mm		50			
$\Delta L$ , mm	P, kg	e	S, kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon = \ln(1+e)$	$\sigma_y = S(1+e)$	X - log $\epsilon$	Y - log $\sigma_y$	n	k
5.0	310.0	0.10	29.367	0.09531	32.30390	-1.021	1.51	0.257	1.771
7.5	325.0	0.15	30.788	0.13976	35.40640	-0.855	1.55		
10.0	335.0	0.20	31.736	0.18232	38.08261	-0.739	1.58		
12.5	340.0	0.25	32.209	0.22314	40.26146	-0.651	1.60		
15.0	340.0	0.30	32.209	0.26236	41.87192	-0.581	1.62		
17.5	339.0	0.35	32.114	0.30010	43.35449	-0.523	1.64		
20.0	335.0	0.40	31.736	0.33647	44.42971	-0.473	1.65		
22.5	322.0	0.45	30.504	0.37156	44.23077	-0.430	1.65		

Nama sampel		SECD-0		Luas penampang, mm <sup>2</sup>		10.56			
No sampel		2		panjang ukur, mm		50			
$\Delta L$ , mm	P, kg	e	S, kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon = \ln(1+e)$	$\sigma_y = S(1+e)$	X - log $\epsilon$	Y - log $\sigma_y$	n	k
5.0	304.0	0.10	28.799	0.09531	31.67867	-1.021	1.50	0.25657	1.76234
7.5	320.0	0.15	30.315	0.13976	34.86169	-0.855	1.54		
10.0	329.0	0.20	31.167	0.18232	37.40053	-0.739	1.57		
12.5	332.0	0.25	31.451	0.22314	39.31413	-0.651	1.59		
15.0	334.0	0.30	31.641	0.26236	41.13300	-0.581	1.61		
17.5	333.0	0.35	31.546	0.30010	42.58715	-0.523	1.63		
20.0	329.0	0.40	31.167	0.33647	43.63395	-0.473	1.64		
22.5	313.0	0.45	29.651	0.37156	42.99451	-0.430	1.63		

Nama sampel		SECD-0		Luas penampang, mm <sup>2</sup>		10.56			
No sampel		3		panjang ukur, mm		50			
$\Delta L$ , mm	P, kg	e	S, kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon = \ln(1+e)$	$\sigma_y = S(1+e)$	X - log $\epsilon$	Y - log $\sigma_y$	n	k
5.0	307.0	0.10	29.083	0.09531	31.99128	-1.021	1.51	0.263	1.777
7.5	320.0	0.15	30.315	0.13976	34.86169	-0.855	1.54		
10.0	331.0	0.20	31.357	0.18232	37.62789	-0.739	1.58		
12.5	337.0	0.25	31.925	0.22314	39.90621	-0.651	1.60		
15.0	340.0	0.30	32.209	0.26236	41.87192	-0.581	1.62		
17.5	339.0	0.35	32.114	0.30010	43.35449	-0.523	1.64		
20.0	331.0	0.40	31.357	0.33647	43.89920	-0.473	1.64		
22.5	317.0	0.45	30.030	0.37156	43.54396	-0.430	1.64		

Nama sampel		SECD-45		Luas penampang, mm <sup>2</sup>		10.56			
No sampel		1		panjang ukur, mm		50			
$\Delta L$ , mm	P, kg	e	S, kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon = \ln(1+e)$	$\sigma_y = S(1+e)$	X - log $\epsilon$	Y - log $\sigma_y$	n	k
5.0	319.0	0.10	30.220	0.09531	33.24176	-1.021	1.52	0.229	1.7555
7.5	331.0	0.15	31.357	0.13976	36.06006	-0.855	1.56		
10.0	340.0	0.20	32.209	0.18232	38.65100	-0.739	1.59		
12.5	343.0	0.25	32.493	0.22314	40.61671	-0.651	1.61		
15.0	343.0	0.30	32.493	0.26236	42.24138	-0.581	1.63		
17.5	340.0	0.35	32.209	0.30010	43.48238	-0.523	1.64		
20.0	330.0	0.40	31.262	0.33647	43.76658	-0.473	1.64		

Nama sampel		SECD-45		Luas penampang, mm <sup>2</sup>		10.56			
No sampel		2		panjang ukur, mm		50			
$\Delta L$ , mm	P, kg	e	S, kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon = \ln(1+e)$	$\sigma_y = S(1+e)$	X - log $\epsilon$	Y - log $\sigma_y$	n	k
5.0	313.0	0.10	29.651	0.09531	32.61652	-1.021	1.51	0.2346	1.7549
7.5	329.0	0.15	31.167	0.13976	35.84218	-0.855	1.55		
10.0	336.0	0.20	31.830	0.18232	38.19629	-0.739	1.58		
12.5	340.0	0.25	32.209	0.22314	40.26146	-0.651	1.60		
15.0	340.0	0.30	32.209	0.26236	41.87192	-0.581	1.62		
17.5	337.0	0.35	31.925	0.30010	43.09871	-0.523	1.63		
20.0	327.0	0.40	30.978	0.33647	43.36870	-0.473	1.64		

Nama sampel		SECD-45		Luas penampang, mm <sup>2</sup>		10.56			
No sampel		3		panjang ukur, mm		50			
$\Delta L$ , mm	P, kg	e	S, kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon = \ln(1+e)$	$\sigma_y = S(1+e)$	X - log $\epsilon$	Y - log $\sigma_y$	n	k
5.0	320.0	0.10	30.315	0.09531	33.34596	-1.021	1.52	0.2137	1.7449
7.5	334.0	0.15	31.641	0.13976	36.38689	-0.855	1.56		
10.0	341.0	0.20	32.304	0.18232	38.76468	-0.739	1.59		
12.5	345.0	0.25	32.683	0.22314	40.85354	-0.651	1.61		
15.0	345.0	0.30	32.683	0.26236	42.48768	-0.581	1.63		
17.5	341.0	0.35	32.304	0.30010	43.61027	-0.523	1.64		
20.0	320.0	0.40	30.315	0.33647	42.44032	-0.473	1.63		

Nama sampel		SECD-90		Luas penampang, mm <sup>2</sup>		10.56			
No sampel		1		panjang ukur, mm		50			
$\Delta L$ , mm	P, kg	e	S, kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon = \ln(1+e)$	$\sigma_y = S(1+e)$	X - log $\epsilon$	Y - log $\sigma_y$	n	k
5.0	319.0	0.10	30.220	0.09531	33.24176	-1.021	1.52	0.1923	1.7233
7.5	331.0	0.15	31.357	0.13976	36.06006	-0.855	1.56		
10.0	339.0	0.20	32.114	0.18232	38.53732	-0.739	1.59		
12.5	340.0	0.25	32.209	0.22314	40.26146	-0.651	1.60		
15.0	340.0	0.30	32.209	0.26236	41.87192	-0.581	1.62		
17.5	330.0	0.35	31.262	0.30010	42.20349	-0.523	1.63		
20.0	311.0	0.40	29.462	0.33647	41.24668	-0.473	1.62		

Nama sampel		SECD-90		Luas penampang, mm <sup>2</sup>		10.56			
No sampel		2		panjang ukur, mm		50			
$\Delta L$ , mm	P, kg	e	S, kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon = \ln(1+e)$	$\sigma_y = S(1+e)$	X - log $\epsilon$	Y - log $\sigma_y$	n	k
5.0	315.0	0.10	29.841	0.09531	32.82493	-1.021	1.52	0.209	1.7347
7.5	330.0	0.15	31.262	0.13976	35.95112	-0.855	1.56		
10.0	337.0	0.20	31.925	0.18232	38.30997	-0.739	1.58		
12.5	340.0	0.25	32.209	0.22314	40.26146	-0.651	1.60		
15.0	340.0	0.30	32.209	0.26236	41.87192	-0.581	1.62		
17.5	332.0	0.35	31.451	0.30010	42.45926	-0.523	1.63		
20.0	315.0	0.40	29.841	0.33647	41.77719	-0.473	1.62		

Nama sampel		SECD-90		Luas penampang, mm <sup>2</sup>		10.56			
No sampel		3		panjang ukur, mm		50			
$\Delta L$ , mm	P, kg	e	S, kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon = \ln(1+e)$	$\sigma_y = S(1+e)$	X - log $\epsilon$	Y - log $\sigma_y$	n	k
5.0	319.0	0.10	30.220	0.09531	33.24176	-1.021	1.52	0.193	1.724
7.5	330.0	0.15	31.262	0.13976	35.95112	-0.855	1.56		
10.0	339.0	0.20	32.114	0.18232	38.53732	-0.739	1.59		
12.5	340.0	0.25	32.209	0.22314	40.26146	-0.651	1.60		
15.0	340.0	0.30	32.209	0.26236	41.87192	-0.581	1.62		
17.5	331.0	0.35	31.357	0.30010	42.33138	-0.523	1.63		
20.0	310.0	0.40	29.367	0.33647	41.11406	-0.473	1.61		

Nama sampel		SGCC-0		Luas penampang, mm <sup>2</sup>		10.50			
No sampel		1		panjang ukur, mm		50			
$\Delta L$ , mm	P, kg	e	S, kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon = \ln(1+e)$	$\sigma_y = S(1+e)$	X - log $\epsilon$	Y - log $\sigma_y$	n	k
5.0	381.0	0.10	36.296	0.09531	39.92615	-1.021	1.60	0.2322	1.8366
7.5	395.0	0.15	37.630	0.13976	43.27476	-0.855	1.64		
10.0	402.0	0.20	38.297	0.18232	45.95651	-0.739	1.66		
12.5	408.0	0.25	38.869	0.22314	48.58587	-0.651	1.69		
15.0	408.0	0.30	38.869	0.26236	50.52930	-0.581	1.70		
17.5	403.0	0.35	38.392	0.30010	51.82969	-0.523	1.71		
20.0	385.0	0.40	36.678	0.33647	51.34859	-0.473	1.71		

Nama sampel		SGCC-0		Luas penampang, mm <sup>2</sup>		10.50			
No sampel		2		panjang ukur, mm		50			
$\Delta L$ , mm	P, kg	e	S, kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon = \ln(1+e)$	$\sigma_y = S(1+e)$	X - log $\epsilon$	Y - log $\sigma_y$	n	k
5.0	371.0	0.10	35.344	0.09531	38.87822	-1.021	1.59	0.2408	1.8317
7.5	382.0	0.15	36.392	0.13976	41.85053	-0.855	1.62		
10.0	391.0	0.20	37.249	0.18232	44.69900	-0.739	1.65		
12.5	398.0	0.25	37.916	0.22314	47.39504	-0.651	1.68		
15.0	400.0	0.30	38.107	0.26236	49.53853	-0.581	1.69		
17.5	395.0	0.35	37.630	0.30010	50.80081	-0.523	1.71		
20.0	386.0	0.40	36.773	0.33647	51.48196	-0.473	1.71		

Nama sampel		SGCC-0		Luas penampang, mm <sup>2</sup>		10.50			
No sampel		3		panjang ukur, mm		50			
$\Delta L$ , mm	P, kg	e	S, kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon = \ln(1+e)$	$\sigma_y = S(1+e)$	X - log $\epsilon$	Y - log $\sigma_y$	n	k
5.0	377.0	0.10	35.915	0.09531	39.50698	-1.021	1.60	0.2241	1.8239
7.5	390.0	0.15	37.154	0.13976	42.72698	-0.855	1.63		
10.0	397.0	0.20	37.821	0.18232	45.38491	-0.739	1.66		
12.5	400.0	0.25	38.107	0.22314	47.63320	-0.651	1.68		
15.0	400.0	0.30	38.107	0.26236	49.53853	-0.581	1.69		
17.5	396.0	0.35	37.725	0.30010	50.92942	-0.523	1.71		
20.0	374.0	0.40	35.630	0.33647	49.88149	-0.473	1.70		

Nama sampel		SGCC-45		Luas penampang, mm <sup>2</sup>		10.50			
No sampel		1		panjang ukur, mm		50			
$\Delta L$ , mm	P, kg	e	S, kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon = \ln(1+e)$	$\sigma_y = S(1+e)$	X - log $\epsilon$	Y - log $\sigma_y$	n	k
5.0	379.0	0.10	36.106	0.09531	39.71656	-1.021	1.60	0.2232	1.8251
7.5	391.0	0.15	37.249	0.13976	42.83654	-0.855	1.63		
10.0	400.0	0.20	38.107	0.18232	45.72787	-0.739	1.66		
12.5	401.0	0.25	38.202	0.22314	47.75228	-0.651	1.68		
15.0	401.0	0.30	38.202	0.26236	49.66238	-0.581	1.70		
17.5	398.0	0.35	37.916	0.30010	51.18664	-0.523	1.71		
20.0	370.0	0.40	35.249	0.33647	49.34800	-0.473	1.69		

Nama sampel		SGCC-45		Luas penampang, mm <sup>2</sup>		10.50			
No sampel		2		panjang ukur, mm		50			
$\Delta L$ , mm	P, kg	e	S, kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon = \ln(1+e)$	$\sigma_y = S(1+e)$	X - log $\epsilon$	Y - log $\sigma_y$	n	k
5.0	379.0	0.10	36.106	0.09531	39.71656	-1.021	1.60	0.2245	1.8262
7.5	391.0	0.15	37.249	0.13976	42.83654	-0.855	1.63		
10.0	400.0	0.20	38.107	0.18232	45.72787	-0.739	1.66		
12.5	401.0	0.25	38.202	0.22314	47.75228	-0.651	1.68		
15.0	401.0	0.30	38.202	0.26236	49.66238	-0.581	1.70		
17.5	399.0	0.35	38.011	0.30010	51.31525	-0.523	1.71		
20.0	385.0	0.40	36.678	0.33647	51.34859	-0.473	1.71		

Nama sampel		SGCC-45		Luas penampang, mm <sup>2</sup>		10.50			
No sampel		3		panjang ukur, mm		50			
$\Delta L$ , mm	P, kg	e	S, kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon = \ln(1+e)$	$\sigma_y = S(1+e)$	X - log $\epsilon$	Y - log $\sigma_y$	n	k
5.0	370.0	0.10	35.249	0.09531	38.77343	-1.021	1.59	0.2481	1.8384
7.5	384.0	0.15	36.582	0.13976	42.06964	-0.855	1.62		
10.0	391.0	0.20	37.249	0.18232	44.69900	-0.739	1.65		
12.5	399.0	0.25	38.011	0.22314	47.51412	-0.651	1.68		
15.0	400.0	0.30	38.107	0.26236	49.53853	-0.581	1.69		
17.5	400.0	0.35	38.107	0.30010	51.44386	-0.523	1.71		
20.0	395.0	0.40	37.630	0.33647	52.68232	-0.473	1.72		

Nama sampel		SGCC-90		Luas penampang, mm <sup>2</sup>		10.50			
No sampel		1		panjang ukur, mm		50			
$\Delta L$ , mm	P, kg	e	S, kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon = \ln(1+e)$	$\sigma_y = S(1+e)$	X - log $\epsilon$	Y - log $\sigma_y$	n	k
5.0	380.0	0.10	36.201	0.09531	39.82136	-1.021	1.60	0.2143	1.8168
7.5	390.0	0.15	37.154	0.13976	42.72698	-0.855	1.63		
10.0	397.0	0.20	37.821	0.18232	45.38491	-0.739	1.66		
12.5	400.0	0.25	38.107	0.22314	47.63320	-0.651	1.68		
15.0	400.0	0.30	38.107	0.26236	49.53853	-0.581	1.69		
17.5	393.0	0.35	37.440	0.30010	50.54359	-0.523	1.70		
20.0	360.0	0.40	34.296	0.33647	48.01427	-0.473	1.68		

Nama sampel		SGCC-90		Luas penampang, mm <sup>2</sup>		10.50			
No sampel		2		panjang ukur, mm		50			
$\Delta L$ , mm	P, kg	e	S, kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon = \ln(1+e)$	$\sigma_y = S(1+e)$	X - log $\epsilon$	Y - log $\sigma_y$	n	k
5.0	370.0	0.10	35.249	0.09531	38.77343	-1.021	1.59	0.2287	1.82
7.5	382.0	0.15	36.392	0.13976	41.85053	-0.855	1.62		
10.0	390.0	0.20	37.154	0.18232	44.58468	-0.739	1.65		
12.5	395.0	0.25	37.630	0.22314	47.03779	-0.651	1.67		
15.0	395.0	0.30	37.630	0.26236	48.91930	-0.581	1.69		
17.5	389.0	0.35	37.059	0.30010	50.02915	-0.523	1.70		
20.0	377.0	0.40	35.915	0.33647	50.28161	-0.473	1.70		

Nama sampel		SGCC-90		Luas penampang, mm <sup>2</sup>		10.50			
No sampel		3		panjang ukur, mm		50			
$\Delta L$ , mm	P, kg	e	S, kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon = \ln(1+e)$	$\sigma_y = S(1+e)$	X - log $\epsilon$	Y - log $\sigma_y$	n	k
5.0	374.0	0.10	35.630	0.09531	39.19260	-1.021	1.59	0.2212	1.8182
7.5	388.0	0.15	36.963	0.13976	42.50787	-0.855	1.63		
10.0	393.0	0.20	37.440	0.18232	44.92764	-0.739	1.65		
12.5	398.0	0.25	37.916	0.22314	47.39504	-0.651	1.68		
15.0	398.0	0.30	37.916	0.26236	49.29084	-0.581	1.69		
17.5	390.0	0.35	37.154	0.30010	50.15776	-0.523	1.70		
20.0	372.0	0.40	35.439	0.33647	49.61474	-0.473	1.70		

Nama sampel		SPTE-0		Luas penampang, mm <sup>2</sup>		12.51			
No sampel		1		panjang ukur, mm		50			
$\Delta L$ , mm	P, kg	e	S, kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon = \ln(1+e)$	$\sigma_y = S(1+e)$	X - log $\epsilon$	Y - log $\sigma_y$	n	k
5.0	397.0	0.10	31.727	0.09531	34.89965	-1.021	1.54	0.2677	1.8159
7.5	420.0	0.15	33.565	0.13976	38.59979	-0.855	1.59		
10.0	431.0	0.20	34.444	0.18232	41.33295	-0.739	1.62		
12.5	440.0	0.25	35.163	0.22314	43.95422	-0.651	1.64		
15.0	441.0	0.30	35.243	0.26236	45.81628	-0.581	1.66		
17.5	441.0	0.35	35.243	0.30010	47.57844	-0.523	1.68		
20.0	440.0	0.40	35.163	0.33647	49.22872	-0.473	1.69		
22.5	429.0	0.45	34.284	0.37156	49.71222	-0.430	1.70		

Nama sampel		SPTE-0		Luas penampang, mm <sup>2</sup>		12.51			
No sampel		2		panjang ukur, mm		50			
$\Delta L$ , mm	P, kg	e	S, kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon = \ln(1+e)$	$\sigma_y = S(1+e)$	X - log $\epsilon$	Y - log $\sigma_y$	n	k
5.0	390.0	0.10	31.168	0.09531	34.28429	-1.021	1.54	0.273	1.8147
7.5	412.0	0.15	32.926	0.13976	37.86456	-0.855	1.58		
10.0	429.0	0.20	34.284	0.18232	41.14115	-0.739	1.61		
12.5	435.0	0.25	34.764	0.22314	43.45474	-0.651	1.64		
15.0	440.0	0.30	35.163	0.26236	45.71239	-0.581	1.66		
17.5	440.0	0.35	35.163	0.30010	47.47055	-0.523	1.68		
20.0	435.0	0.40	34.764	0.33647	48.66931	-0.473	1.69		
22.5	421.0	0.45	33.645	0.37156	48.78519	-0.430	1.69		

Nama sampel		SPTE-0		Luas penampang, mm <sup>2</sup>		12.51			
No sampel		3		panjang ukur, mm		50			
$\Delta L$ , mm	P, kg	e	S, kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon = \ln(1+e)$	$\sigma_y = S(1+e)$	X - log $\epsilon$	Y - log $\sigma_y$	n	k
5.0	381.0	0.10	30.448	0.09531	33.49311	-1.021	1.52	0.2666	1.7965
7.5	401.0	0.15	32.047	0.13976	36.85361	-0.855	1.57		
10.0	413.0	0.20	33.006	0.18232	39.60675	-0.739	1.60		
12.5	421.0	0.25	33.645	0.22314	42.05619	-0.651	1.62		
15.0	424.0	0.30	33.885	0.26236	44.05012	-0.581	1.64		
17.5	425.0	0.35	33.965	0.30010	45.85224	-0.523	1.66		
20.0	420.0	0.40	33.565	0.33647	46.99105	-0.473	1.67		
22.5	409.0	0.45	32.686	0.37156	47.39463	-0.430	1.68		



Nama sampel		SPTE-45		Luas penampang, mm <sup>2</sup>		12.97			
No sampel		1		panjang ukur, mm		50			
$\Delta L$ , mm	P, kg	e	S, kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon = \ln(1+e)$	$\sigma_y = S(1+e)$	X - log $\epsilon$	Y - log $\sigma_y$	n	
5.0	391.0	0.10	30.149	0.09531	33.16380	-1.021	1.52	0.2808	1.8078
7.5	415.0	0.15	31.999	0.13976	36.79940	-0.855	1.57		
10.0	431.0	0.20	33.233	0.18232	39.87984	-0.739	1.60		
12.5	440.0	0.25	33.927	0.22314	42.40895	-0.651	1.63		
15.0	441.0	0.30	34.004	0.26236	44.20555	-0.581	1.65		
17.5	442.0	0.35	34.081	0.30010	46.00986	-0.523	1.66		
20.0	440.0	0.40	33.927	0.33647	47.49803	-0.473	1.68		
22.5	430.0	0.45	33.156	0.37156	48.07633	-0.430	1.68		


Nama sampel		SPTE-45		Luas penampang, mm <sup>2</sup>		12.97			
No sampel		2		panjang ukur, mm		50			
$\Delta L$ , mm	P, kg	e	S, kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon = \ln(1+e)$	$\sigma_y = S(1+e)$	X - log $\epsilon$	Y - log $\sigma_y$	n	
5.0	391.0	0.10	30.149	0.09531	33.16380	-1.021	1.52	0.2623	1.7915
7.5	415.0	0.15	31.999	0.13976	36.79940	-0.855	1.57		
10.0	430.0	0.20	33.156	0.18232	39.78731	-0.739	1.60		
12.5	435.0	0.25	33.542	0.22314	41.92703	-0.651	1.62		
15.0	440.0	0.30	33.927	0.26236	44.10531	-0.581	1.64		
17.5	440.0	0.35	33.927	0.30010	45.80167	-0.523	1.66		
20.0	432.0	0.40	33.310	0.33647	46.63443	-0.473	1.67		
22.5	415.0	0.45	31.999	0.37156	46.39925	-0.430	1.67		

Nama sampel		SPTE-45		Luas penampang, mm <sup>2</sup>		12.97			
No sampel		3		panjang ukur, mm		50			
$\Delta L$ , mm	P, kg	e	S, kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon = \ln(1+e)$	$\sigma_y = S(1+e)$	X - log $\epsilon$	Y - log $\sigma_y$	n	
5.0	398.0	0.10	30.689	0.09531	33.75753	-1.021	1.53	0.260	1.795
7.5	420.0	0.15	32.385	0.13976	37.24277	-0.855	1.57		
10.0	432.0	0.20	33.310	0.18232	39.97236	-0.739	1.60		
12.5	441.0	0.25	34.004	0.22314	42.50534	-0.651	1.63		
15.0	442.0	0.30	34.081	0.26236	44.30579	-0.581	1.65		
17.5	443.0	0.35	34.158	0.30010	46.11395	-0.523	1.66		
20.0	439.0	0.40	33.850	0.33647	47.39008	-0.473	1.68		
22.5	421.0	0.45	32.462	0.37156	47.07008	-0.430	1.67		

Nama sampel		SPT-90		Luas penampang, mm <sup>2</sup>		13.07			
No sampel		1		panjang ukur, mm		50			
$\Delta L$ , mm	P, kg	e	S, kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon = \ln(1+e)$	$\sigma_y = S(1+e)$	X - log $\epsilon$	Y - log $\sigma_y$	n	
5.0	385.0	0.10	29.456	0.09531	32.40175	-1.021	1.51	0.2832	1.7979
7.5	407.0	0.15	31.139	0.13976	35.81025	-0.855	1.55		
10.0	420.0	0.20	32.134	0.18232	38.56077	-0.739	1.59		
12.5	430.0	0.25	32.899	0.22314	41.12383	-0.651	1.61		
15.0	433.0	0.30	33.129	0.26236	43.06717	-0.581	1.63		
17.5	435.0	0.35	33.282	0.30010	44.93018	-0.523	1.65		
20.0	432.0	0.40	33.052	0.33647	46.27292	-0.473	1.67		
22.5	425.0	0.45	32.517	0.37156	47.14895	-0.430	1.67		

Nama sampel		SPT-90		Luas penampang, mm <sup>2</sup>		13.12			
No sampel		2		panjang ukur, mm		50			
$\Delta L$ , mm	P, kg	e	S, kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon = \ln(1+e)$	$\sigma_y = S(1+e)$	X - log $\epsilon$	Y - log $\sigma_y$	n	
5.0	384.0	0.10	29.266	0.09531	32.19282	-1.021	1.51	0.2784	1.7929
7.5	409.0	0.15	31.172	0.13976	35.84728	-0.855	1.55		
10.0	421.0	0.20	32.086	0.18232	38.50334	-0.739	1.59		
12.5	431.0	0.25	32.848	0.22314	41.06032	-0.651	1.61		
15.0	434.0	0.30	33.077	0.26236	42.99997	-0.581	1.63		
17.5	435.0	0.35	33.153	0.30010	44.75670	-0.523	1.65		
20.0	431.0	0.40	32.848	0.33647	45.98756	-0.473	1.66		
22.5	420.0	0.45	32.010	0.37156	46.41436	-0.430	1.67		


Nama sampel		SPT-90		Luas penampang, mm <sup>2</sup>		13.07			
No sampel		3		panjang ukur, mm		50			
$\Delta L$ , mm	P, kg	e	S, kg/mm <sup>2</sup>	$\epsilon = \ln(1+e)$	$\sigma_y = S(1+e)$	X - log $\epsilon$	Y - log $\sigma_y$	n	
5.0	385.0	0.10	29.456	0.09531	32.40175	-1.021	1.51	0.2881	1.8031
7.5	409.0	0.15	31.292	0.13976	35.98622	-0.855	1.56		
10.0	421.0	0.20	32.210	0.18232	38.65258	-0.739	1.59		
12.5	430.0	0.25	32.899	0.22314	41.12383	-0.651	1.61		
15.0	435.0	0.30	33.282	0.26236	43.26610	-0.581	1.64		
17.5	439.0	0.35	33.588	0.30010	45.34333	-0.523	1.66		
20.0	436.0	0.40	33.358	0.33647	46.70137	-0.473	1.67		
22.5	427.0	0.45	32.670	0.37156	47.37083	-0.430	1.68		



Lampiran 3  
Perhitungan koefisien  
anisotropi

Lampiran 3 . Nilai R material SECD, SGCC dan SPTE

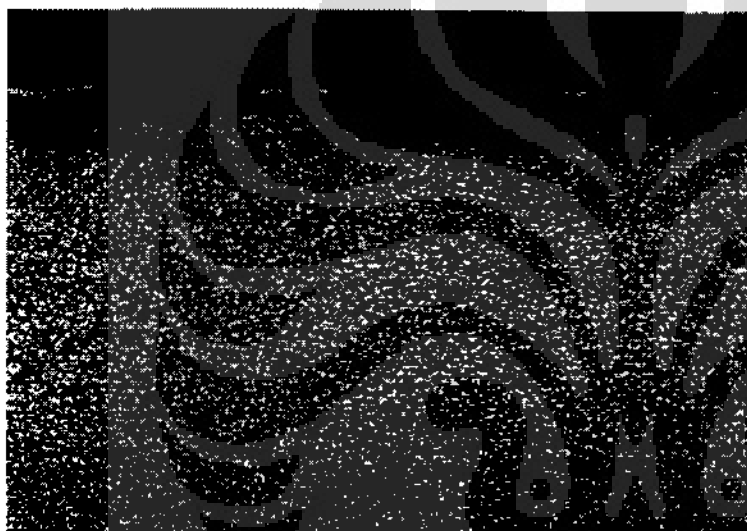
Jenis material	No	Dimensi awal		dimensi akhir		$e_w = \ln(w_o/w_i)$	$e_t = \ln(t_o/t_i)$	$R = e_w/e_t$	Planar Anisotropi $(R_0+R_{90}-2R_{45})/2$	N. Planar Anisotropi $(R_0+2R_{45}+R_{90})/4$
		$t_o$ , mm	$w_o$ , mm	$t_i$ , mm	$w_i$ , mm					
SECD - 0	1	0.406	25.90	0.378	23.06	0.12	0.07	1.61	0.35	1.63
	2	0.406	26.00	0.379	23.20	0.11	0.07	1.67		
	3	0.406	26.00	0.373	23.33	0.11	0.09	1.27		
	average							1.52		
SECD - 45	1	0.406	26.00	0.377	23.40	0.11	0.07	1.43		
	2	0.406	26.00	0.376	23.30	0.11	0.08	1.42		
	3	0.406	26.00	0.379	23.40	0.11	0.07	1.51		
	average							1.45		
SECD - 90	1	0.406	26.00	0.385	23.33	0.11	0.05	2.00		
	2	0.406	26.00	0.386	23.20	0.11	0.05	2.26		
	3	0.406	26.00	0.386	23.53	0.10	0.05	2.00		
	average							2.08		
SGCC - 0	1	0.430	24.40	0.397	22.36	0.09	0.08	1.09	0.22	1.10
	2	0.430	24.40	0.394	22.26	0.09	0.09	1.06		
	3	0.430	24.40	0.398	22.23	0.09	0.08	1.20		
	average							1.12		
SGCC - 45	1	0.430	24.40	0.395	22.36	0.09	0.09	1.02		
	2	0.430	24.40	0.396	22.50	0.08	0.08	0.98		
	3	0.430	24.40	0.393	22.36	0.09	0.09	0.96		
	average							0.99		
SGCC - 90	1	0.430	24.40	0.398	22.13	0.10	0.08	1.25		
	2	0.430	24.40	0.399	22.10	0.10	0.08	1.31		
	3	0.430	24.40	0.404	22.46	0.08	0.06	1.34		
	average							1.30		
SPTE - 0	1	0.507	24.75	0.472	22.10	0.11	0.07	1.59	0.32	1.43
	2	0.507	24.75	0.465	22.08	0.11	0.09	1.32		
	3	0.507	24.80	0.476	22.43	0.10	0.06	1.59		
	average							1.50		
SPTE - 45	1	0.507	25.60	0.470	23.30	0.09	0.07	1.27		
	2	0.507	25.45	0.470	23.03	0.10	0.07	1.33		
	3	0.507	25.55	0.467	23.16	0.10	0.08	1.21		
	average							1.27		
SPTE - 90	1	0.507	25.80	0.475	23.20	0.11	0.06	1.64		
	2	0.507	25.80	0.475	23.16	0.11	0.06	1.68		
	3	0.507	25.80	0.476	23.13	0.11	0.06	1.74		
	average							1.69		



Lampiran 4  
Foto foto hasil metalografi



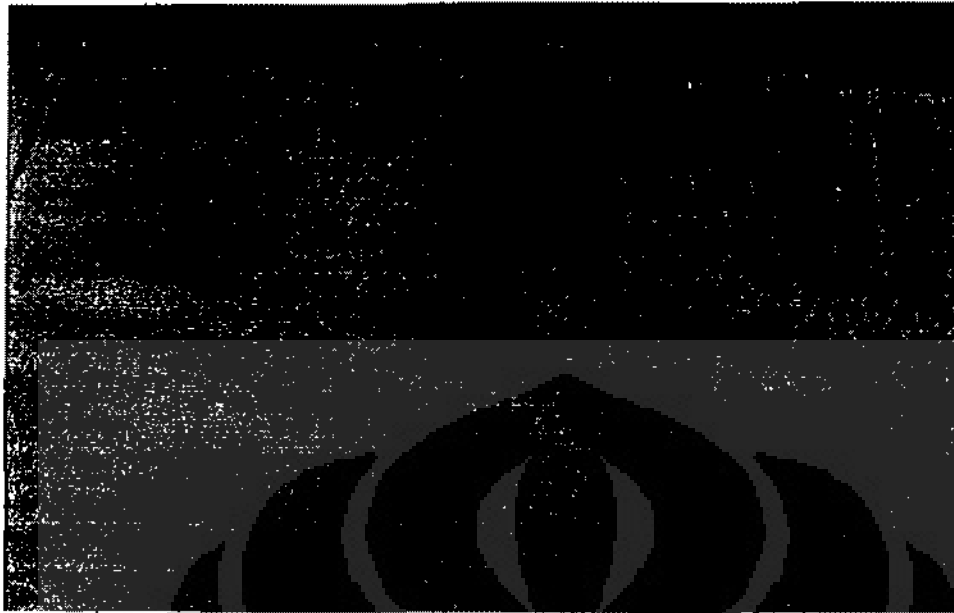
SECD Pembesaran 200X



SGCC Pembesaran 200X



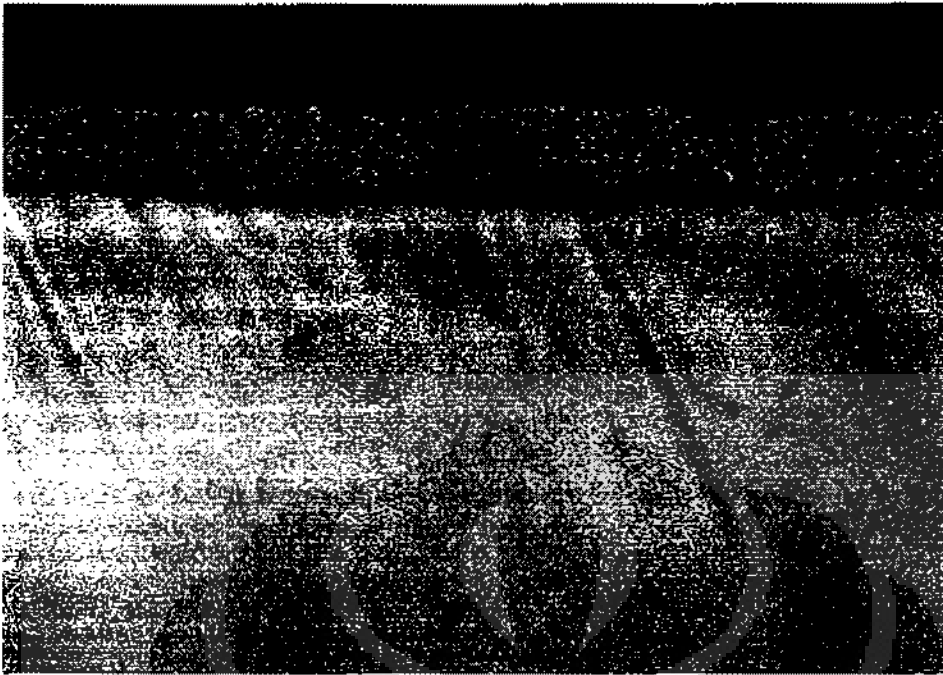
SPTE Pembesaran 200X



SECD Pembesaran 500X , arah 0 terhadap arah rol,  
memperlihatkan logam pelapis



SECD Pembesaran 500X , arah 90 terhadap arah rol,  
memperlihatkan logam pelapis

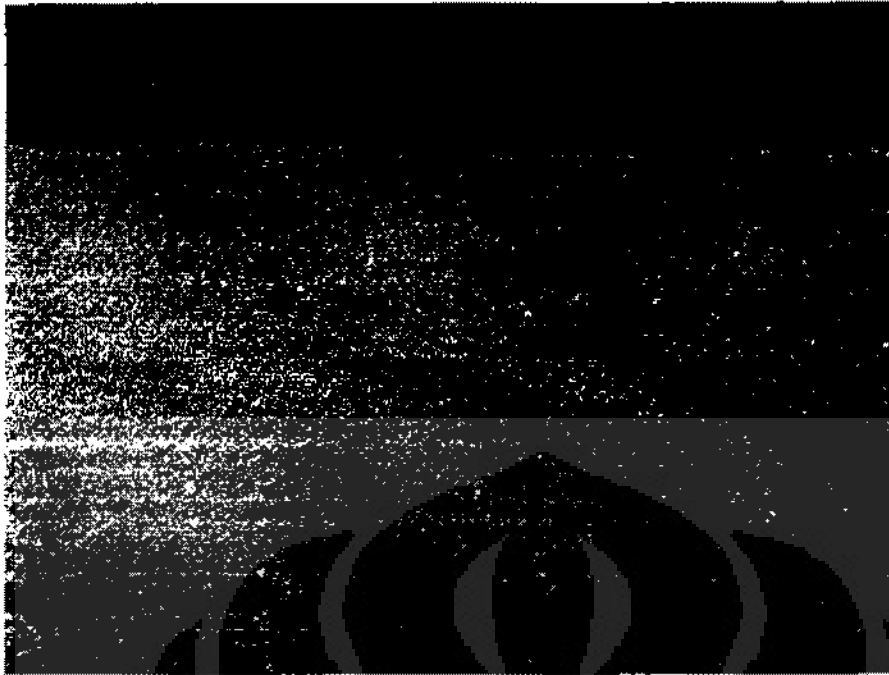


SGCC Pembesaran 500X , arah 0 terhadap arah rol



SGCC Pembesaran 500X , arah 90 terhadap arah rol

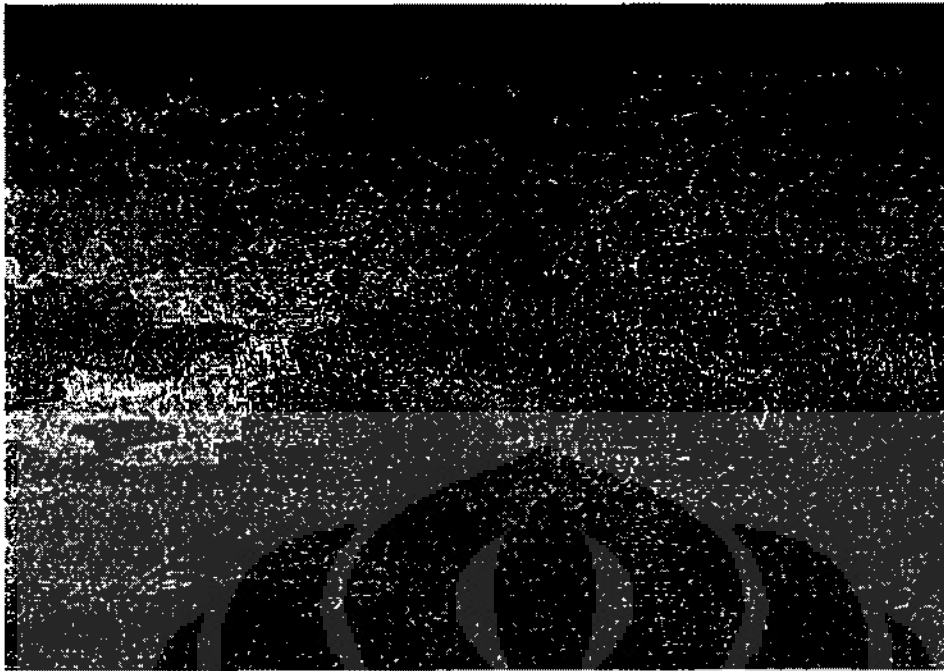




SPTe Pembesaran 500X , arah 0 terhadap arah rol,  
memperlihatkan struktur logam pelapis



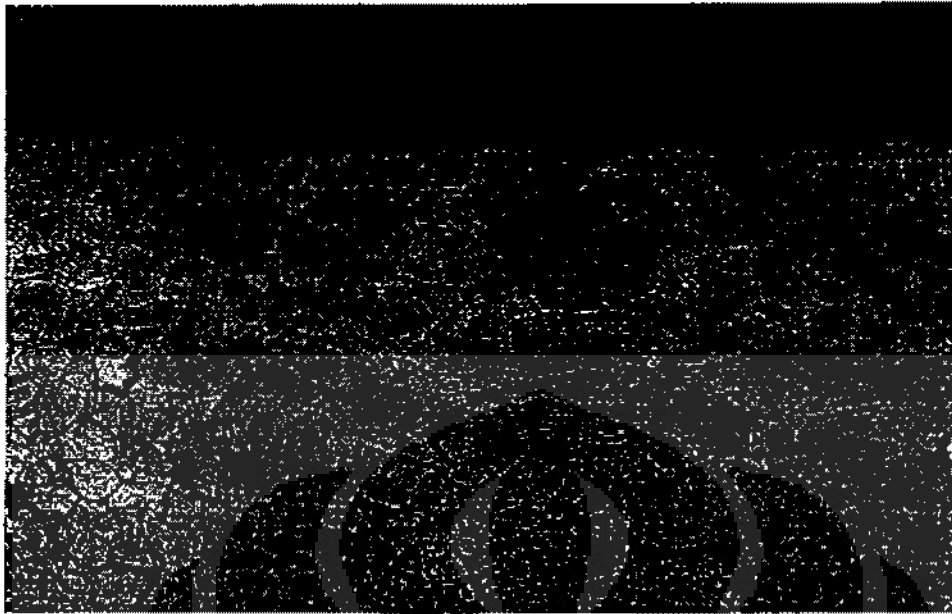
SPTe Pembesaran 500X , arah 90 terhadap arah rol,  
memperlihatkan struktur logam pelapis



SECD Pembesaran 500X , arah 0 terhadap arah rol,  
memperlihatkan struktur mikro logam dasar



SECD Pembesaran 500X , arah 90 terhadap arah rol,  
memperlihatkan struktur mikro logam dasar



**SGCC Pembesaran 500X , arah 0 terhadap arah rol,  
memperlihatkan struktur mikro logam dasar**




**SGCC Pembesaran 500X , arah 90 terhadap arah rol,  
memperlihatkan struktur mikro logam dasar**



**SPTe Pembesaran 500X , arah 0 terhadap arah rol,  
memperlihatkan struktur mikro logam dasar**



**SPTe Pembesaran 500X , arah 90 terhadap arah rol,  
memperlihatkan struktur mikro logam dasar**

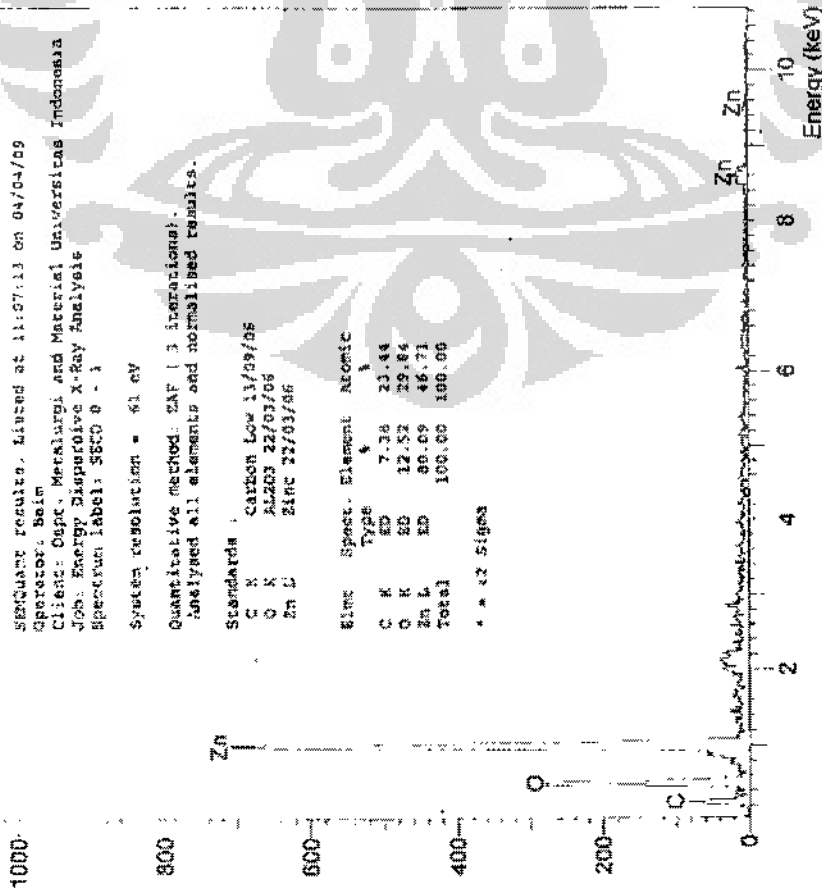


Lampiran 5  
Hasil pengujian EDAX  
terhadap lapisan logam

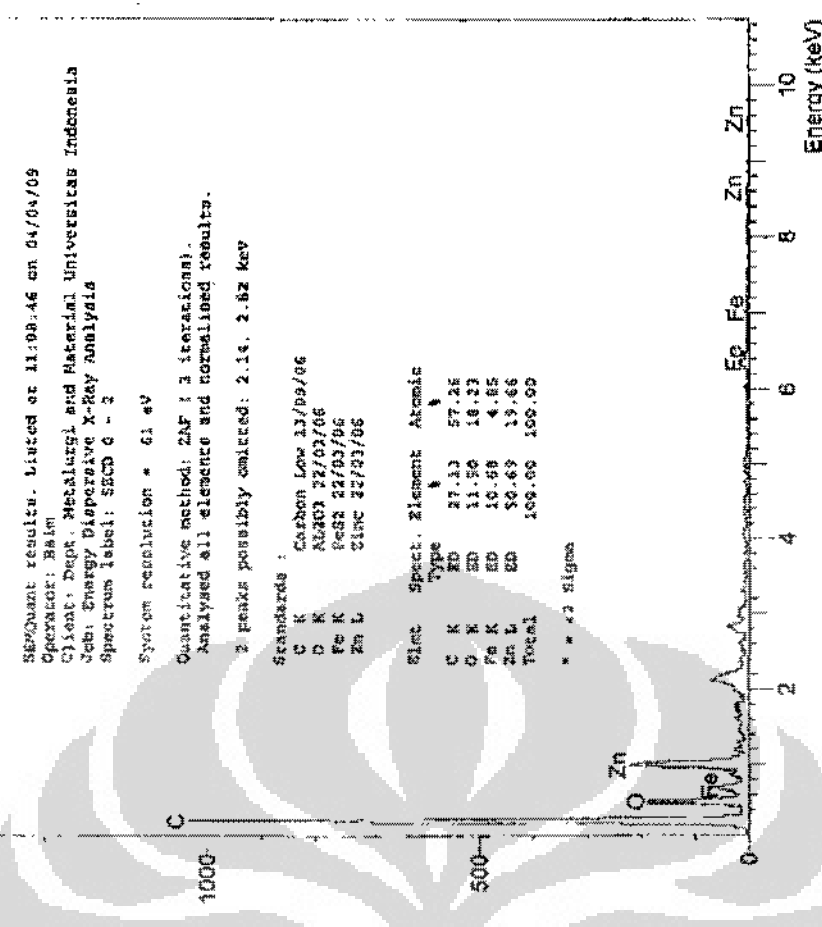
Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SECD 0 - 1 (04/04/09 11:05)

Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SECD 0 - 2 (04/04/09 11:07)

Counts



Counts



Operator : Baim

Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia

Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis

SECD 0 - 3 (04/04/09 11:08)

Operator : Baim

Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia

Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis

SECD 0 - 4 (04/04/09 11:13)

Counts

Sequential results. Listed at 11:10:06 on 04/04/09

Operator: Baim

Client: Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia

Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis

Spectrum label: SECD 0 - 3

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF ( 2 iterations)

Analyzed all elements and normalised results.

2 peaks possibly emitted: 0.62, 2.14 keV

Standards :

C K Carbon Low 11/03/06  
Fe K FES2 22/03/06

Elem	Spec.	Element	Atomic
	Type		
C K	ED	11.13	12.01
Fe K	ED	96.87	86.95
Total		108.00	100.00

\* = < 2 Sigma

800

600

400

200

0

Energy (keV)

Sequential results. Listed at 11:14:52 on 04/04/09

Operator: Baim

Client: Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia

Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis

Spectrum label: SECD 0 - 4

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF ( 2 iterations)

Analyzed all elements and normalised results.

1 peak possibly emitted: 2.14 keV

Standards :

C K Carbon Low 11/03/06  
Fe K FES2 22/03/06

Elem	Spec.	Element	Atomic
	Type		
C K	ED	3.47	14.12
Fe K	ED	96.53	85.88
Total		100.00	100.00

\* = < 2 Sigma

800

600

400

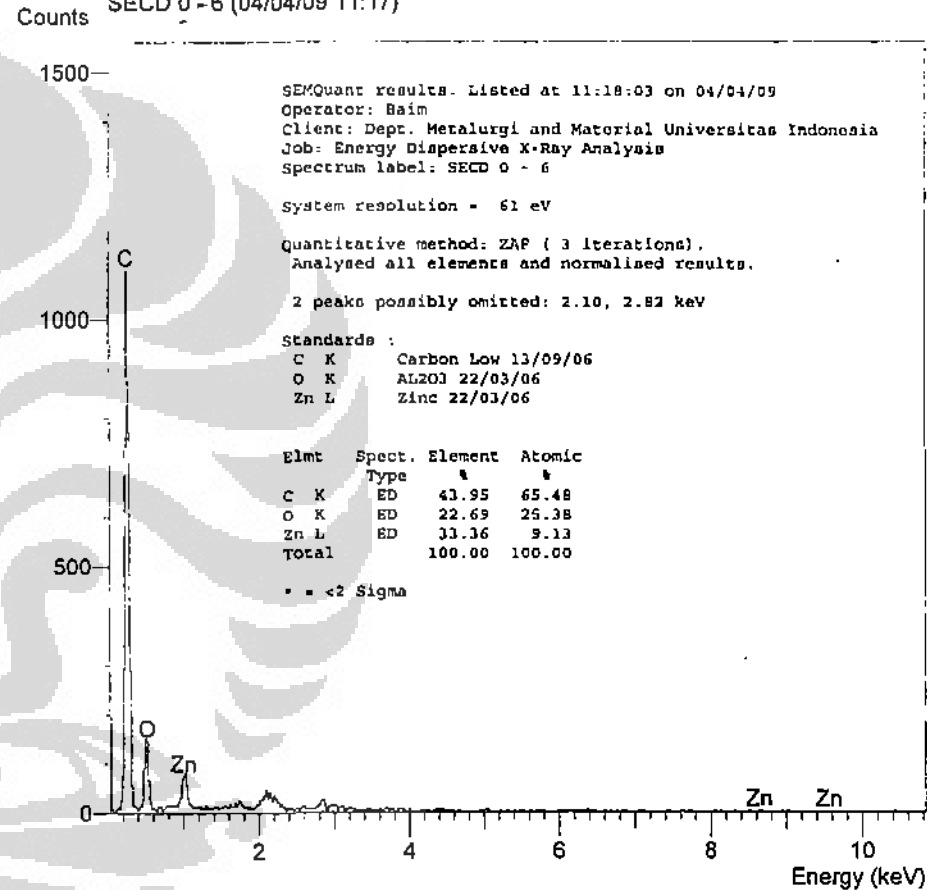
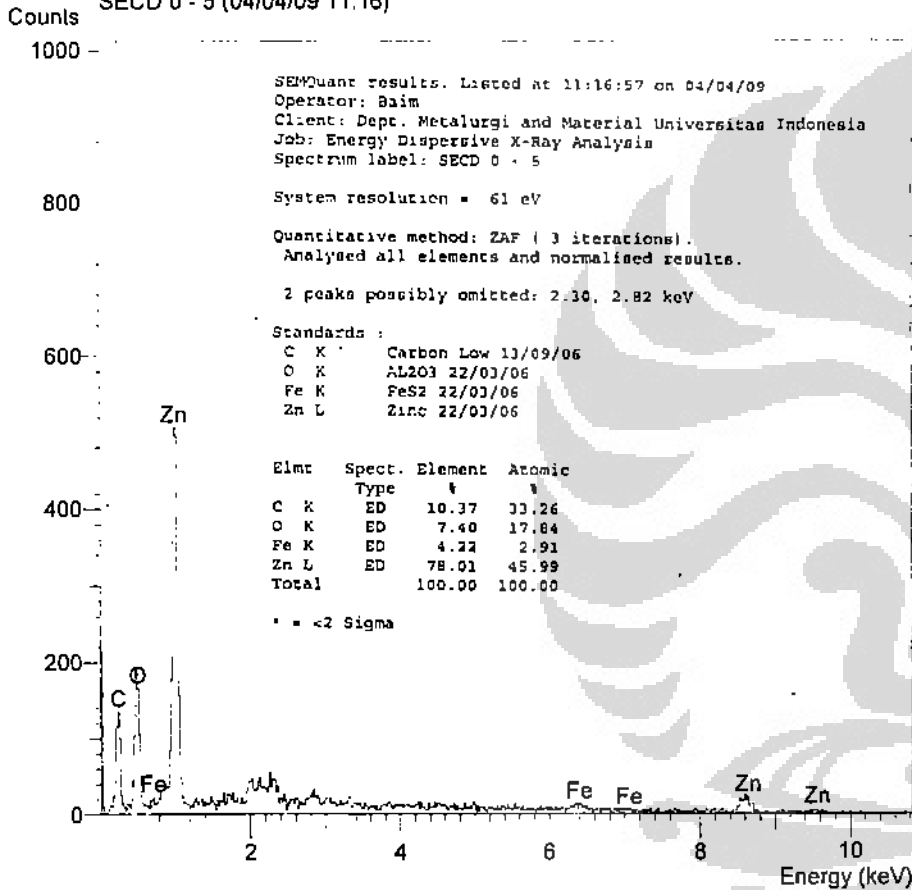
200

0

Energy (keV)

Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SECD 0 - 5 (04/04/09 11:16)

Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SECD 0 - 6 (04/04/09 11:17)





Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SECD 45 - 1 (04/04/08 11:32)

Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SECD 45 - 2 (04/04/08 11:34)

Counts

SECD45 results. Listed at 11:32:13 on 04/04/08  
 Operator: Baim  
 Client: Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 Spectrum label: SECD 45 - 1  
 System resolution = 61 eV

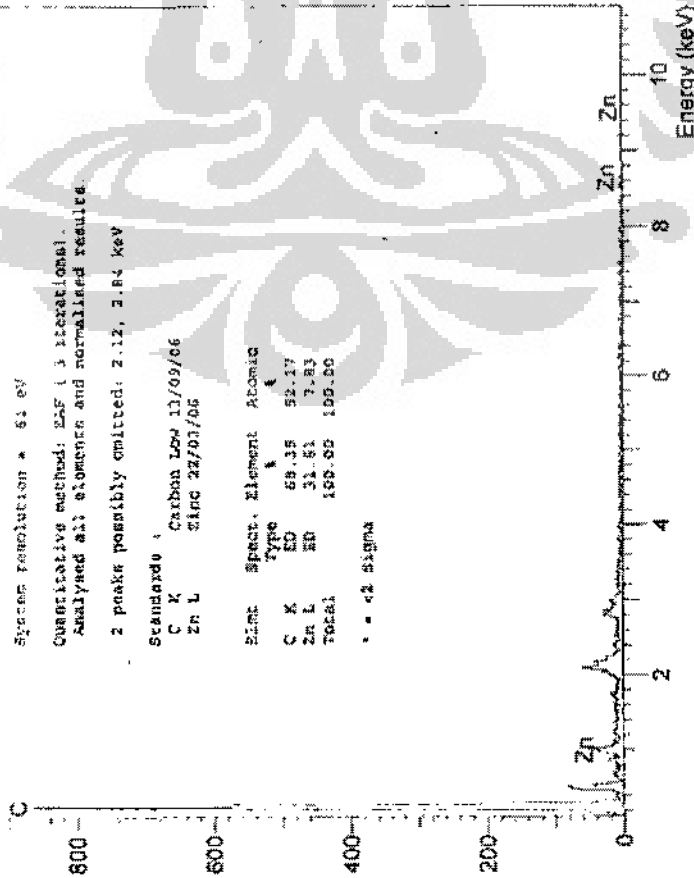
Quantitative method: ZAF ( 3 iterations).  
 Analysed all elements and normalized results.

2 peaks possibly emitted: 2.12, 2.84 keV

Standards :  
 C K Carbon Low 13/09/06  
 Fe K Fe52 11/01/05  
 Zn L Zinc 22/03/05

Elem	Spect.	Element	Atomic
Type	ED	%	%
C K	ED	69.35	52.17
Zn L	ED	31.61	7.83
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma



SECD45 results. Listed at 11:35:43 on 04/04/08  
 Operator: Baim  
 Client: Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 Spectrum label: SECD 45 - 2  
 System resolution = 61 eV

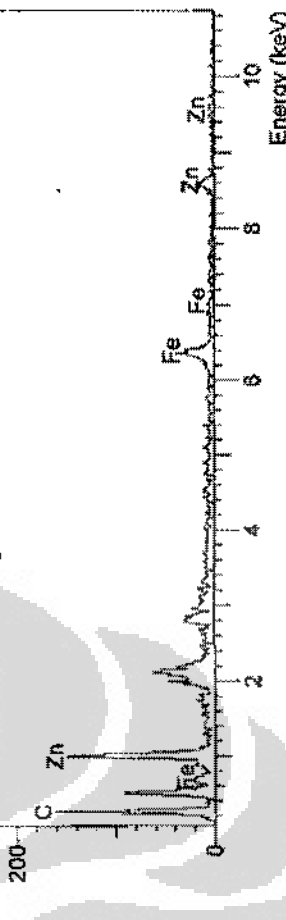
Quantitative method: ZAF ( 3 iterations).  
 Analysed all elements and normalized results.

2 peaks possibly emitted: 2.12, 2.82 keV

Standards :  
 C K Carbon Low 13/09/06  
 Fe K Fe52 11/01/05  
 Zn L Zinc 22/03/05

Elem	Spect.	Element	Atomic
Type	ED	%	%
C K	ED	15.64	48.64
Fe K	ED	32.59	21.79
Zn L	ED	51.76	29.57
Total		100.00	100.00

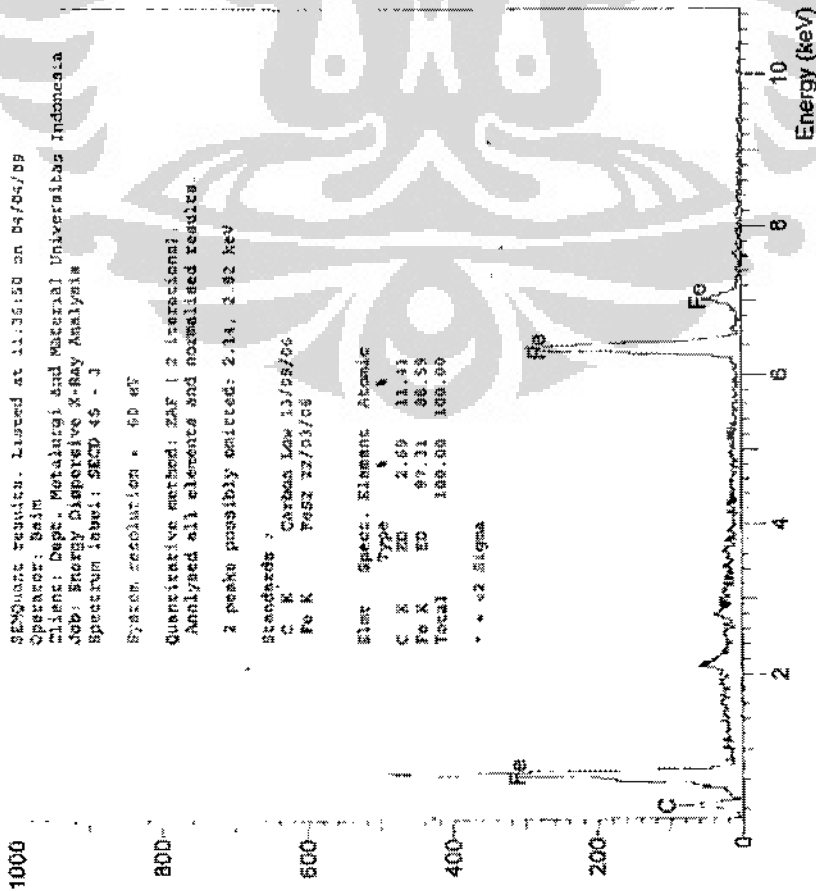
\* = <2 Sigma



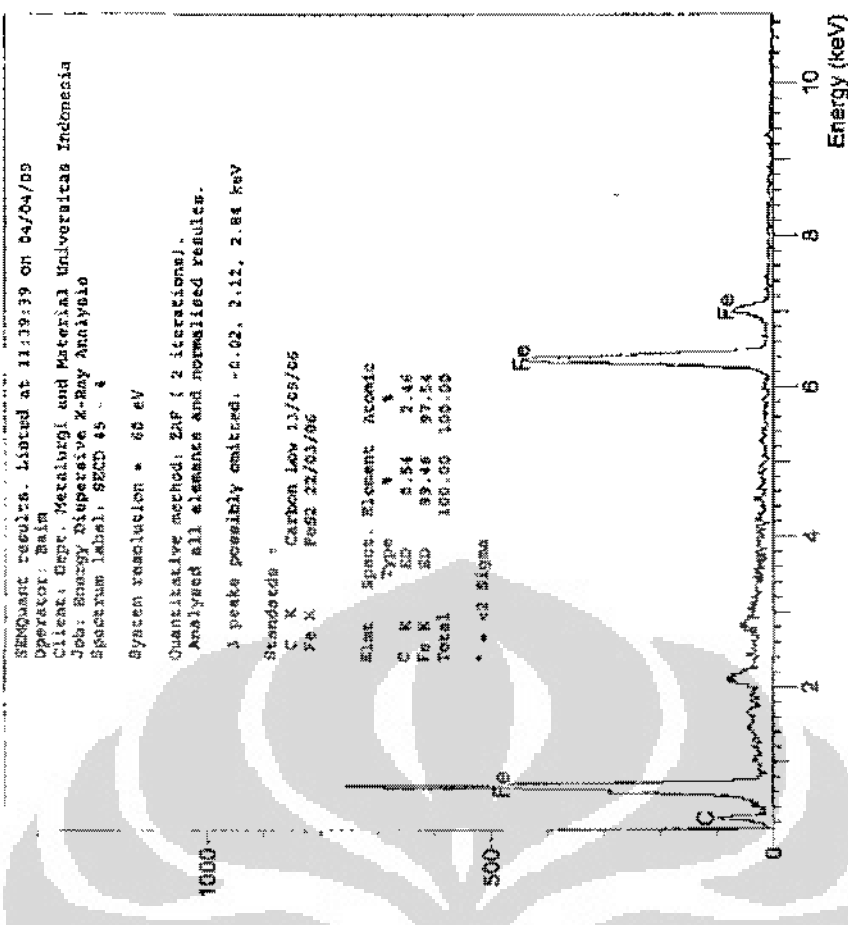
Operator : BaIm  
 Client : Dept. Metallurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SECD 45 - 3 (04/04/09 11:36)

Operator : BaIm  
 Client : Dept. Metallurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SECD 45 - 4 (04/04/09 11:38)

Counts



Counts



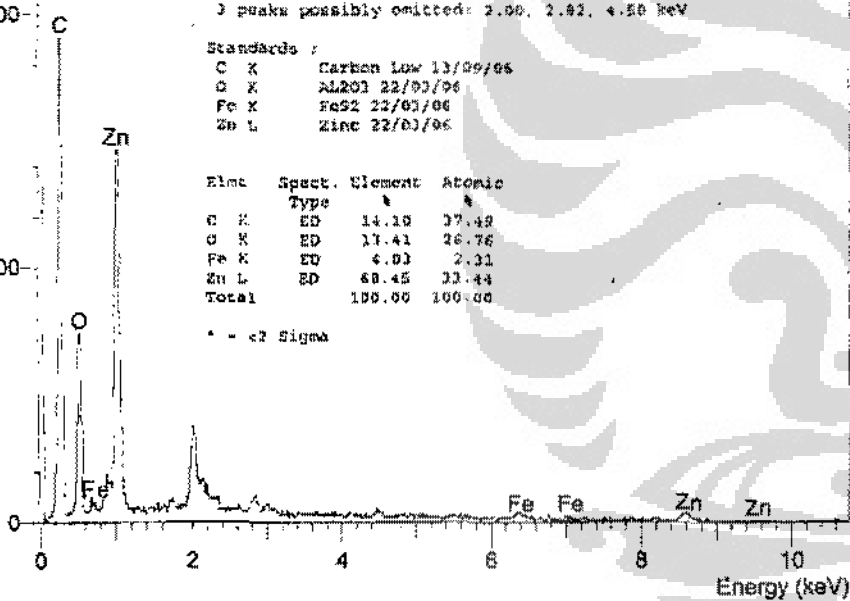
Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SECD 45 - 5 (04/04/09 11:39)

Counts

1500

1000

500



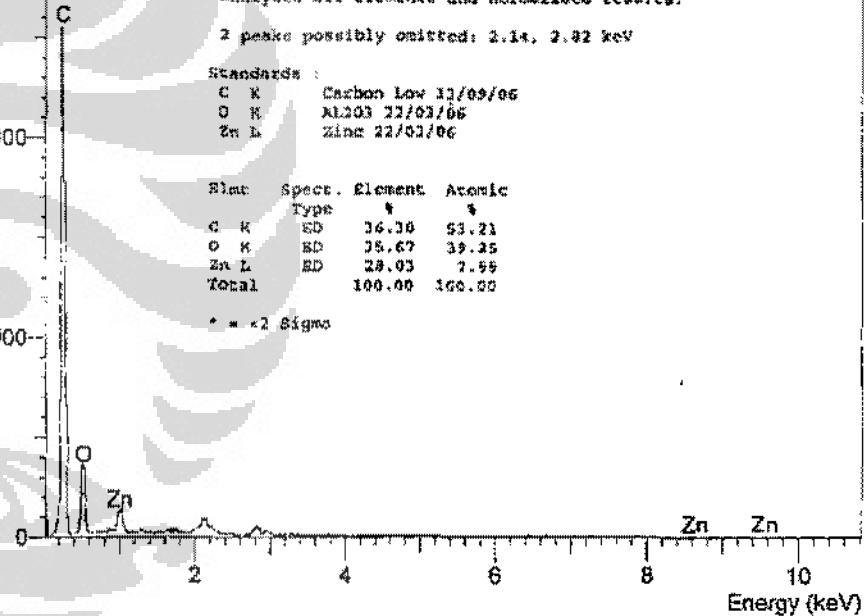
Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SECD 45 - 6 (04/04/09 11:43)

Counts

3000

2000

1000



Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SECD 90 - 1 (04/04/09 11:56)

Counts

SEQUANT results - Listed at 11:57:49 on 04/04/09  
 Operator: Baim  
 Client: Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 Spectrum label: SECD 90 - 1

System resolution = 61 eV

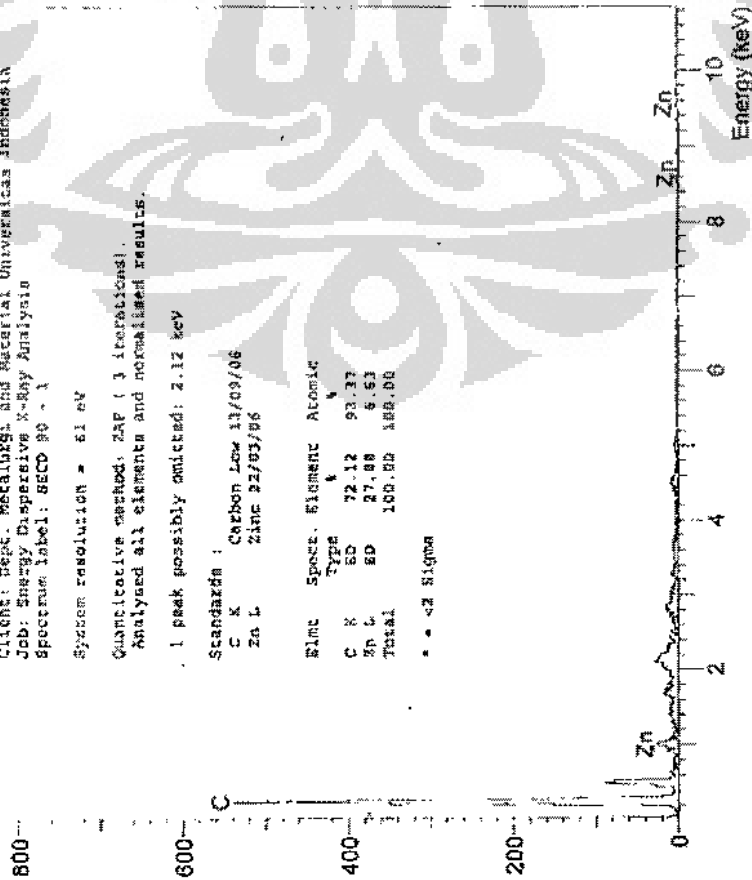
Quantitative method: ZAF ( 3 iterations)  
 Analyzed all elements and normalized results.

1 peak possibly omitted: 2.12 keV

Standards : Carbon Low 11/03/06  
 Zn L Zinc 22/03/06

Elm	Spec.	Element	Atomic
	Type		
C K	SD	72.12	93.37
Zn L	SD	27.88	6.63
Total		100.00	100.00

\* - <2 Sigma



Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SECD 90 - 2 (04/04/09 11:57)

Counts

SEQUANT results - Listed at 11:59:03 on 04/04/09  
 Operator: Baim  
 Client: Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 Spectrum label: SECD 90 - 2

System resolution = 60 eV

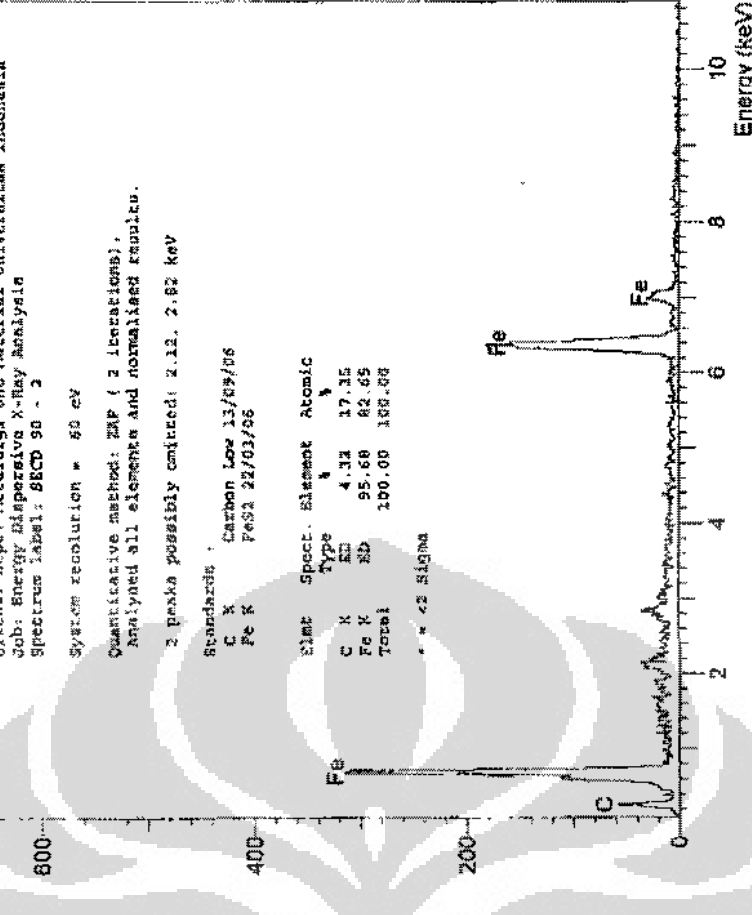
Quantitative method: ZAF ( 2 iterations)  
 Analyzed all elements and normalized results.

2 peaks possibly omitted: 2.12, 2.82 keV

Standards : Carbon Low 11/03/06  
 Fe K FeS2 22/03/06

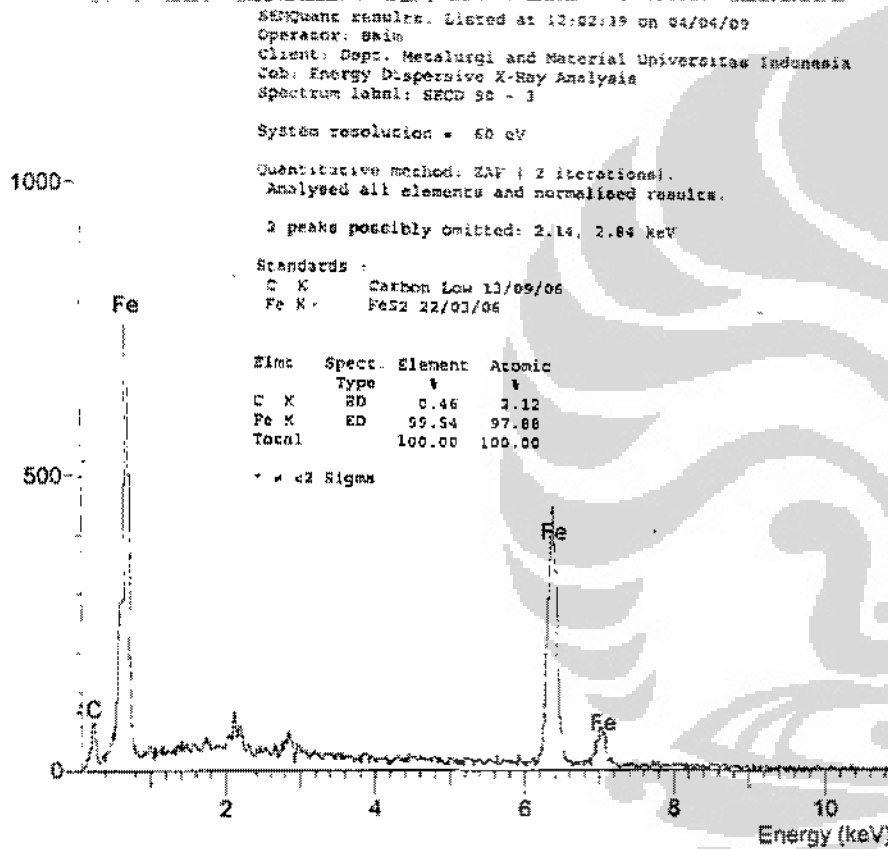
Elm	Spec.	Element	Atomic
	Type		
C K	SD	4.12	17.15
Fe K	SD	95.68	82.65
Total		100.00	100.00

\* - <2 Sigma



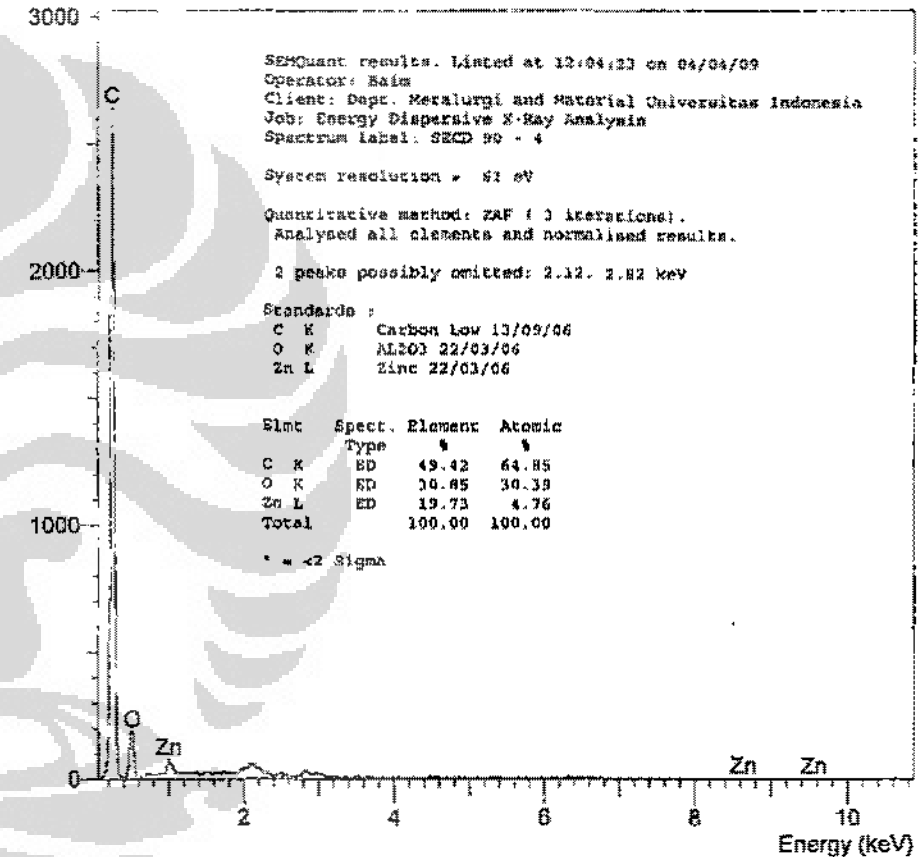
Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SECD 90 - 3 (04/04/09 12:01)

Counts



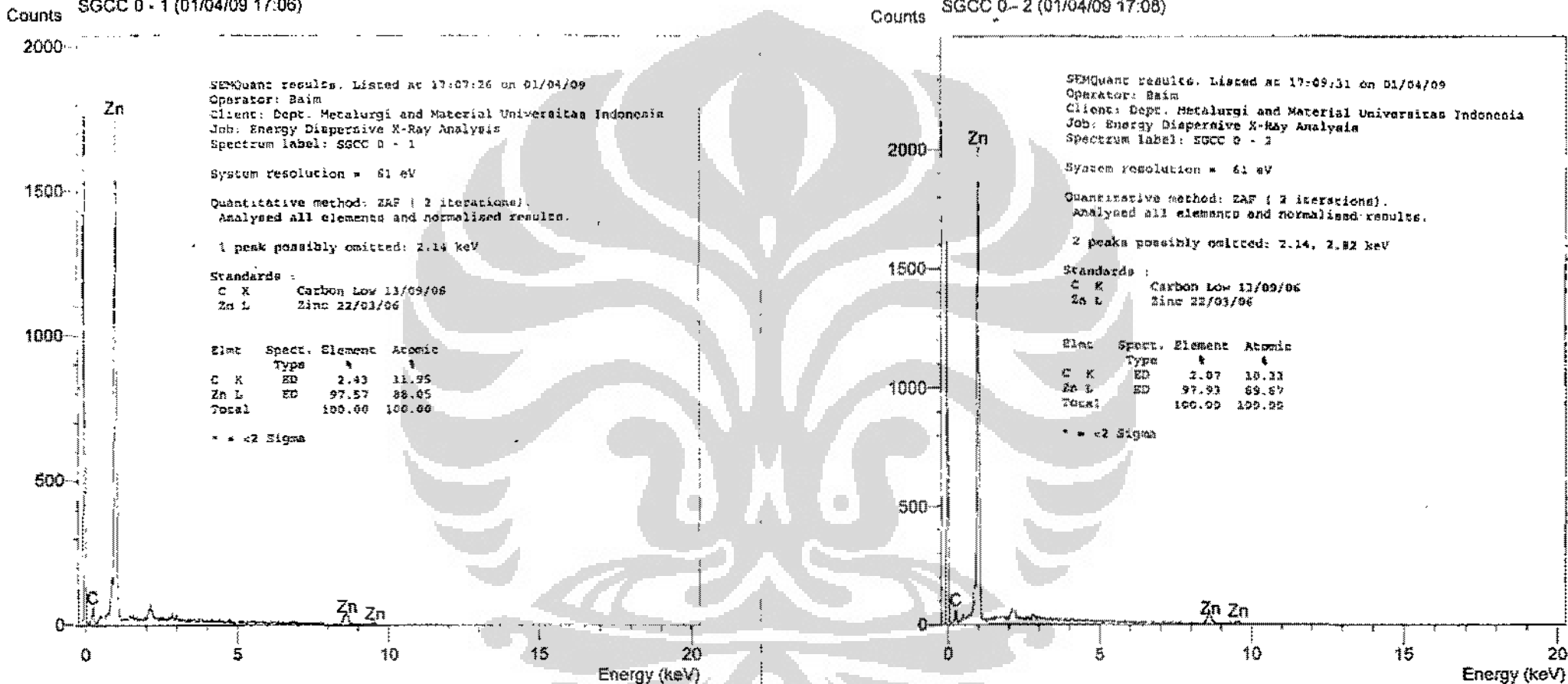
Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SECD 90 - 4 (04/04/09 12:03)

Counts



Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SGCC 0 - 1 (01/04/09 17:06)

Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SGCC 0 - 2 (01/04/09 17:08)

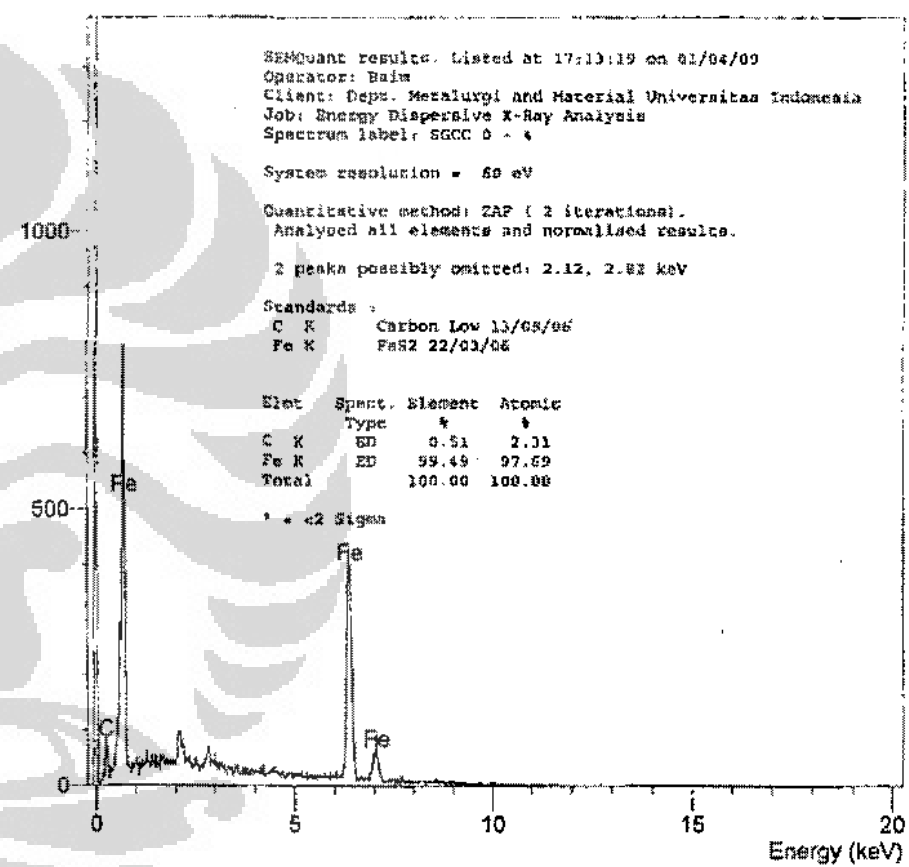
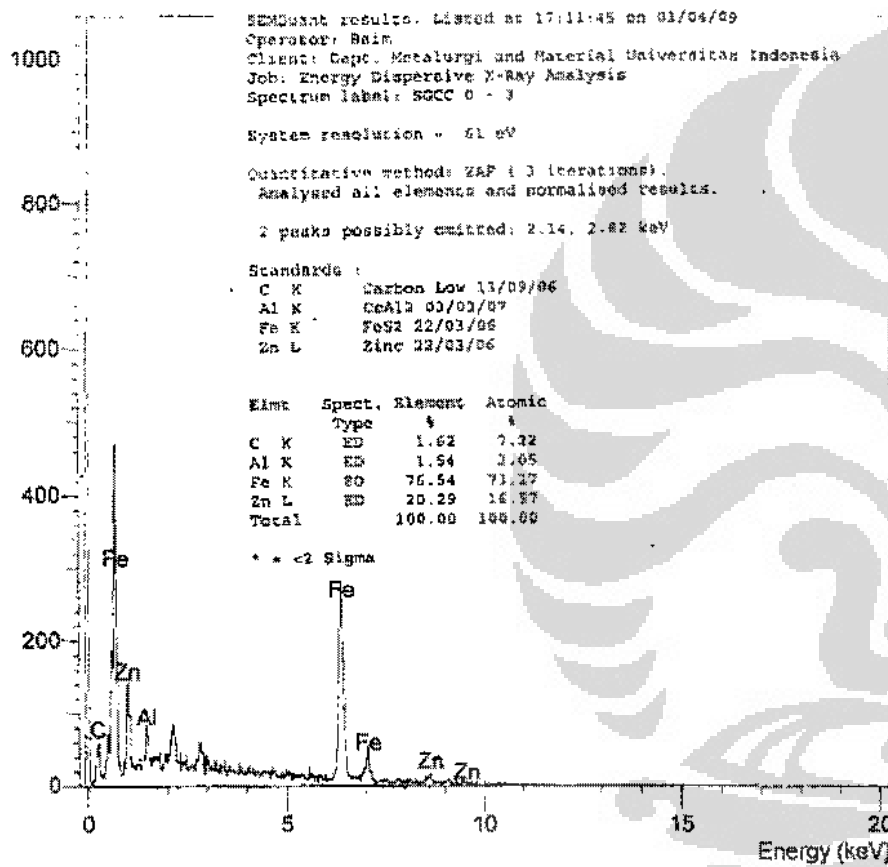


Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SGCC 0 - 3 (01/04/09 17:10)

Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SGCC 0 - 4 (01/04/09 17:12)

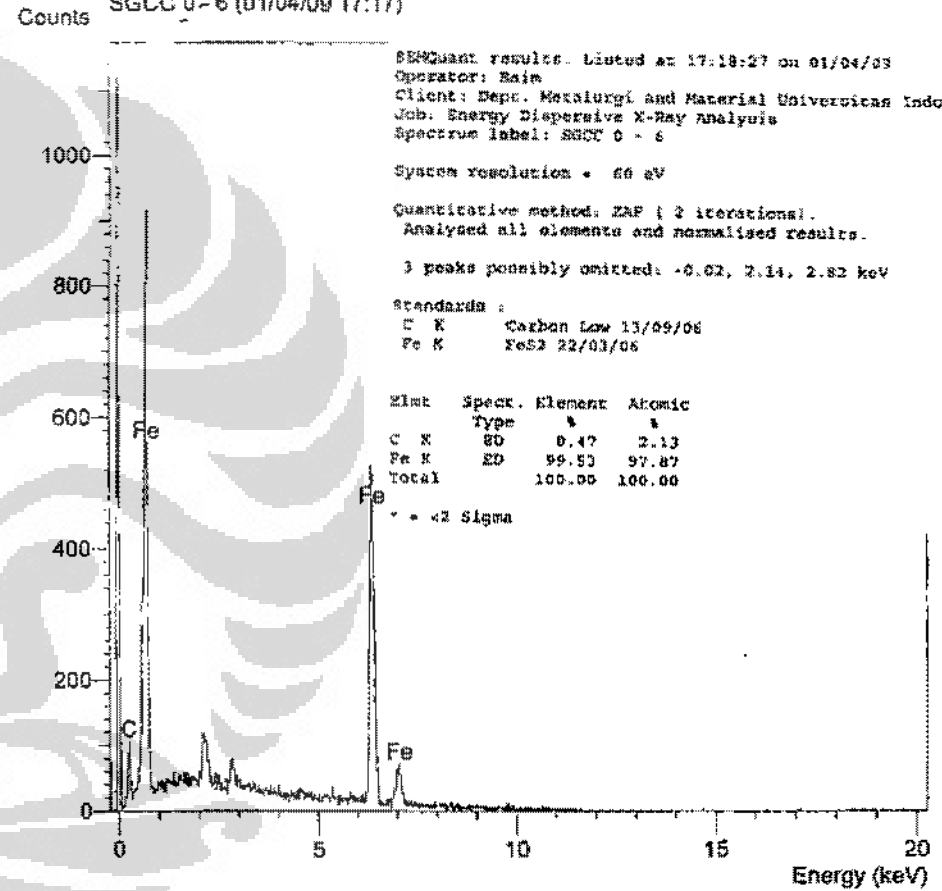
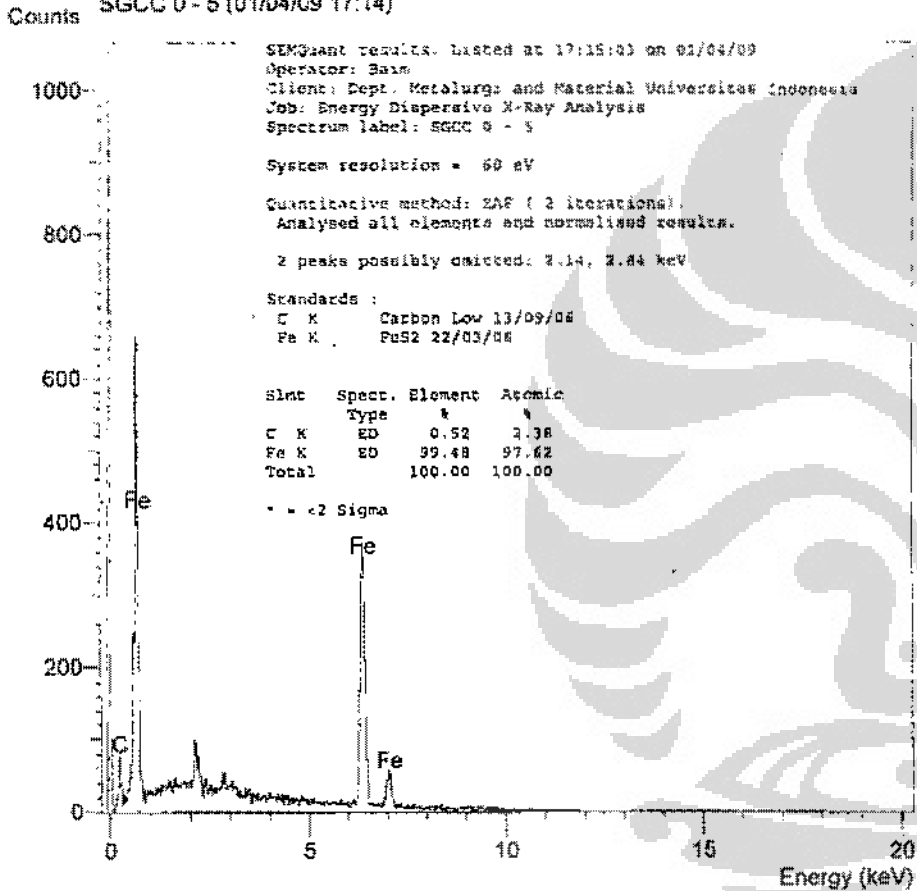
Counts

Counts



Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SGCC 0 - 5 (01/04/09 17:14)

Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SGCC 0 - 6 (01/04/09 17:17)



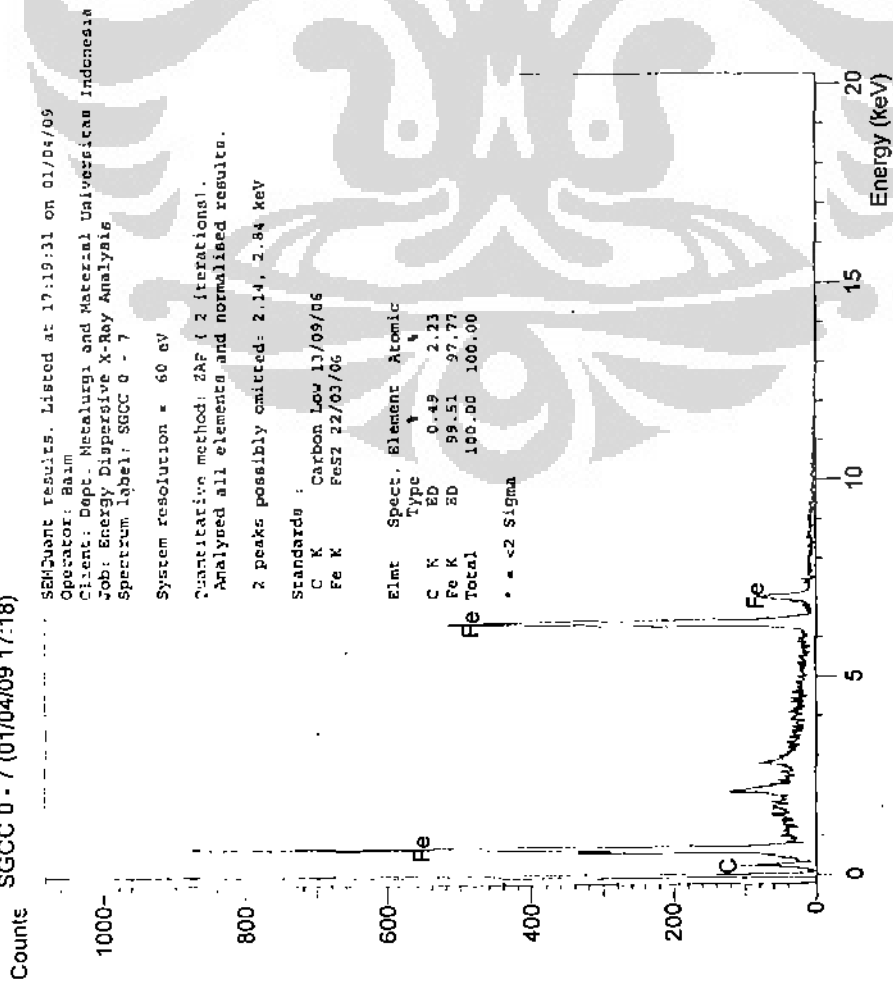


Operator : Baim

Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia

Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis

SGCC 0 - 7 (01/04/09 17:18)

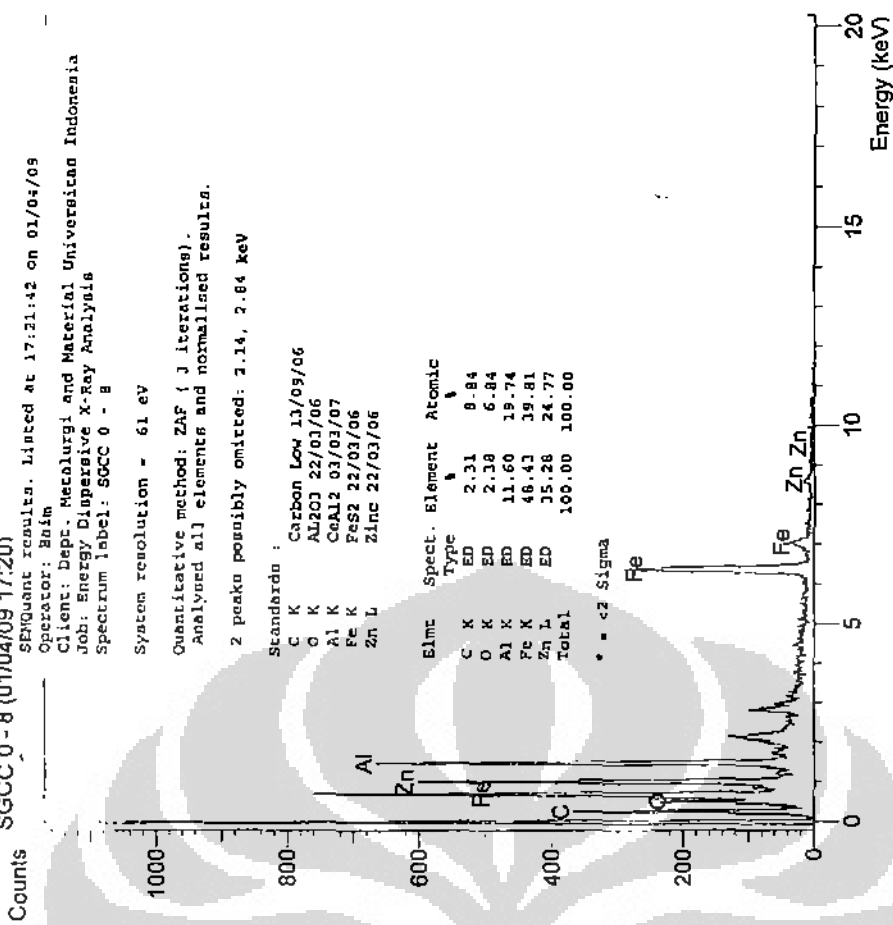


Operator : Baim

Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia

Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis

SGCC 0 - 8 (01/04/09 17:20)



Operator : Baim

Client : Dept. Metallurgi and Material Universitas Indonesia

Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis

SGCC 0 - 9 (01/04/09 17:21)

Counts

SEMQuant results. Listed at 17:21:05 on 01/04/09

Operator: Baim

Client: Dept. Metallurgi and Material Universitas Indonesia

Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis

Spectrum label: SGCC 0 - 9

System resolution = 81 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations)

Analysed all elements and normalised results.

2 peaks possibly emitted: 0.02, 2.84 keV

Standards : Carbon Low 11/09/06

C K AL2O3 22/03/06

O K Low Carbon Steel 11/09/06

Si K Zinc 22/03/06

Zn L

Elmt Spect. Element Atomic

Type %

C K ED 1.57 7.15

O K ED 3.75 12.88

Si K ED 0.32 0.82

Zn L ED 94.26 99.15

Total 100.00 100.00

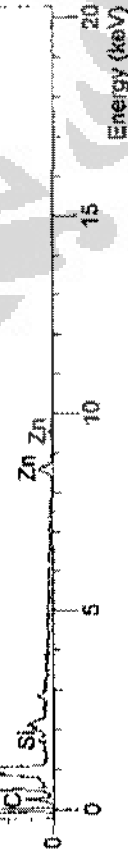
\* = <2 Sigma

Zn

3000

2000

1000



Operator : Baim

Client : Dept. Metallurgi and Material Universitas Indonesia

Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis

SGCC 0 - 10 (01/04/09 17:23)

Counts

SEMQuant results. Listed at 17:24:30 on 01/04/09

Operator: Baim

Client: Dept. Metallurgi and Material Universitas Indonesia

Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis

Spectrum label: SGCC 0 - 10

System resolution = 81 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations)

Analysed all elements and normalised results.

2 peaks possibly emitted: 2.14, 2.82 keV

Standards : Carbon Low 11/09/06

C K AL2O3 22/03/06

O K Zinc 22/03/06

Zn L

Elmt Spect. Element Atomic

Type %

C K ED 3.73 8.38

O K ED 1.46 5.33

Si L ED 96.81 86.29

Total 100.00 100.00

\* = <2 Sigma

Zn

3000

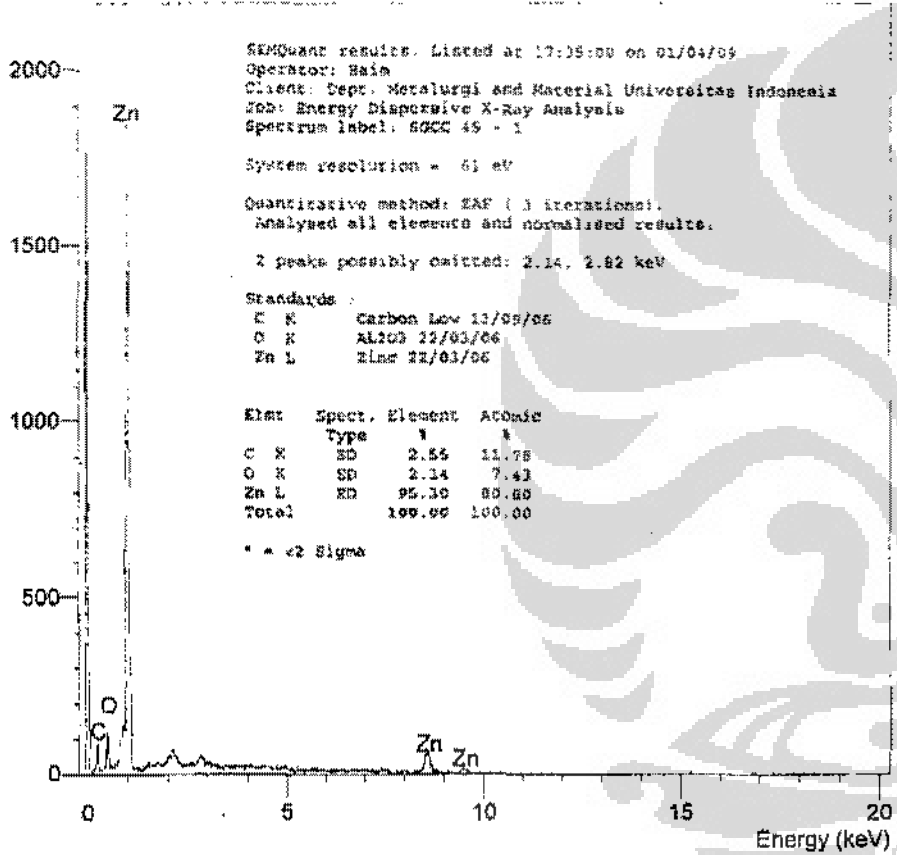
2000

1000



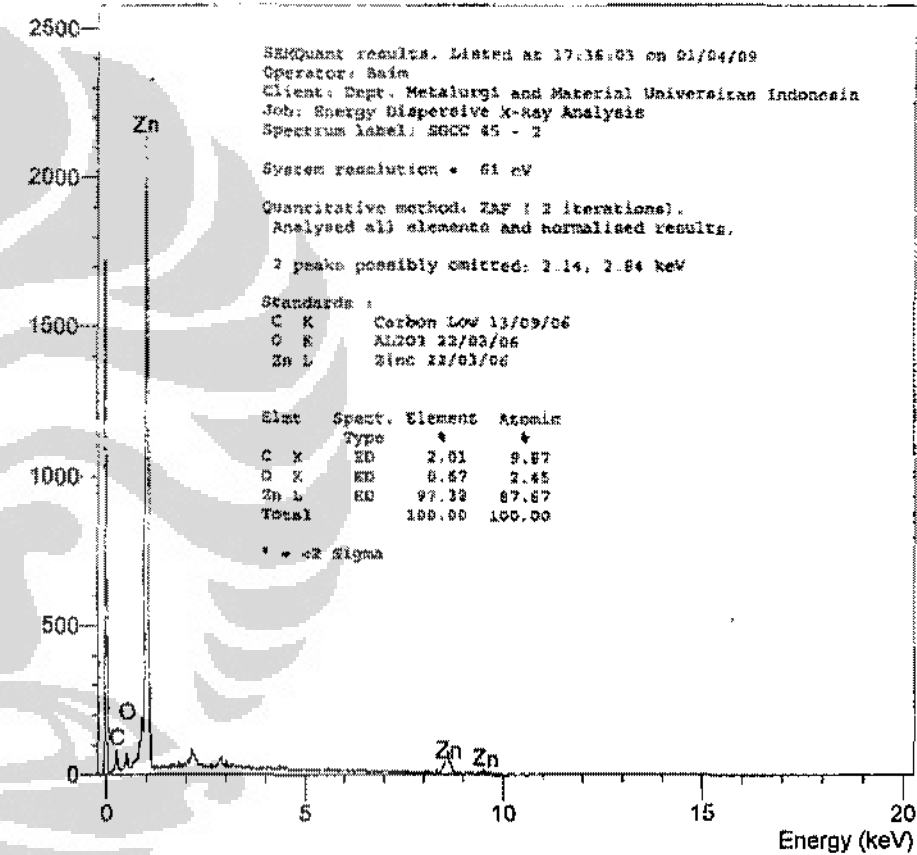
Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SGCC 45 - 1 (01/04/09 17:33)

Counts

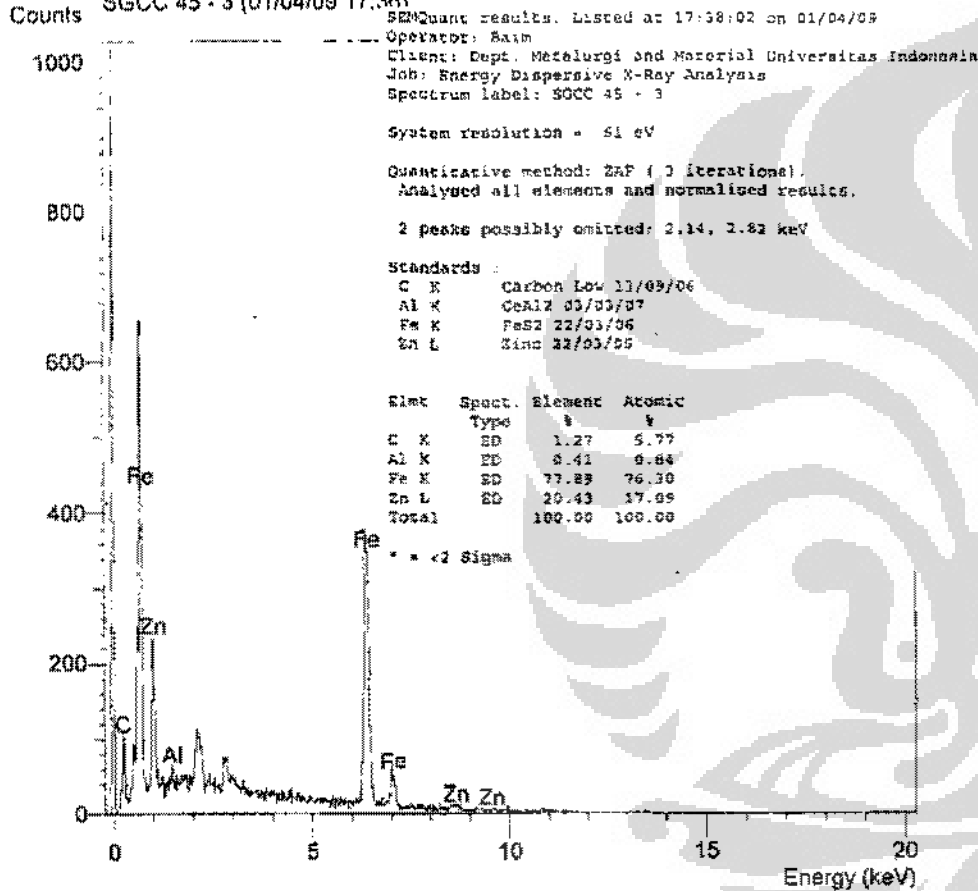


Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SGCC 45 - 2 (01/04/09 17:35)

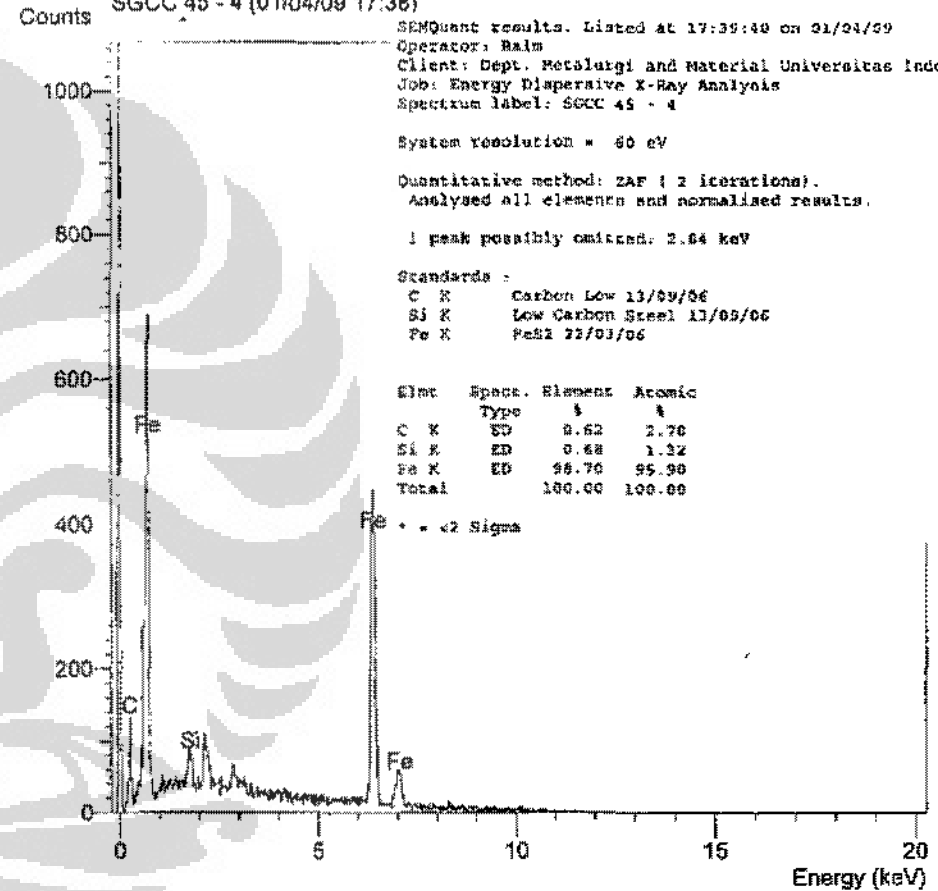
Counts



Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SGCC 45 - 3 (01/04/09 17:38)

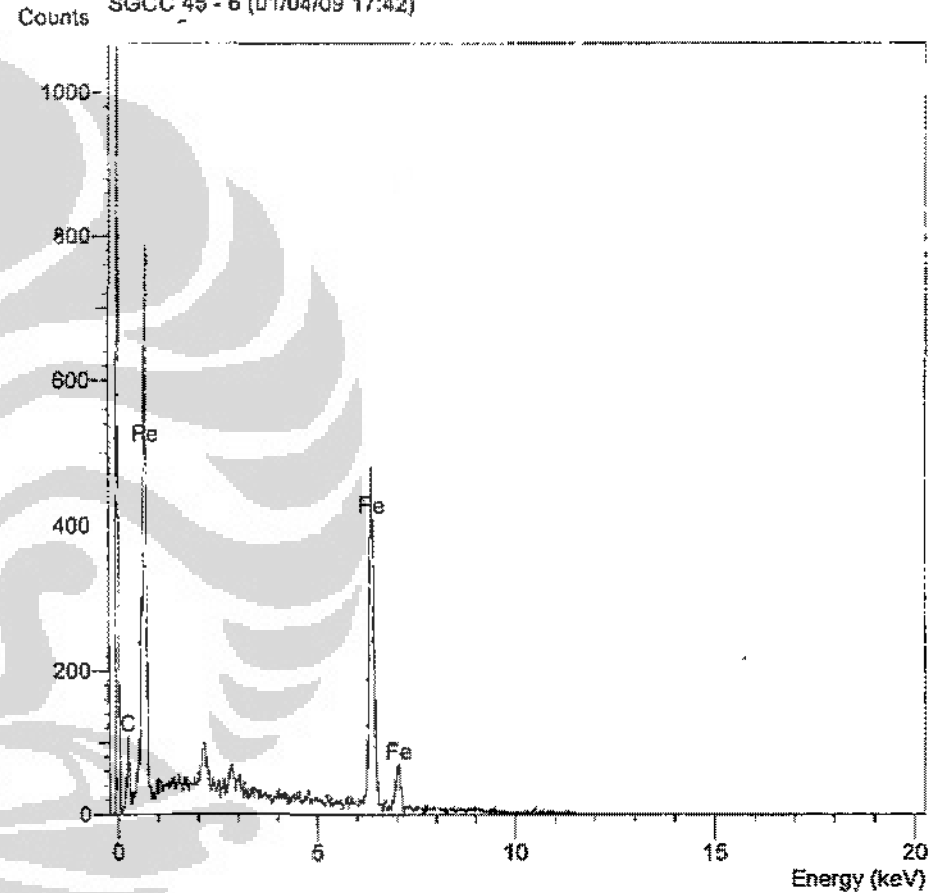
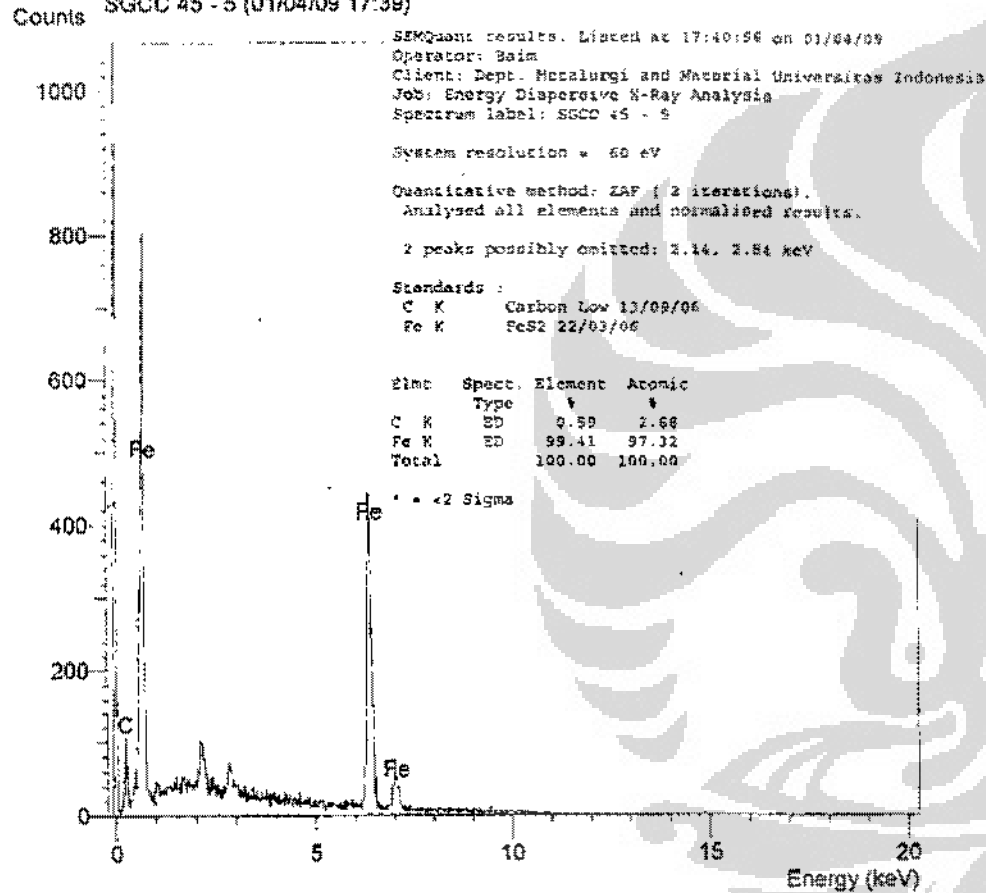


Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SGCC 45 - 4 (01/04/09 17:38)



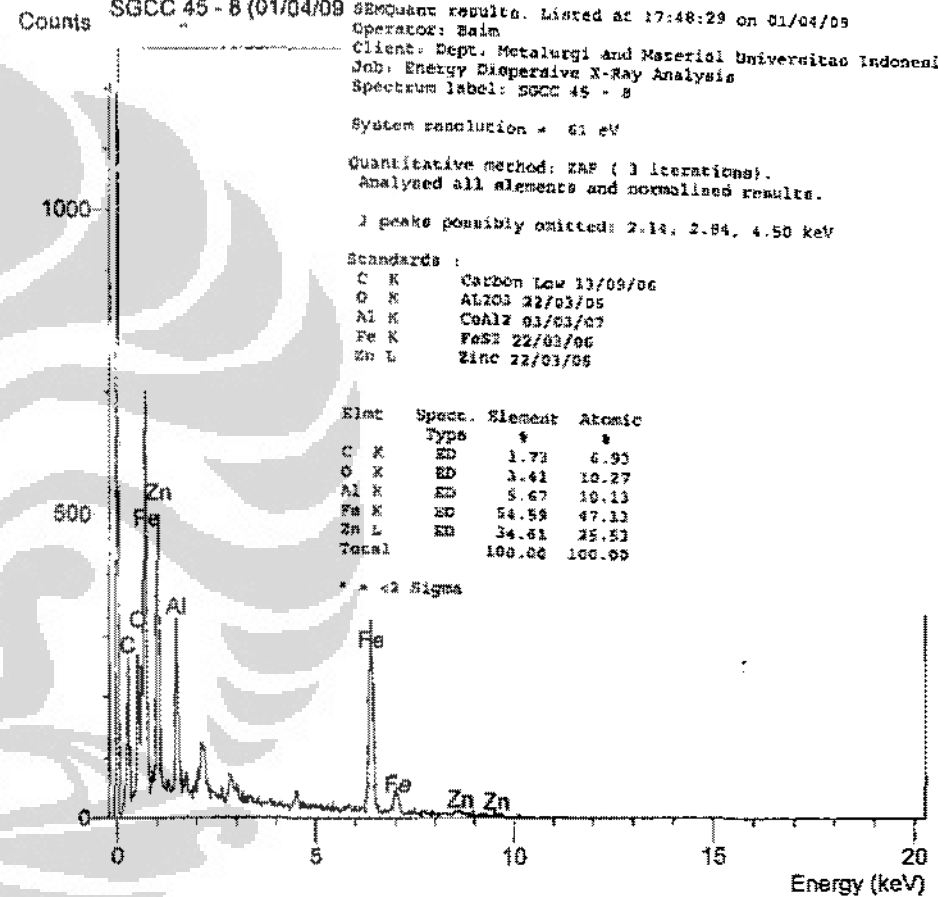
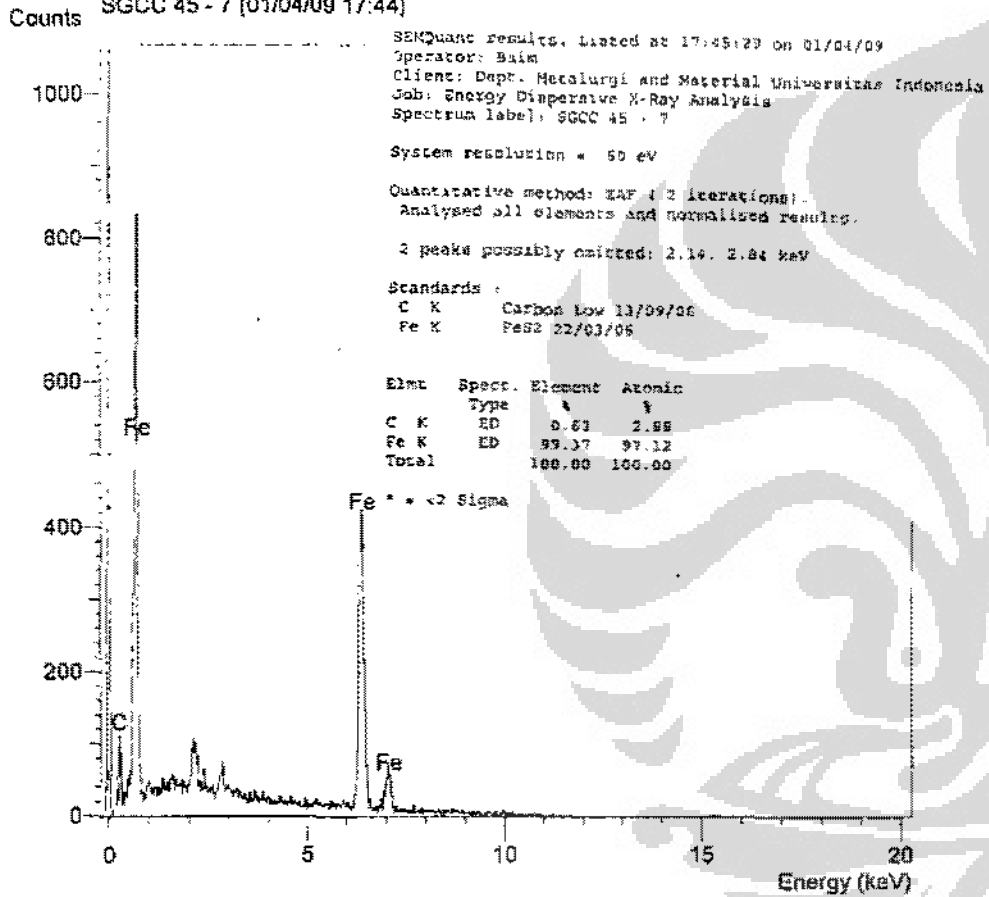
Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SGCC 45 - 5 (01/04/09 17:39)

Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SGCC 45 - 6 (01/04/09 17:42)



Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SGCC 45 - 7 (01/04/09 17:44)

Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SGCC 45 - 8 (01/04/09



Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SGCC 45 - 9 (01/04/09 17:48)

Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SGCC 45 - 10 (01/04/09 17:49)

Counts

Counts

SEMQuant results. Listed at 17:49:32 on 01/04/09  
 Operator: Baim  
 Client: Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 Spectrum label: SGCC 45 - 9

System resolution = 61 eV

Quantitative method: ZAF ( 3 iterations).  
 Analysed all elements and normalised results.

3 peaks possibly omitted: -0.02, 2.14, 2.82 keV

Standards :  
 C K Carbon Low 13/09/06  
 O K AL2O3 22/03/06  
 Zn L zinc 22/03/06

Elem	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	1.34	6.62
O K	ED	1.43	5.29
Zn L	ED	97.23	88.09
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma

SEMQuant results. Listed at 17:50:31 on 01/04/09  
 Operator: Baim  
 Client: Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 Spectrum label: SGCC 45 - 10

System resolution = 61 eV

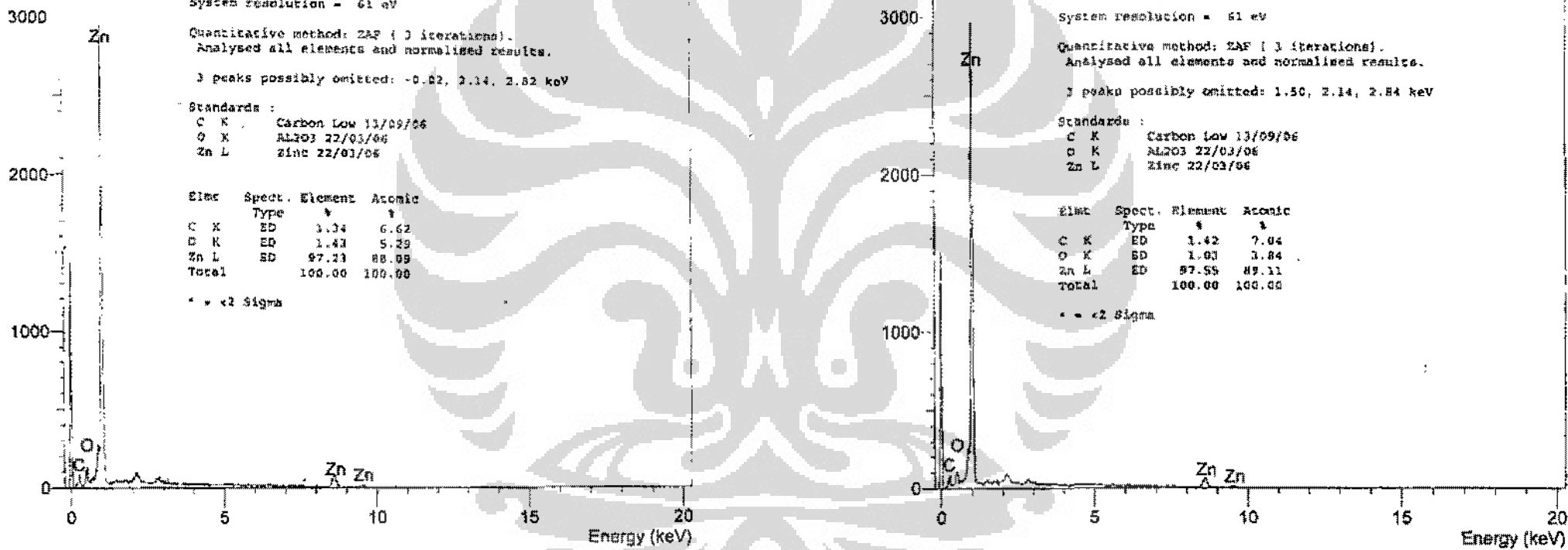
Quantitative method: ZAF ( 3 iterations).  
 Analysed all elements and normalised results.

3 peaks possibly omitted: 1.50, 2.14, 2.84 keV

Standards :  
 C K Carbon Low 13/09/06  
 O K AL2O3 22/03/06  
 Zn L zinc 22/03/06

Elem	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	1.42	7.04
O K	ED	1.03	3.84
Zn L	ED	97.55	89.11
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma

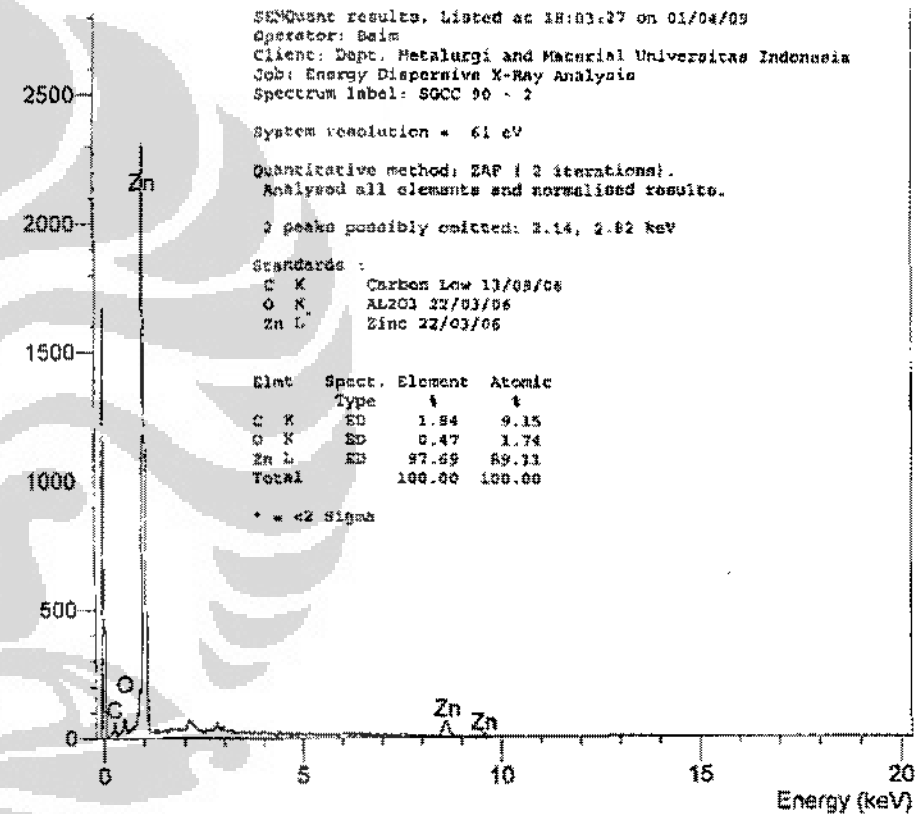
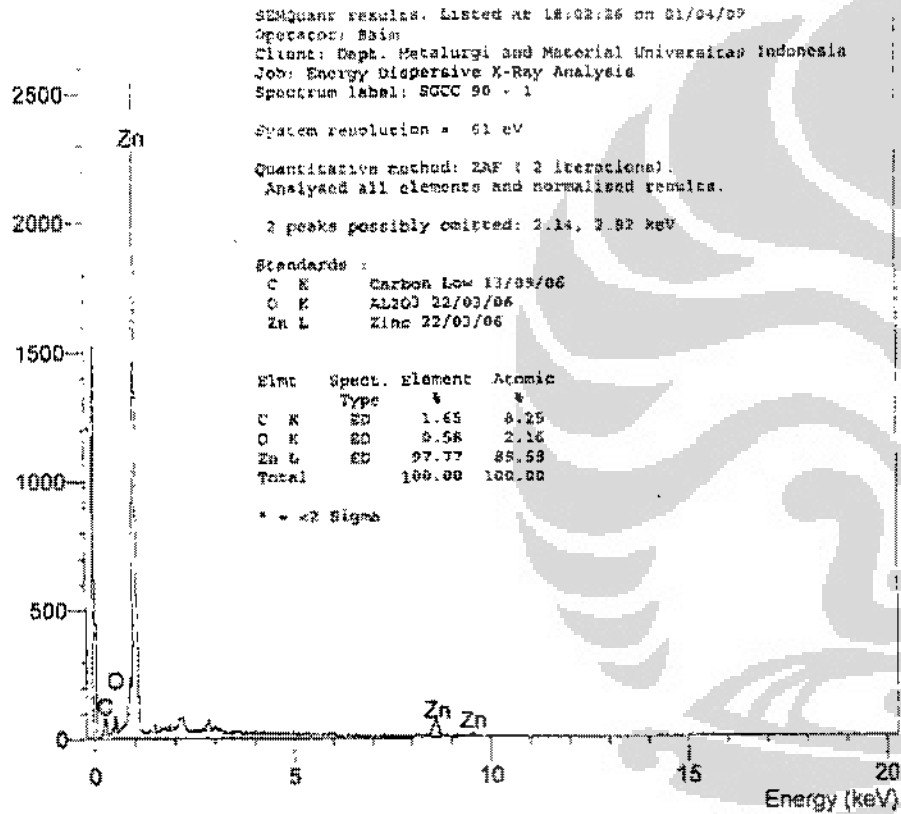


Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SGCC 90 - 1 (01/04/09 18:01)

Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SGCC 90 - 2 (01/04/09 18:02)

Counts

Counts





Operator : Baim

Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia

Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis

SGCC 90 - 3 (01/04/09 18:06)

SEMQuant results. Listed at 18:07:21 on 01/04/09

Operator: Baim

Client: Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia

Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis

Spectrum label: SGCC 90 - 3

System resolution = 61 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations)

Analysed all elements and normalized results.

3 peaks possibly omitted: 2.14, 2.92 keV

Standards :

C K Carbon Low 11/09/06

Al K Cobalt 23/03/07

Fe K FeS2 22/03/06

Zn L Zinc 22/03/06

Zlms Spect. Elements Atomic

Type %

C K ED 1.95 4.67

Al K ED 0.85 1.69

Fe K ED 73.86 76.54

Zn L ED 23.46 19.11

Total 100.00 100.00

\* = <2 Sigma

Counts

1000

800

600

400

200

0

Standards :

C K Carbon Low 11/09/06

Fe K FeS2 22/03/06

Zlms Spect. Elements Atomic

Type %

C K ED 0.53 2.42

Fe K ED 99.47 97.58

Total 100.00 100.00

\* = <2 Sigma

Operator : Baim

Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia

Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis

SGCC 90 - 4 (01/04/09 18:06)

SEMQuant results. Listed at 18:08:20 on 01/04/09

Operator: Baim

Client: Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia

Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis

Spectrum label: SGCC 90 - 4

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF (2 iterations)

Analysed all elements and normalized results.

1 peak possibly omitted: 2.14 keV

Standards :

C K Carbon Low 11/09/06

Fe K FeS2 22/03/06

Zlms Spect. Elements Atomic

Type %

C K ED 0.53 2.42

Fe K ED 99.47 97.58

Total 100.00 100.00

\* = <2 Sigma

Counts

1000

800

600

400

200

0

Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SGCC 90 - 5 (01/04/09 18:08)

SEMQuant results. Listed at 18:09:18 on 01/04/09  
 Operator: Baim  
 Client: Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 Spectrum label: SGCC 90 - 5

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF ( 2 iterations).  
 Analysed all elements and normalized results.

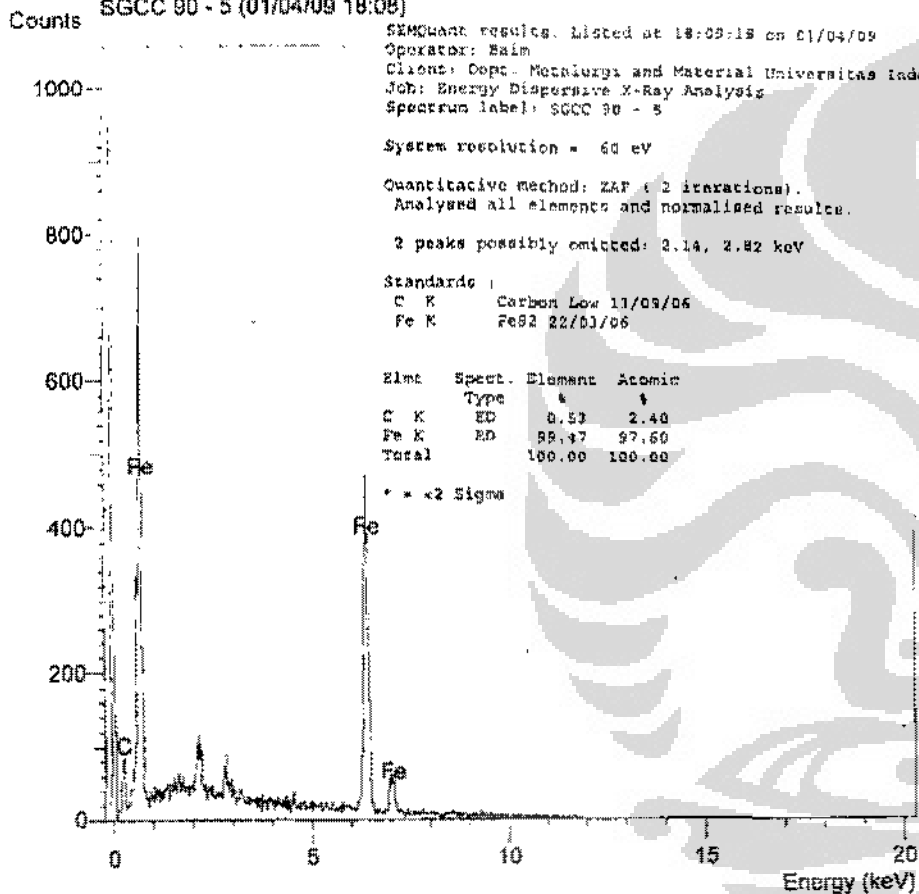
2 peaks possibly omitted: 2.14, 2.82 keV

Standards :

C K Carbon Low 11/03/06  
 Fe K FeS2 22/03/06

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	0.53	2.40
Fe K	ED	99.47	97.60
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma



Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SGCC 90 - 6 (01/04/09 18:11)

SEMQuant results. Listed at 18:12:40 on 01/04/09  
 Operator: Baim  
 Client: Dept. Metalurgi and Material Universitas Indo  
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 Spectrum label: SGCC 90 - 6

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF ( 2 iterations).  
 Analysed all elements and normalized results.

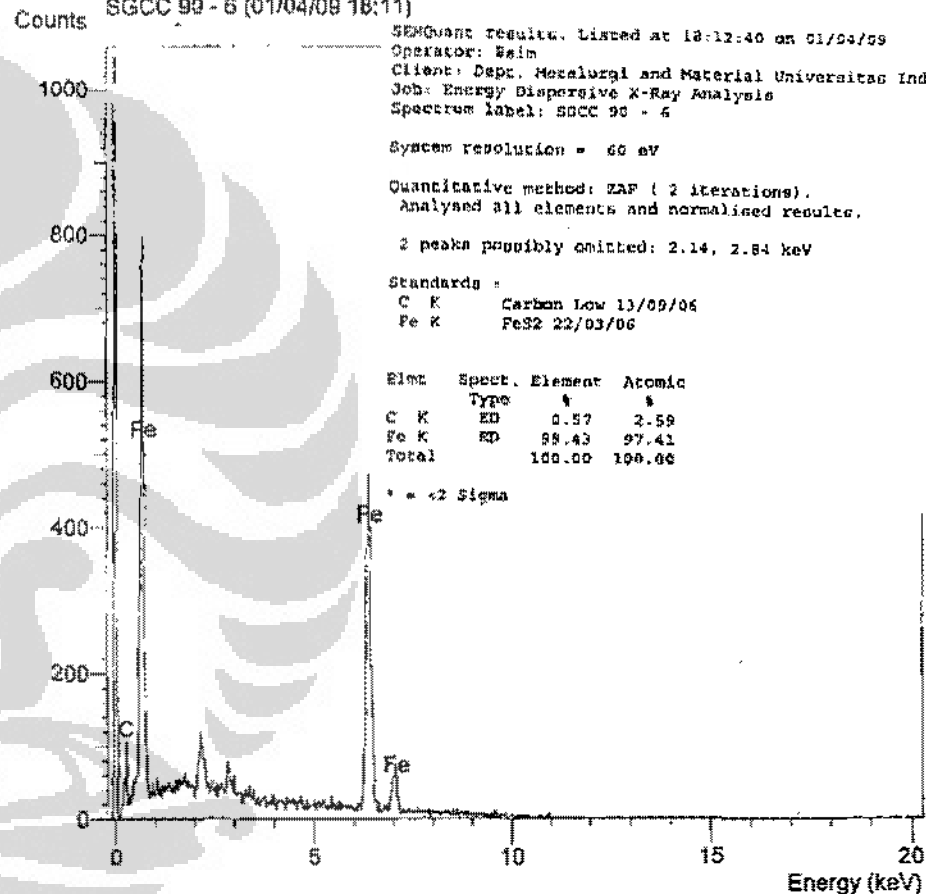
2 peaks possibly omitted: 2.14, 2.84 keV

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06  
 Fe K FeS2 22/03/06

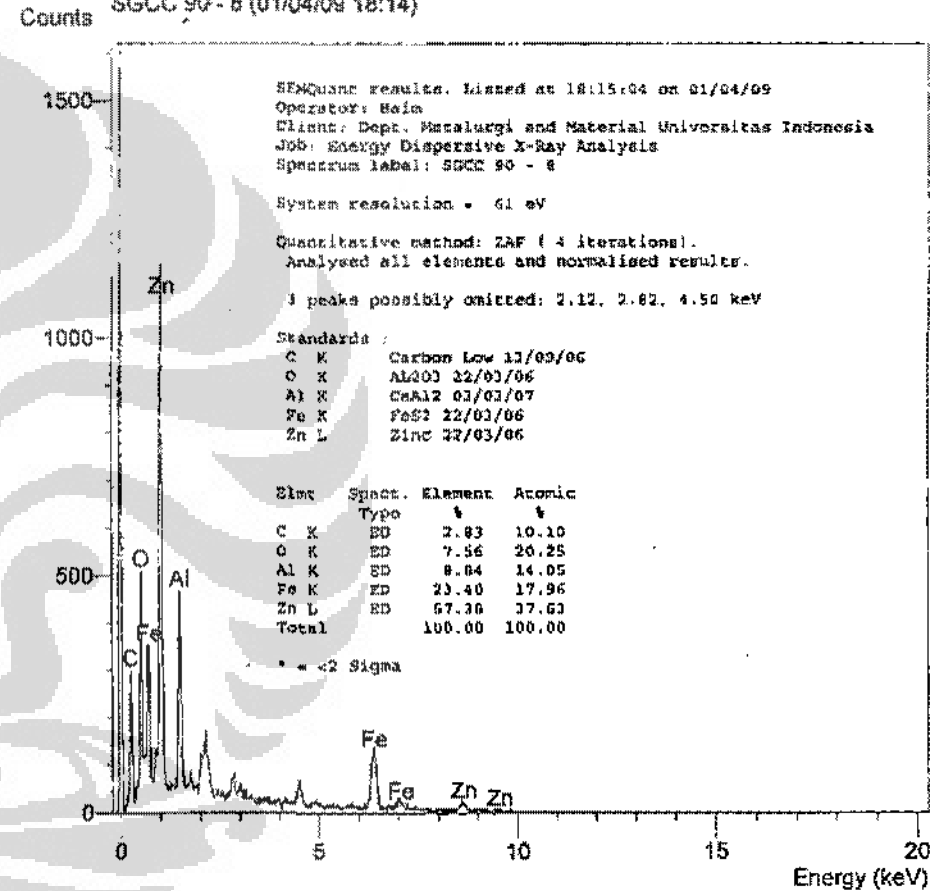
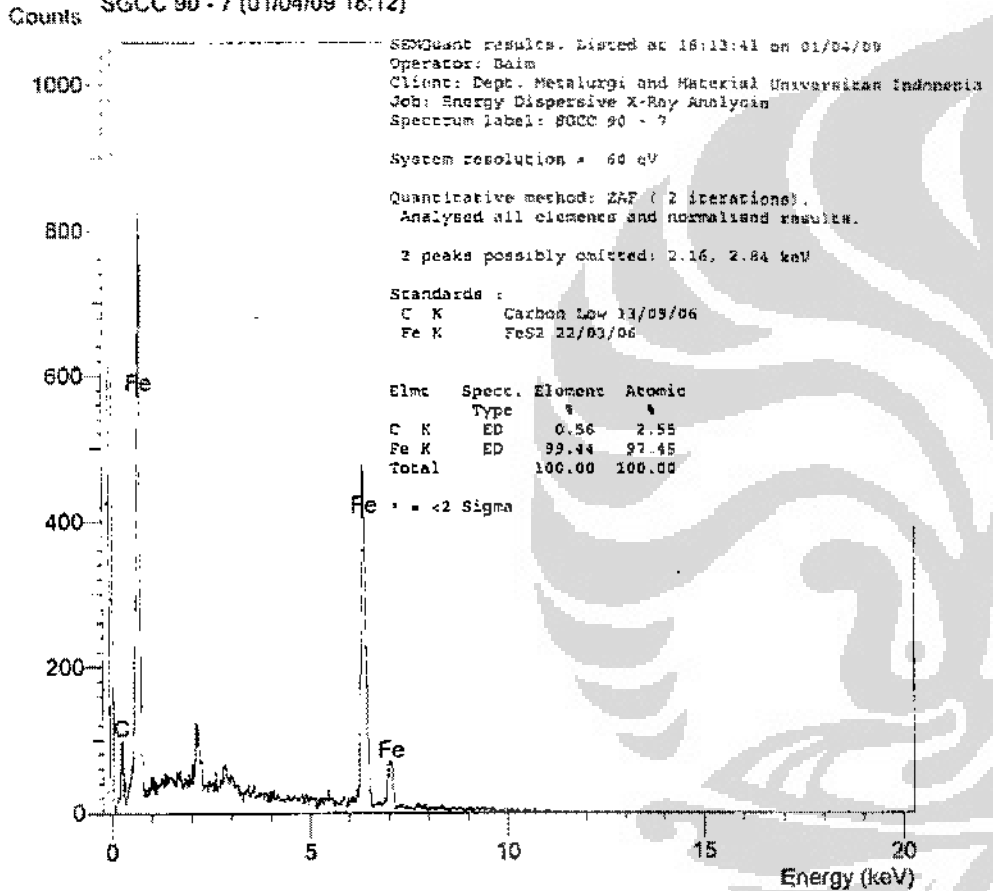
Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	0.57	2.59
Fe K	ED	99.43	97.41
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma



Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SGCC 90 - 7 (01/04/09 18:12)

Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SGCC 90 - 8 (01/04/09 18:14)

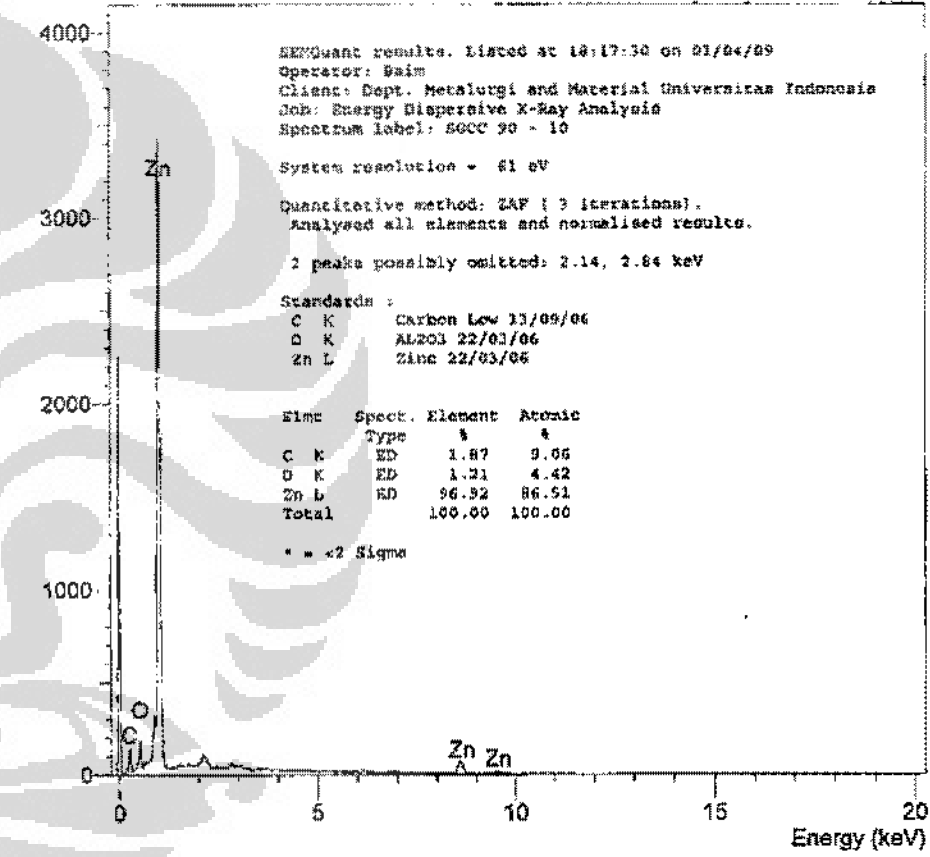
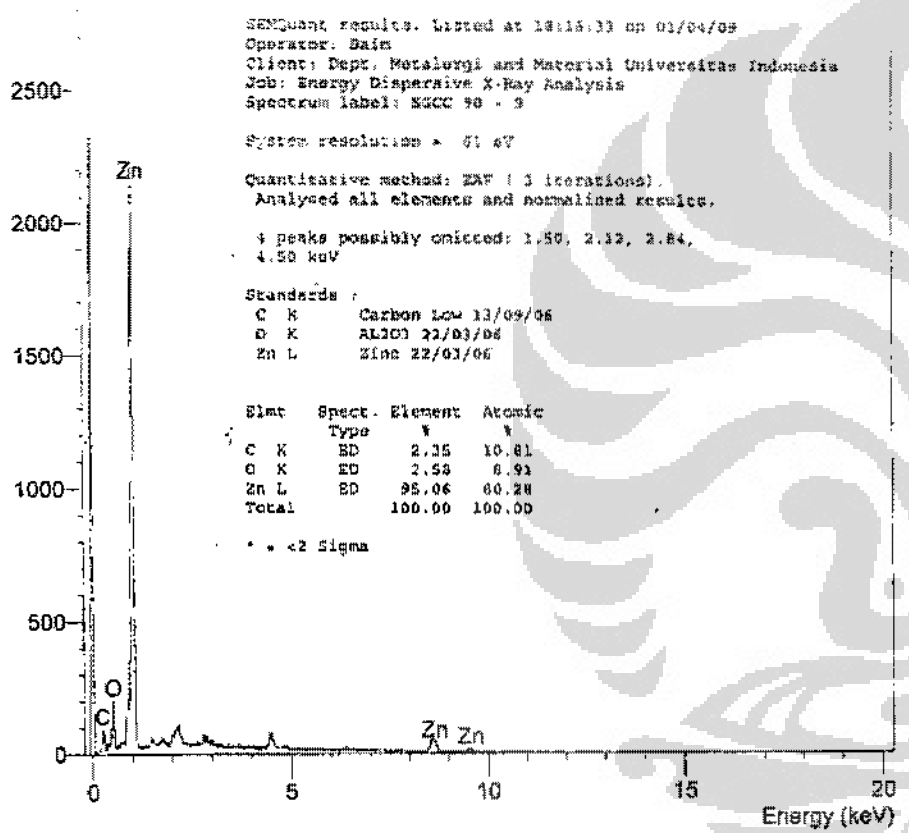


Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SGCC 90 - 9 (01/04/09 18:15)

Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SGCC 90 - 10 (01/04/09 18:16)

Counts

Counts



Operator : BaIm  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SPTe 0 - 1 (04/04/09 13:41)

SEQUANT results. Listed at 13:42:07 on 04/04/09  
 Operator: BaIm  
 Client: Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 Spectrum label: SPTe 0 - 1

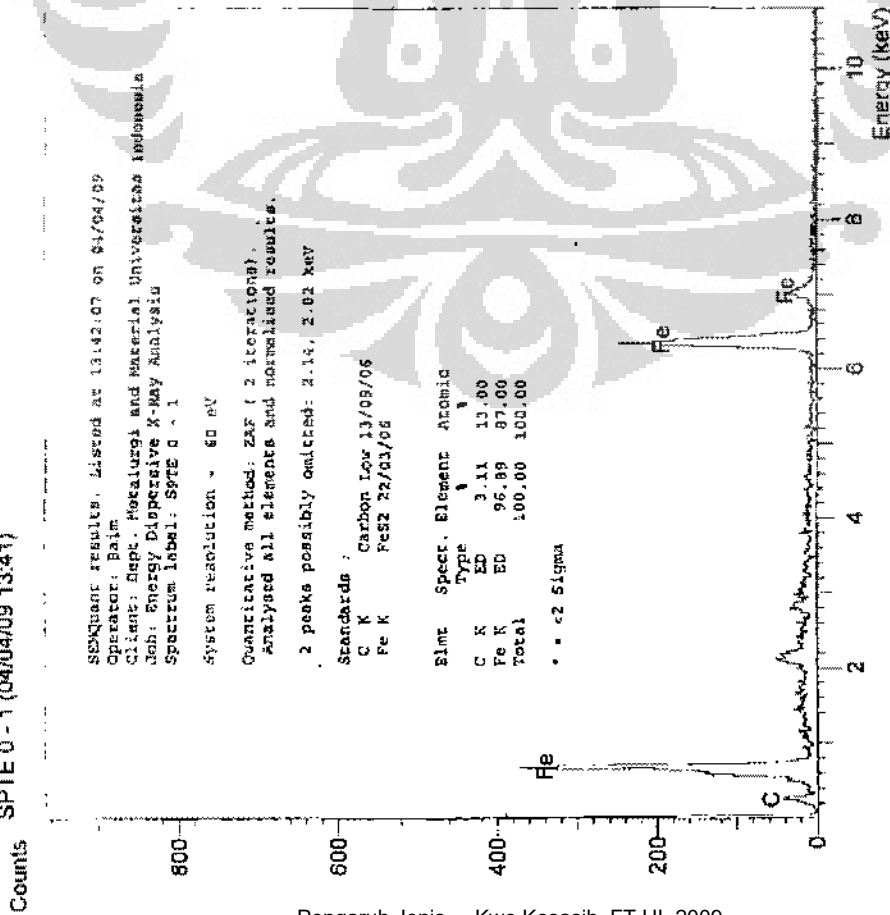
System resolution = 60 eV  
 Quantitative method: ZAF ( 2 iterations)  
 Analyzed all elements and normalized results.

2 peaks possibly omitted: 2.14, 2.81 keV

Standards :  
 C K Carbon Low 13/09/06  
 Fe K FeS2 22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
Type			
C K	ED	3.11	13.00
Fe K	ED	96.89	87.00
Total		100.00	100.00

\* \* < 2 Sigma



Operator : BaIm  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SPTe 0 - 2 (04/04/09 13:36)

SEQUANT results. Listed at 13:40:59 on 04/04/09  
 Operator: BaIm  
 Client: Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 Spectrum label: SPTe 0 - 2

System resolution = 60 eV

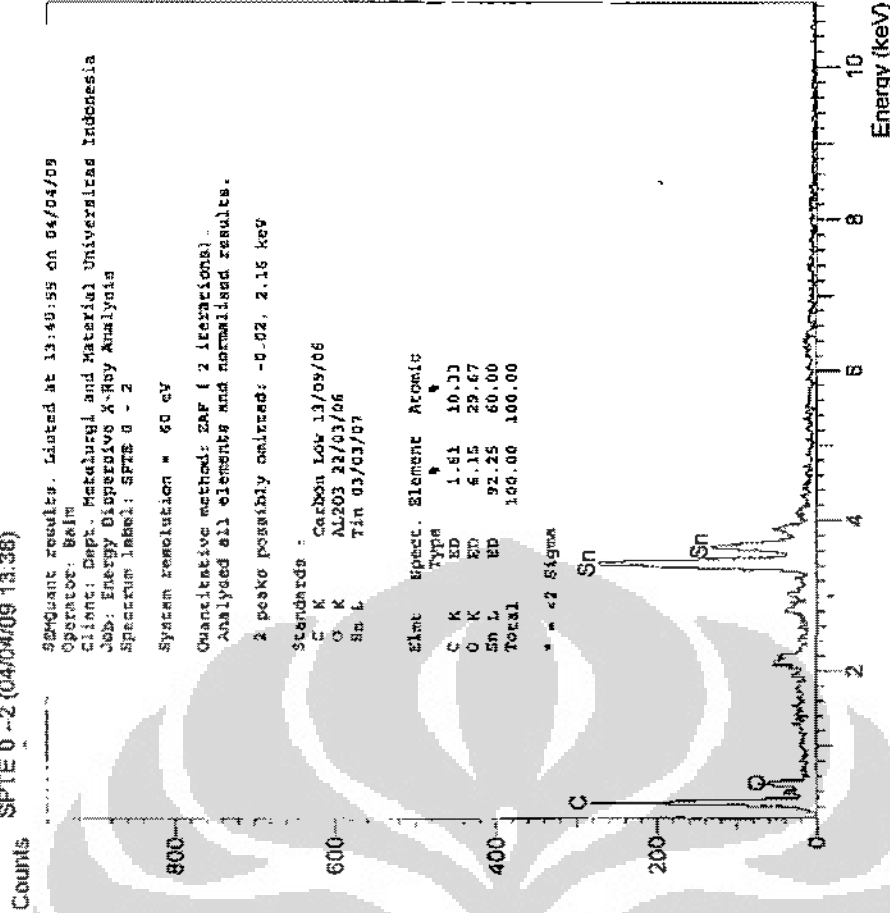
Quantitative method: ZAF ( 2 iterations)  
 Analyzed all elements and normalized results.

2 peaks possibly omitted: -0.02, 2.16 keV

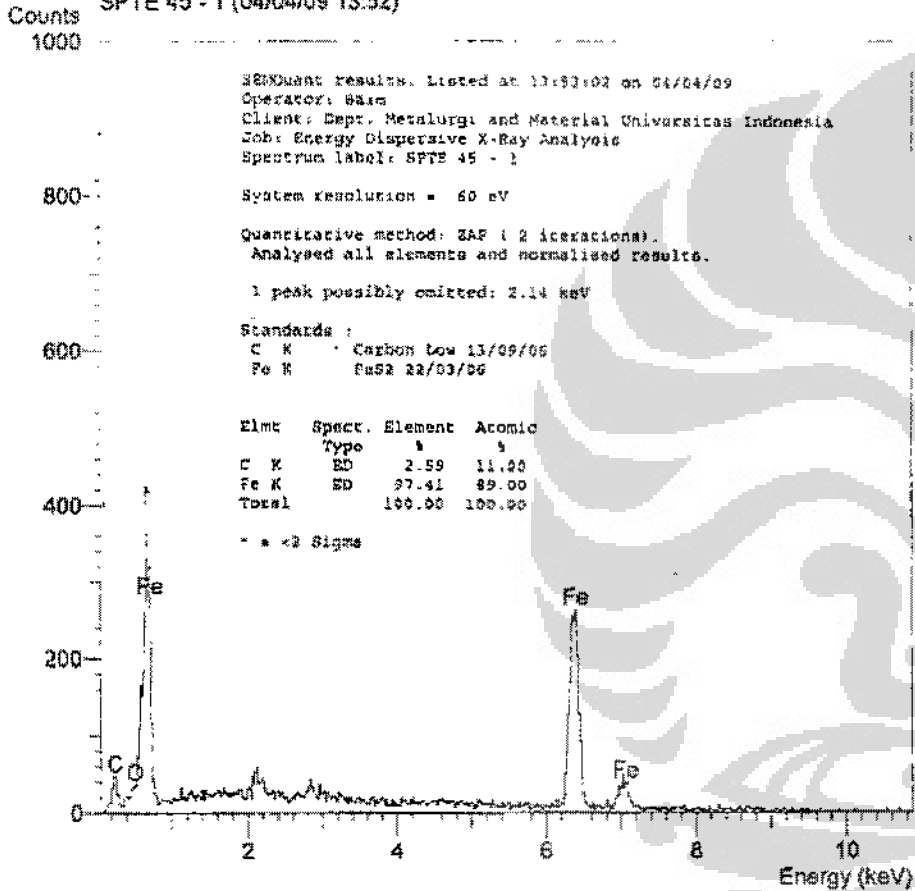
Standards :  
 C K Carbon Low 13/09/06  
 O K AL2O3 22/03/06  
 Sn L Tin 03/03/07

Elmt	Spect.	Element	Atomic
Type			
C K	ED	1.61	10.00
O K	ED	6.15	29.67
Sn L	ED	92.25	60.00
Total		100.00	100.00

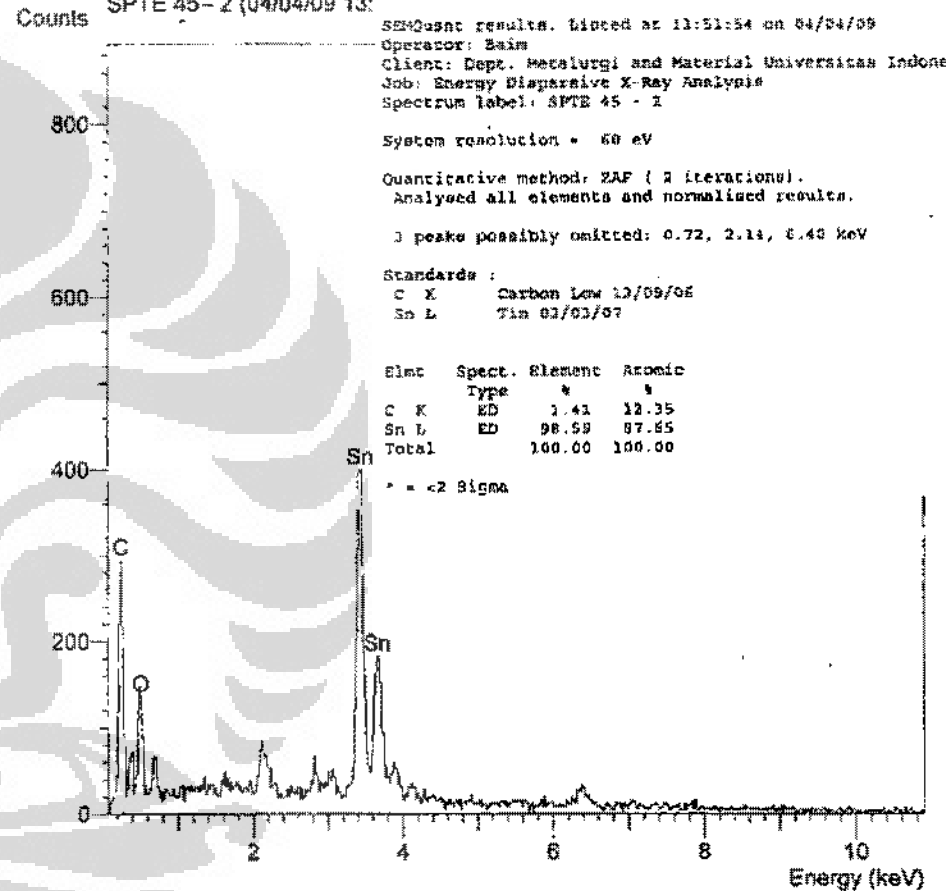
\* \* < 2 Sigma



Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SPTe 45 - 1 (04/04/09 13:52)

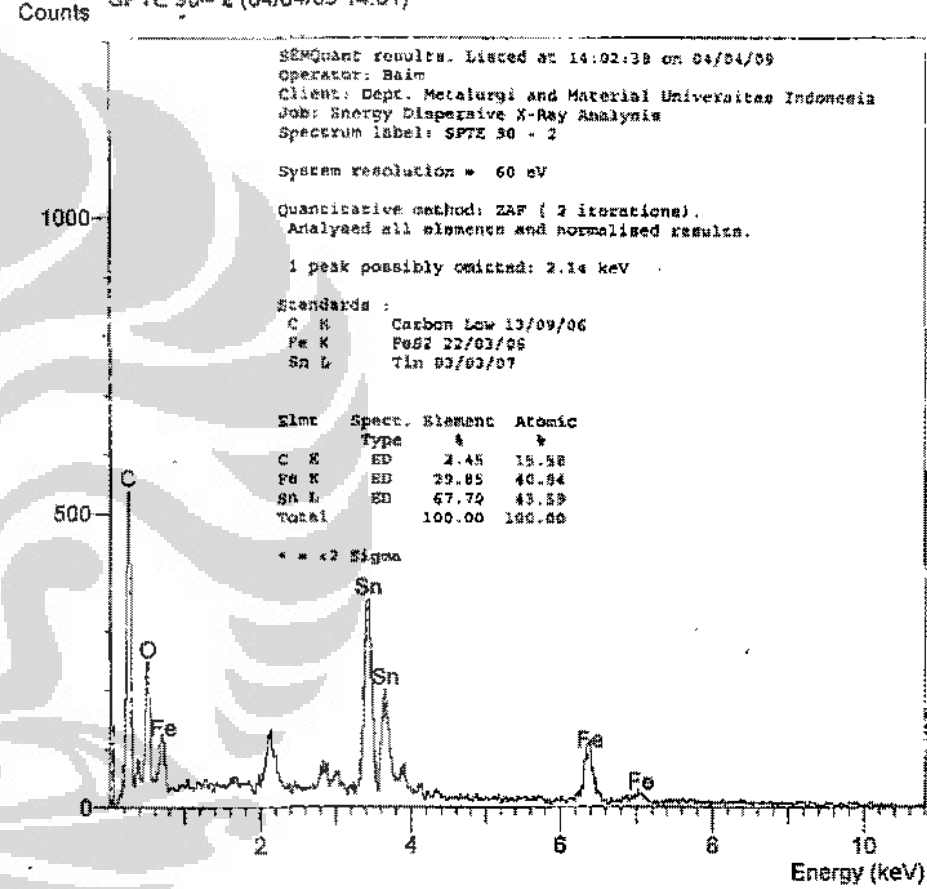
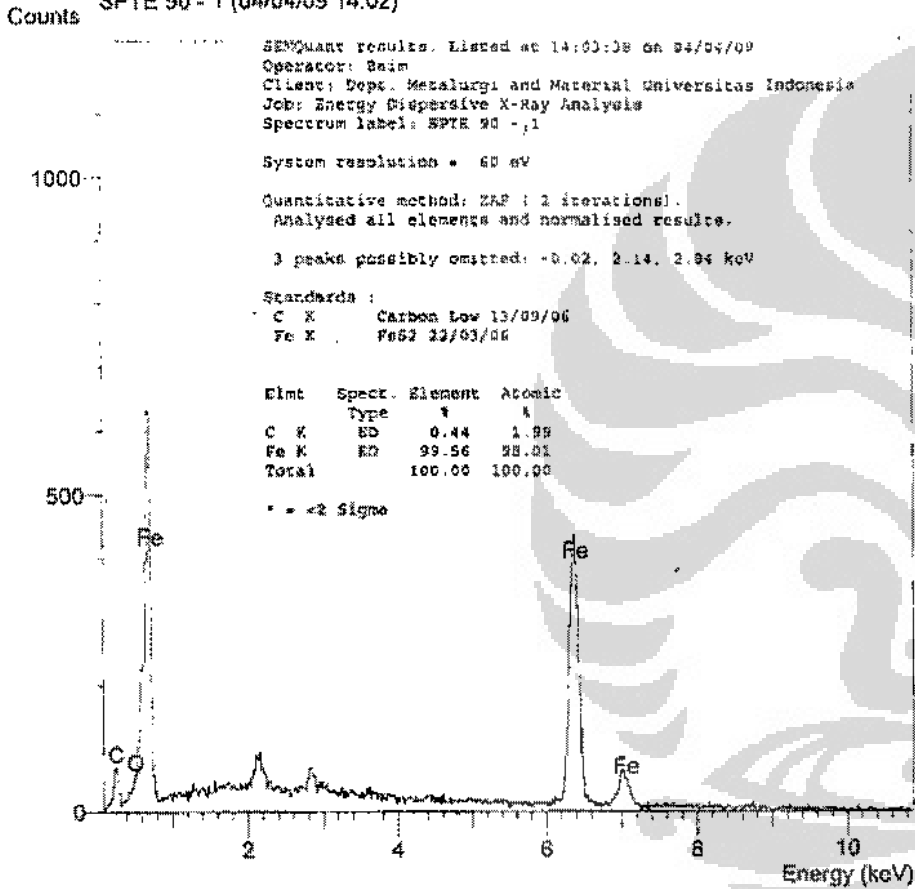



Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SPTe 45 - 2 (04/04/09 13:52)



Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SPTe 90 - 1 (04/04/09 14:02)

Operator : Baim  
 Client : Dept. Metalurgi and Material Universitas Indonesia  
 Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 SPTe 90 - 2 (04/04/09 14:01)





Lampiran 6

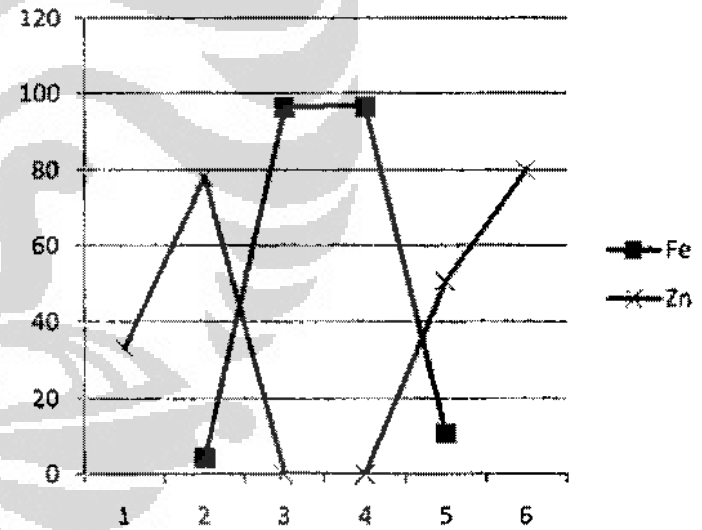
Komposisi kimia logam dan  
logam pelapis



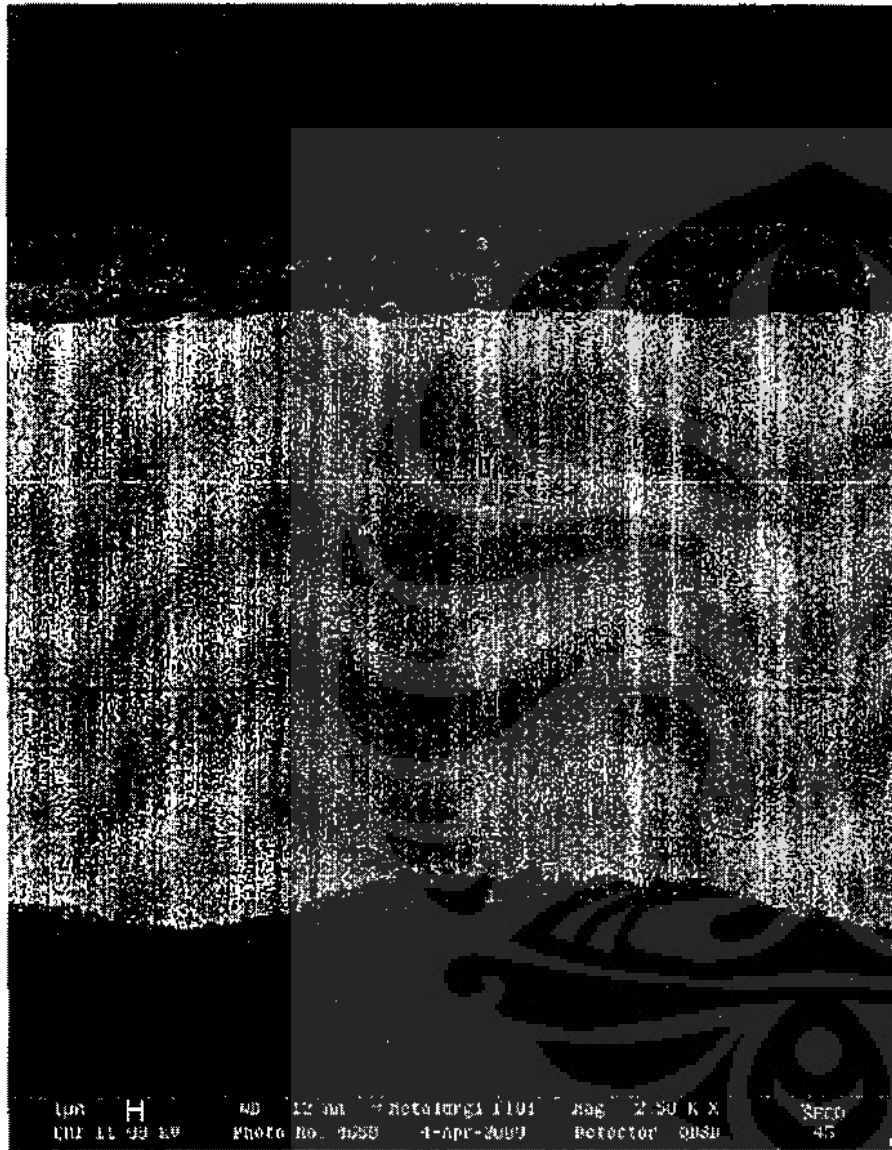
# SECD 0



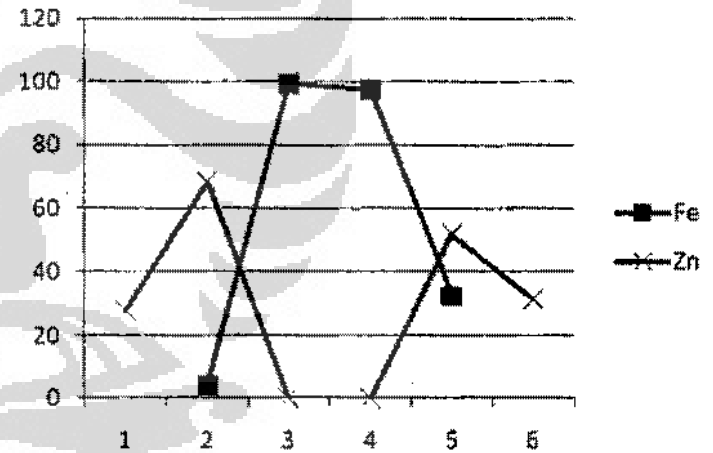
No	Fe	Al	Zn	C	O
6			33.36	43.95	22.69
5	4.22		78.01	10.37	7.40
4	96.53		-	3.47	
3	96.87		-	3.13	
2	10.68		50.69	27.13	11.50
1			80.09	7.38	12.52

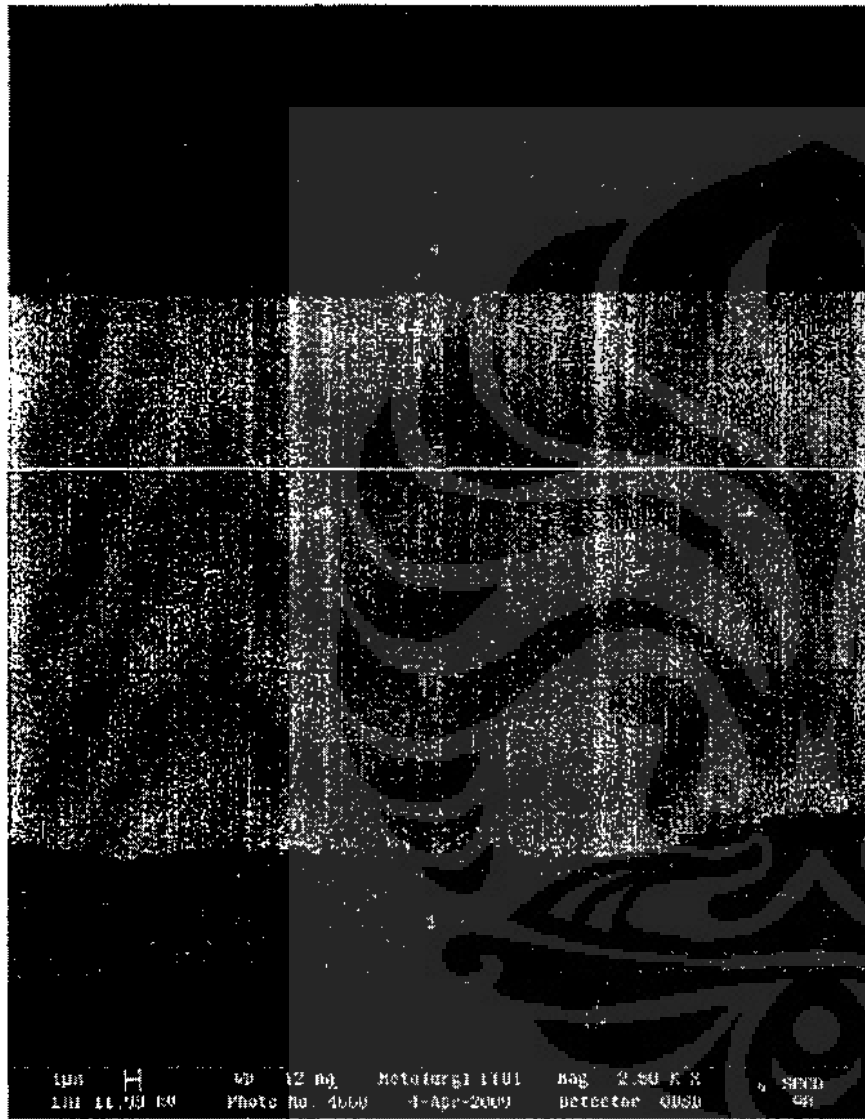


# SECD 45

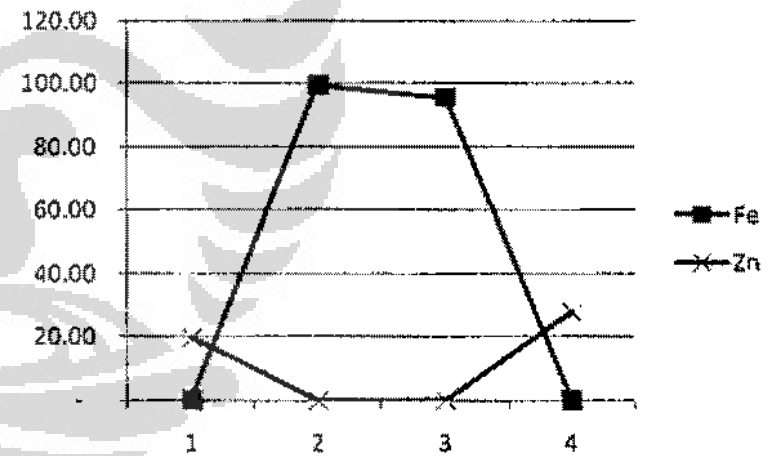


No	Fe	Al	Zn	C	O
6			28.03	36.30	35.67
5	4.03		68.45	14.10	13.41
4	99.46		-	0.54	
3	97.31		-	2.69	
2	32.59		51.76	15.64	
1			31.61	68.39	

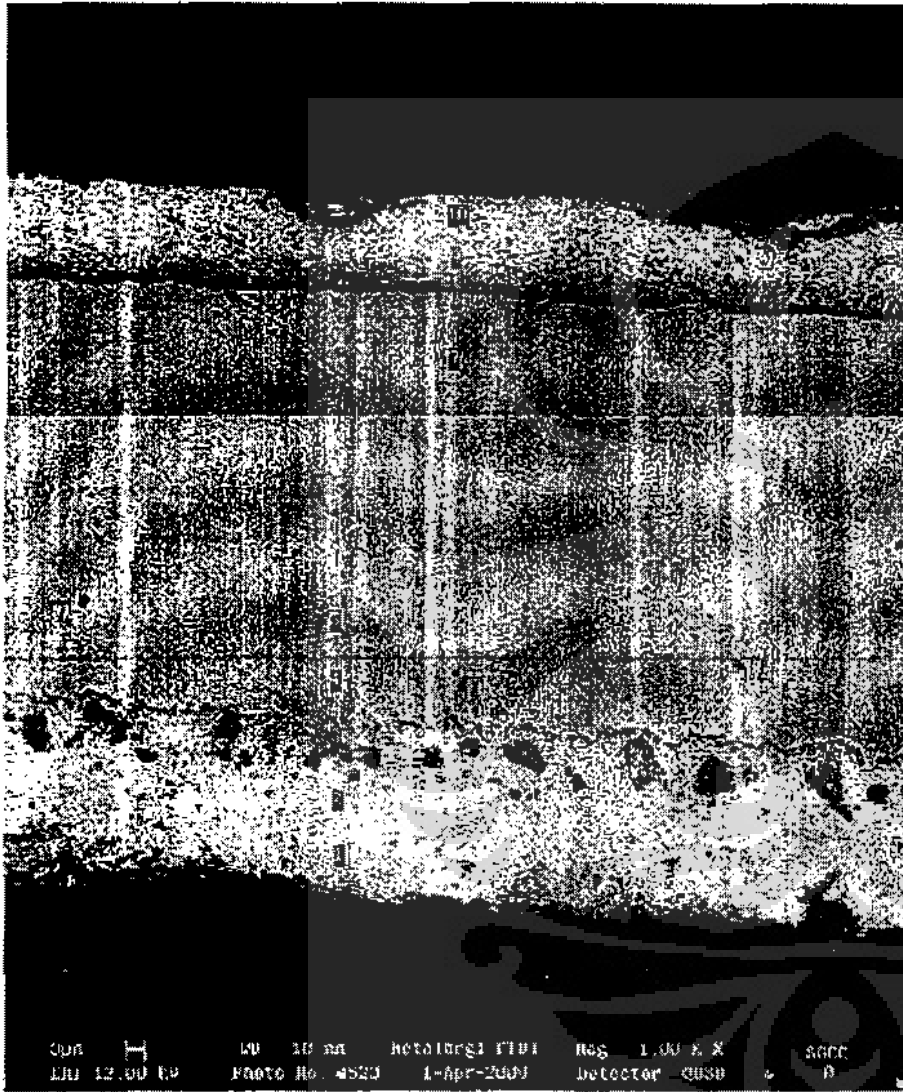




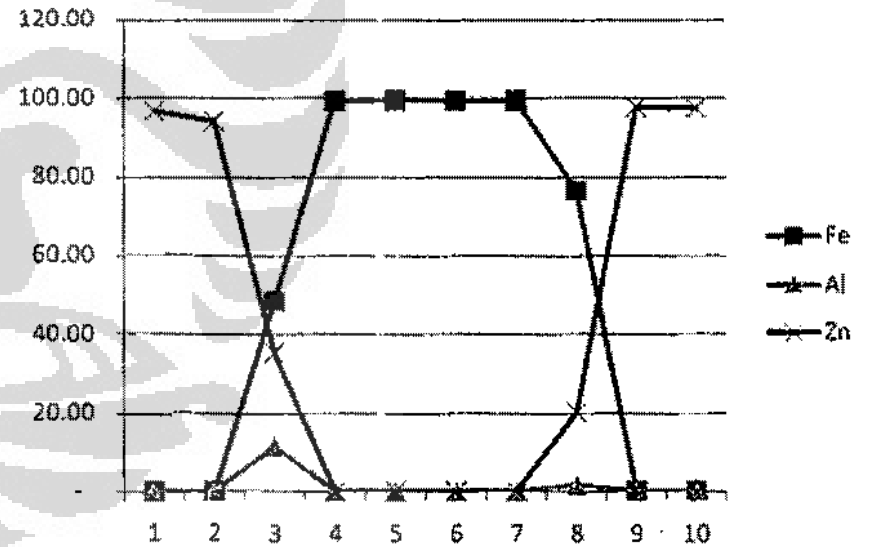
No	Fe	Al	Zn	C	O
4	-		19.73	49.42	30.85
3	99.54		-	0.46	
2	95.68		-	4.32	
1	-		27.88	72.12	



# SGCC 0



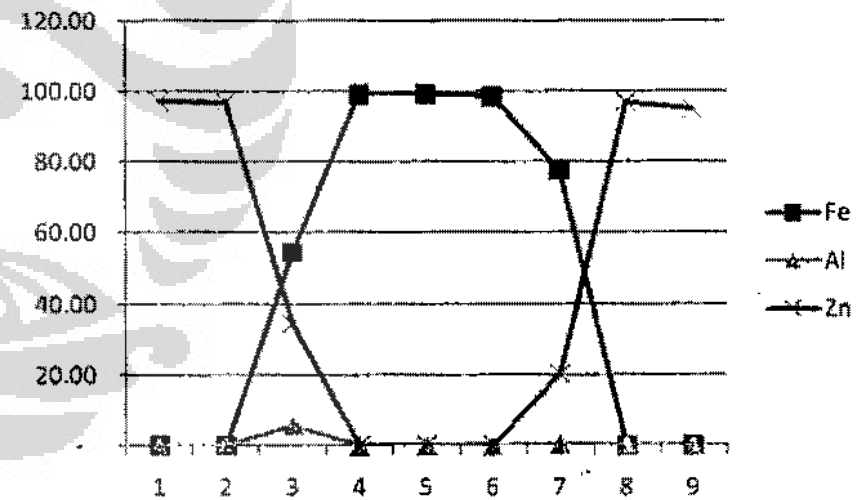
No	Fe	Al	Zn	C	O	Si
10	-	-	96.81	1.73	1.46	-
9	-	-	94.26	1.57	3.75	0.42
8	48.43	11.60	35.28	2.31	2.38	-
7	99.51	-	-	0.49	-	-
6	99.53	-	-	0.47	-	-
5	99.48	-	-	0.52	-	-
4	99.49	-	-	0.51	-	-
3	76.54	1.54	20.29	1.62	-	-
2	-	-	97.93	2.07	-	-
1	-	-	97.57	2.43	-	-

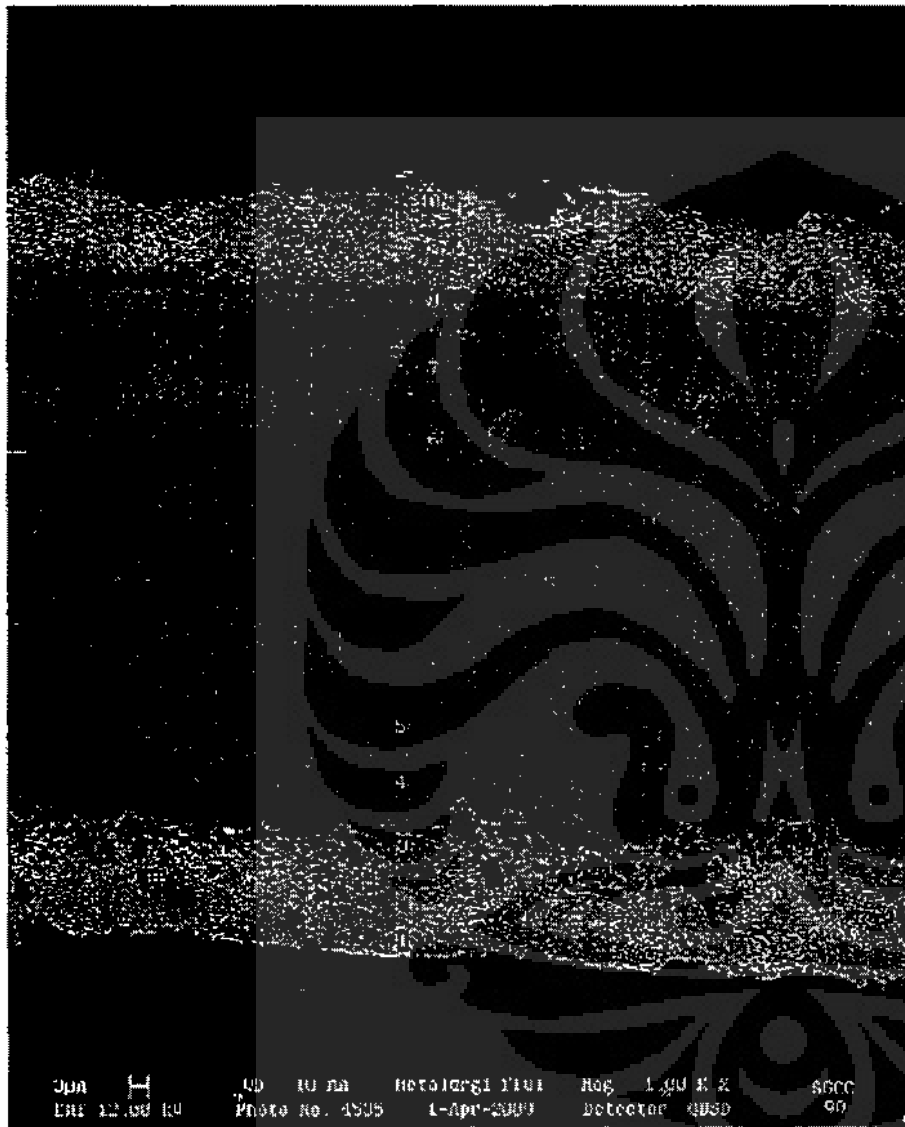


# SGCC 45

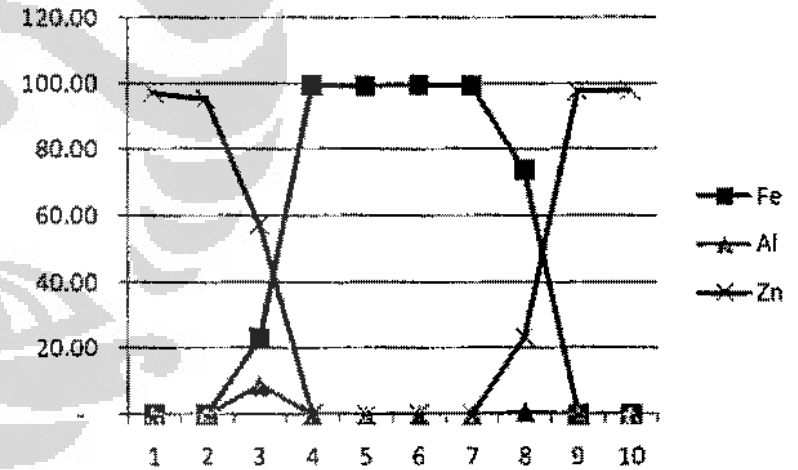


No	Fe	Al	Zn	C	O	Si
10	-	-	97.55	1.42	1.03	
9	-	-	97.23	1.34	1.43	
8	54.59	5.67	34.61	1.73	3.41	
7	99.37	-	-	0.63		
5	99.41	-	-	0.59		
4	98.70	-	-	0.62		0.68
3	77.89	0.41	20.43	1.27		
2	-	-	97.32	2.01	0.67	
1	-	-	95.30	2.55	2.14	

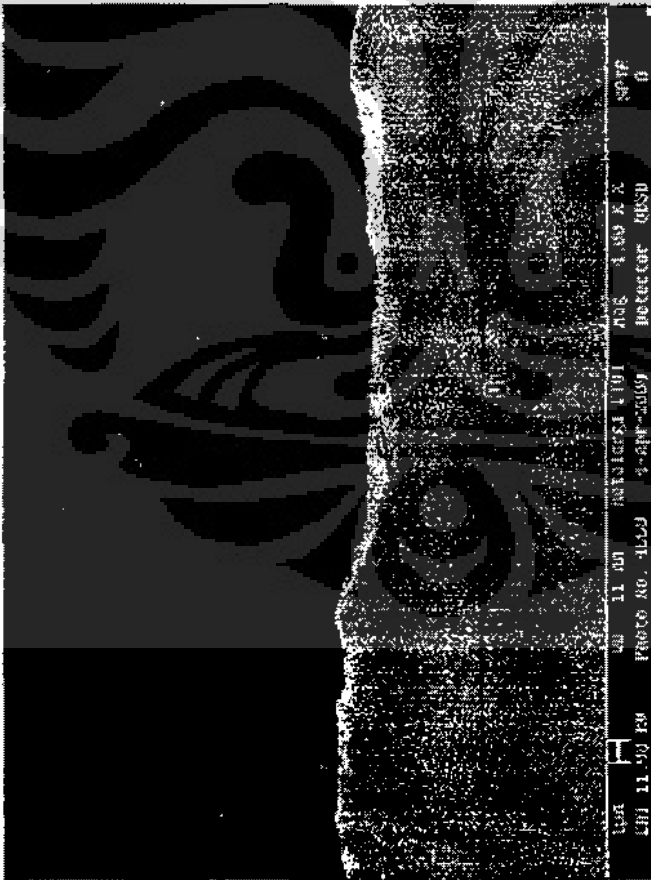




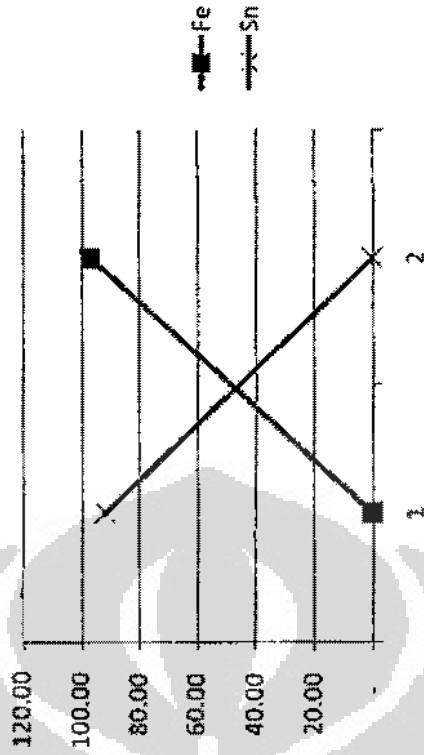
No	Fe	Al	Zn	C	O	Si
10	-	-	96.92	1.87	1.21	
9	-	-	95.06	2.35	2.58	
8	23.40	8.84	57.38	2.83	7.56	
7	99.44	-	-	0.56		
6	99.43	-	-	0.57		
5	99.47	-	-	0.53		
4	99.47	-	-	0.53		
3	73.80	0.85	23.40	1.95		
2	-	-	97.69	1.84	0.47	
1	-	-	97.77	1.65	0.58	



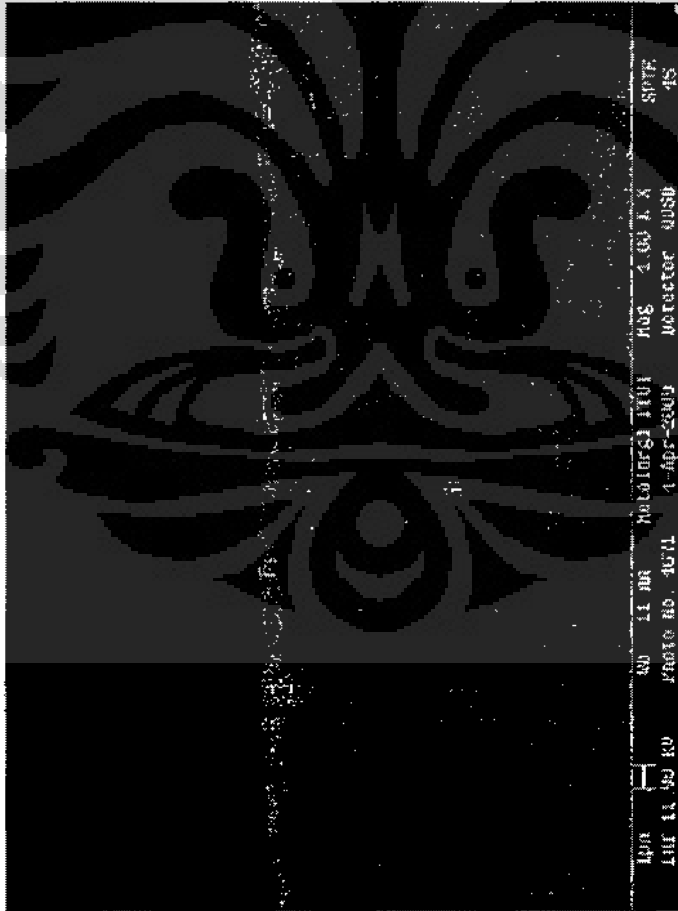
# SPT E 0



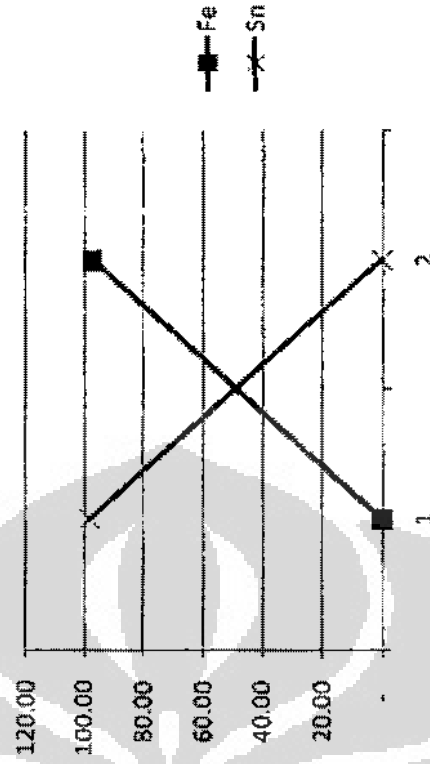
No	Fe	Al	Sn	C
2	-		92.25	1.61
1	96.89		-	3.11



# SPTe 45

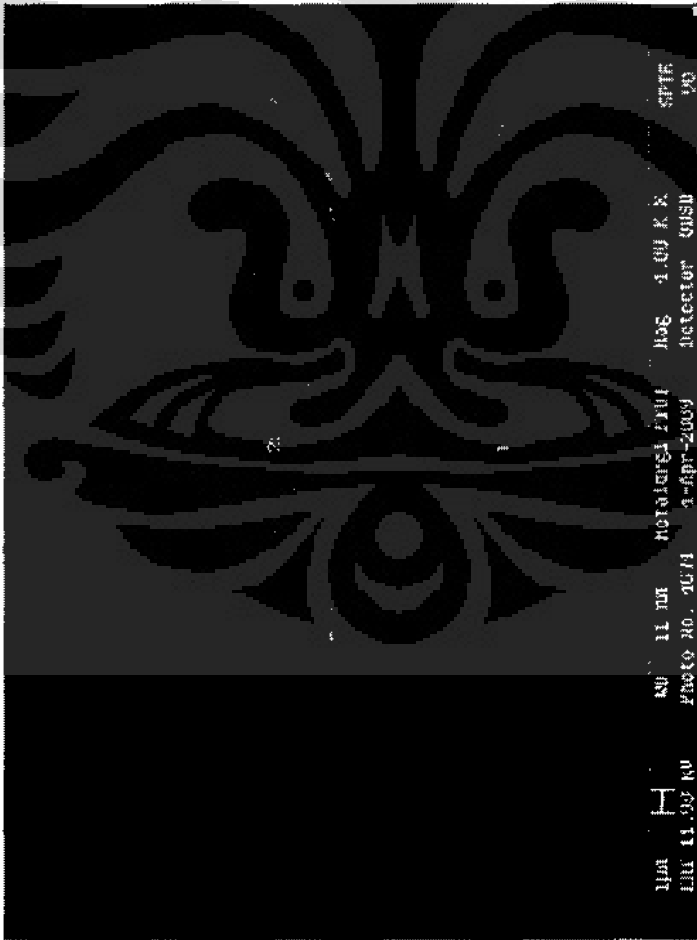


No	Fe	Al	Sn	C	O
2	-		98.59	1.41	
1	97.41		-	2.59	

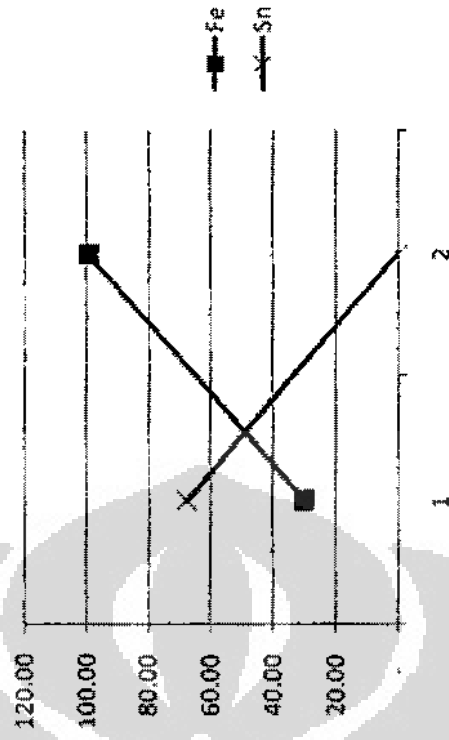




# SPTF 90



No	Fe	Al	Sn	C	O
2	29.85		67.70	2.45	
1	99.56		-	0.44	

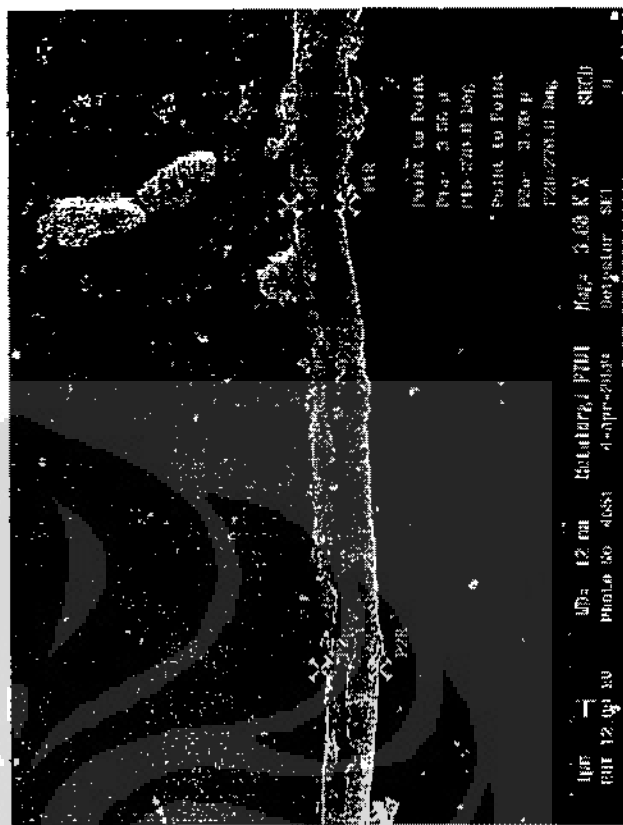
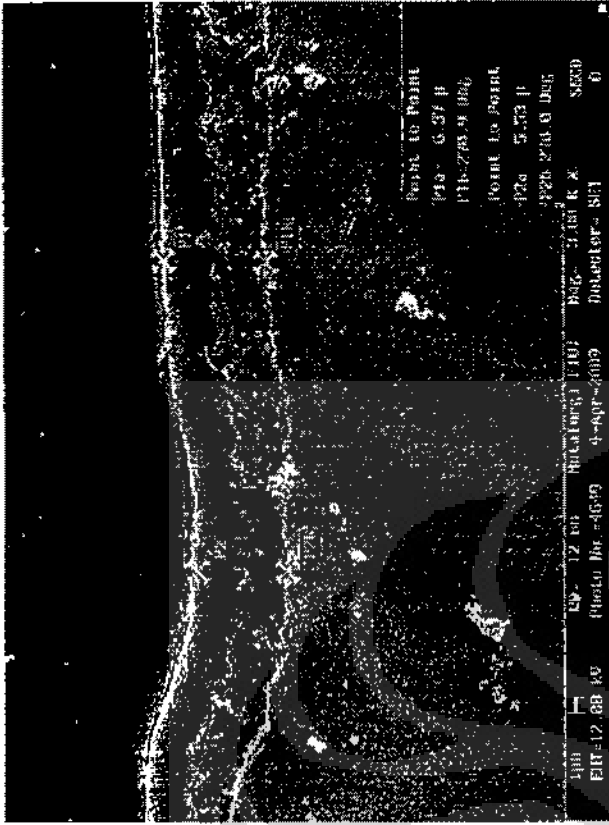
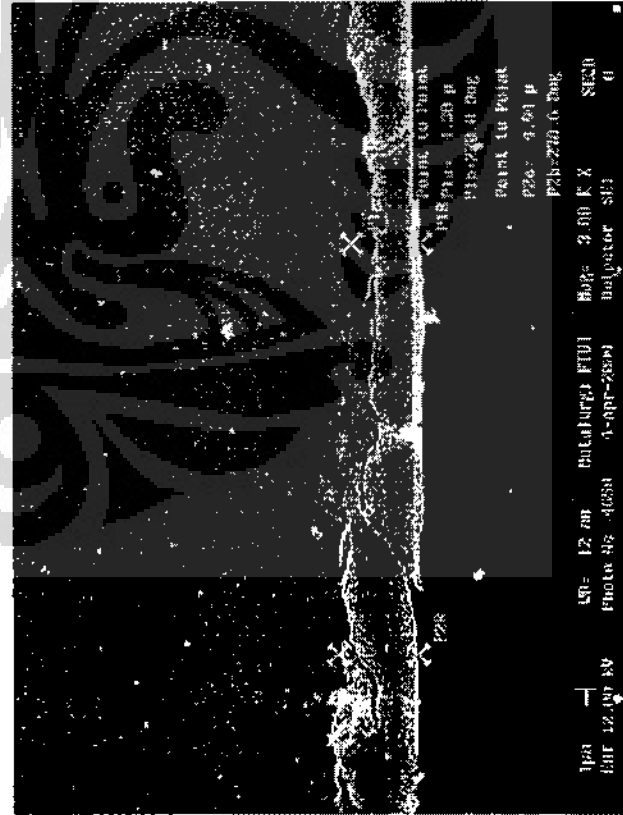
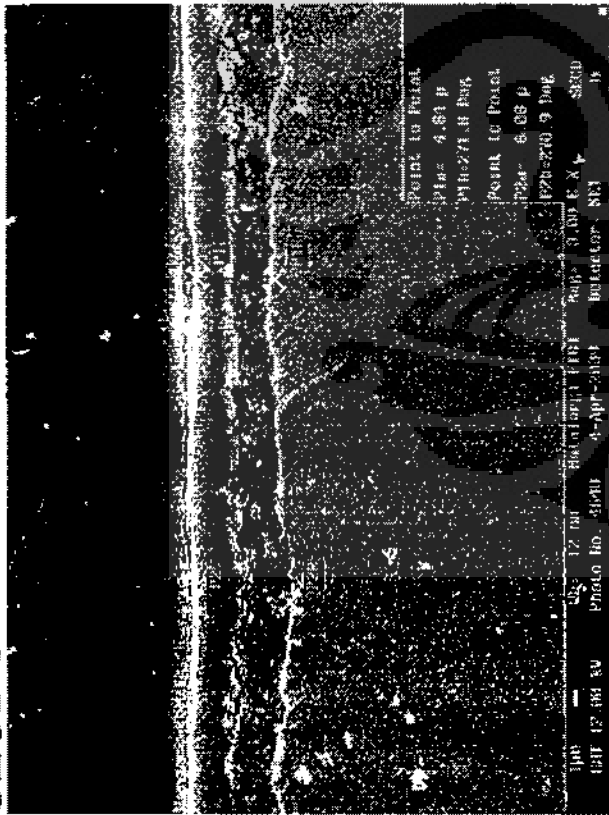




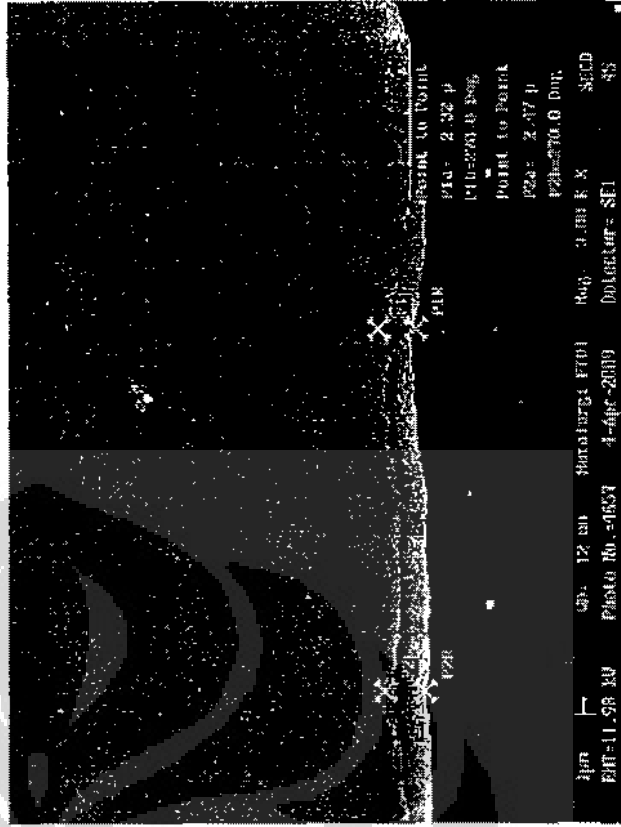
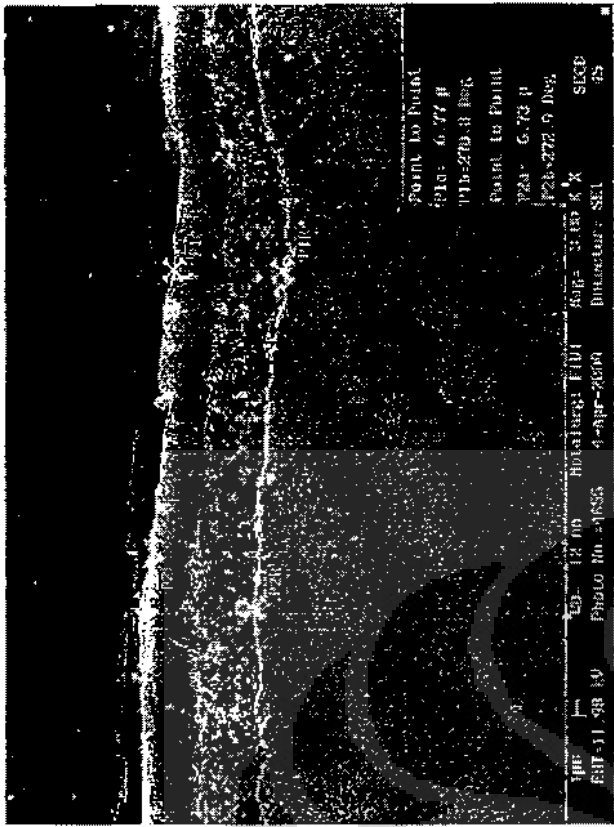
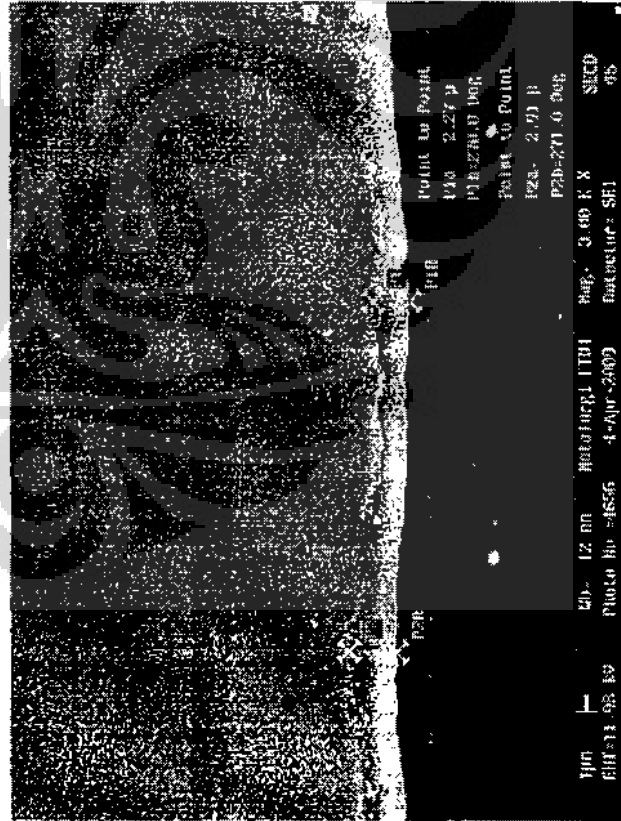
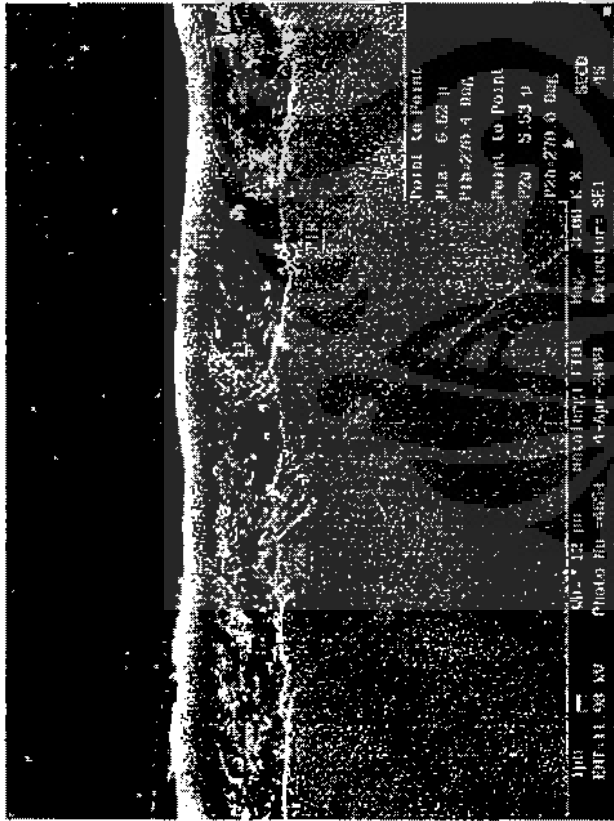
Lampiran 7

Dimensi logam pelapis hasil  
SEM

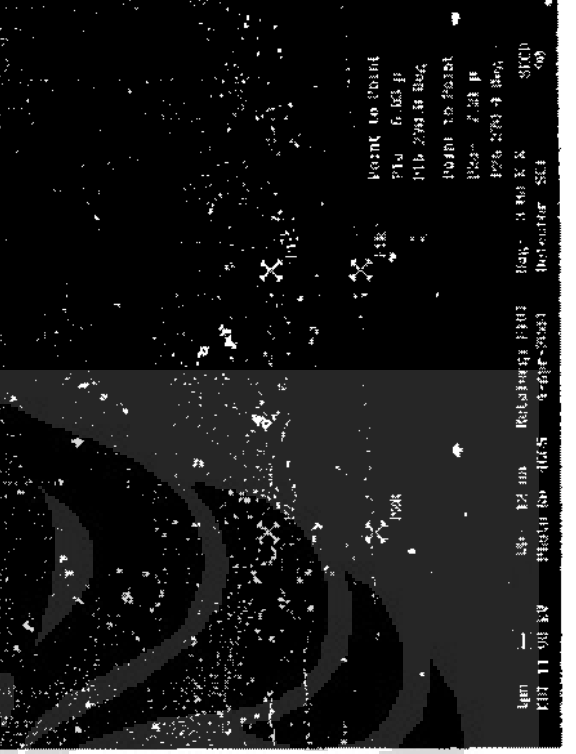
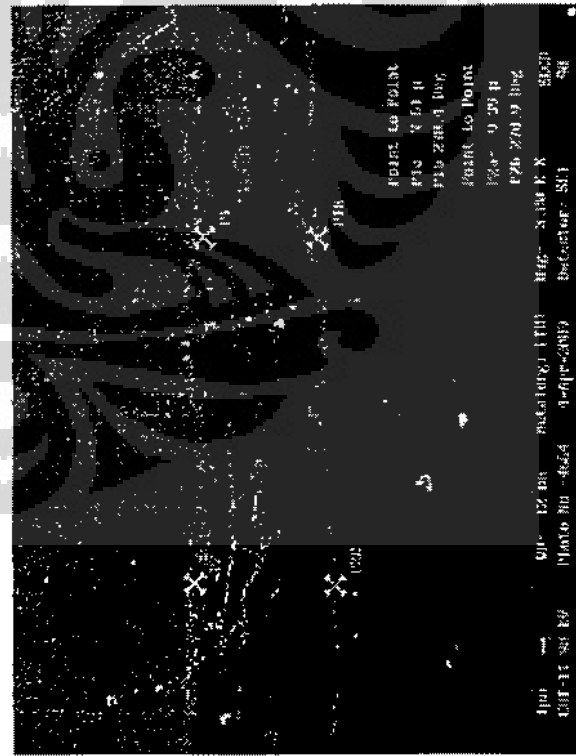
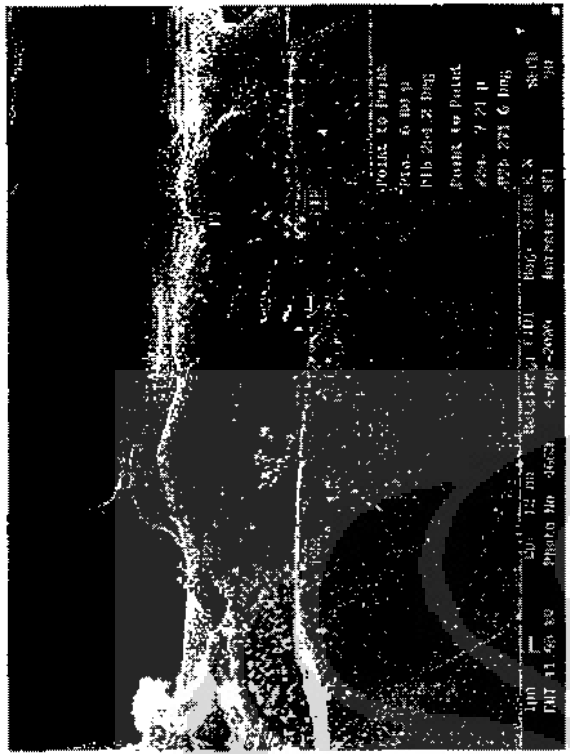
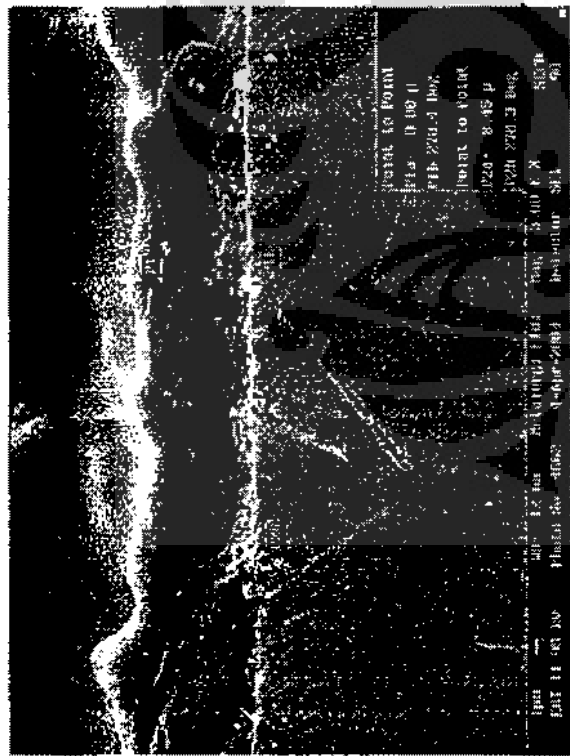
SECD 0



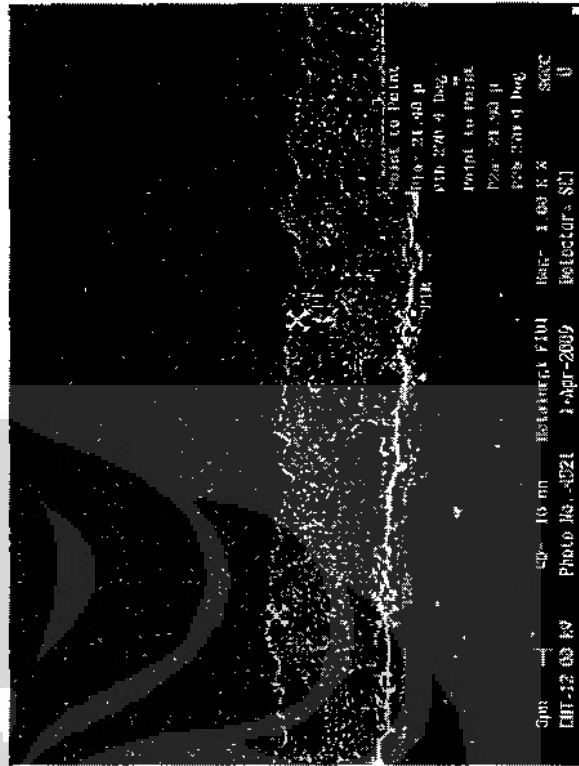
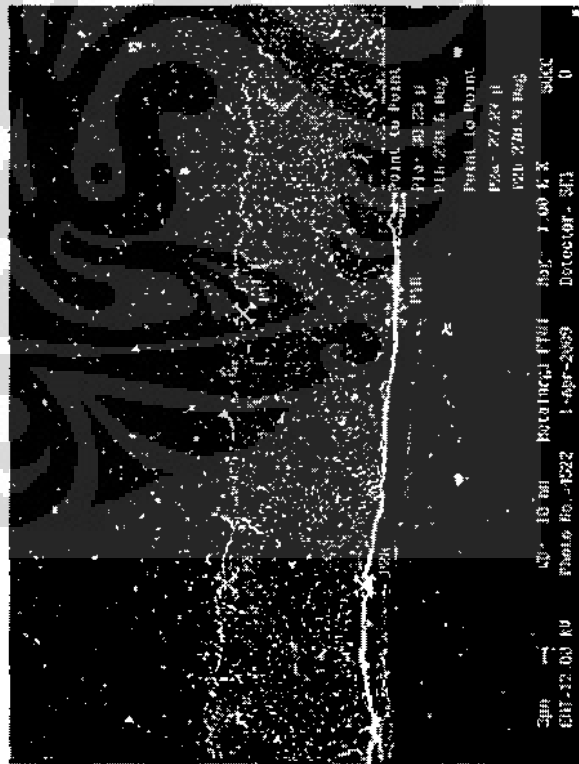
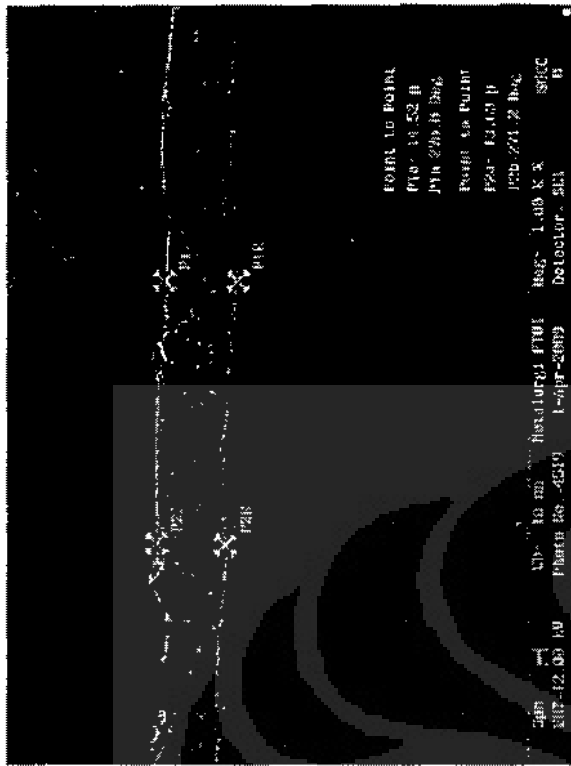
SECD 45

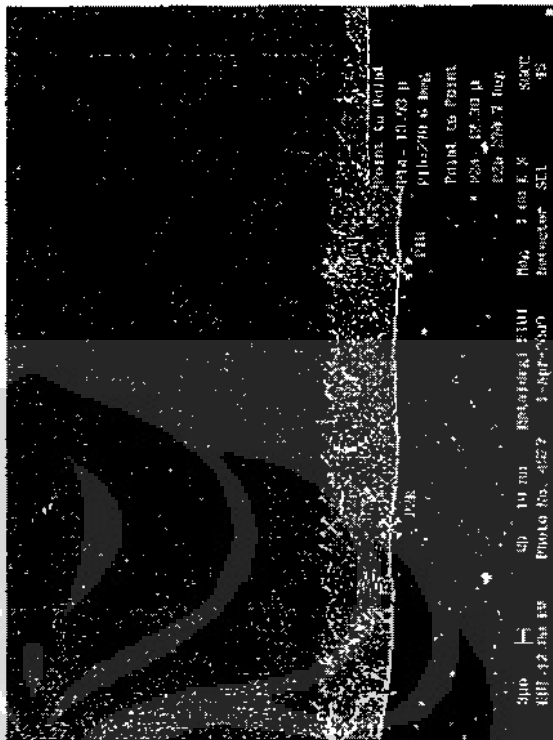
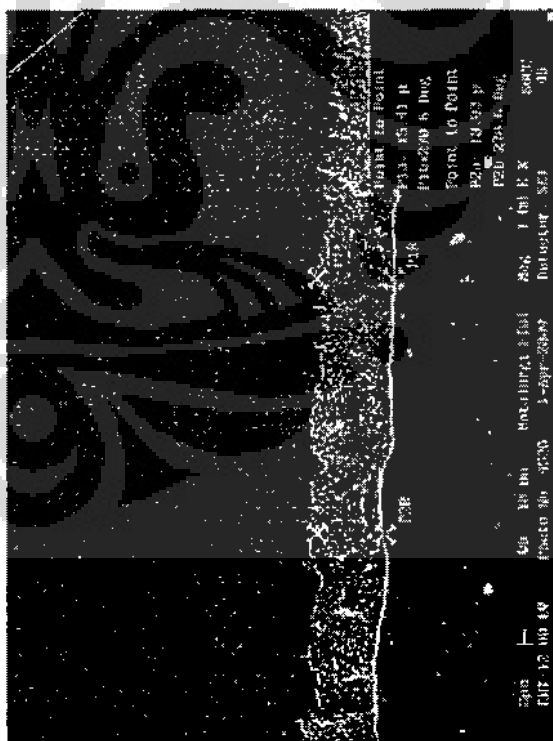
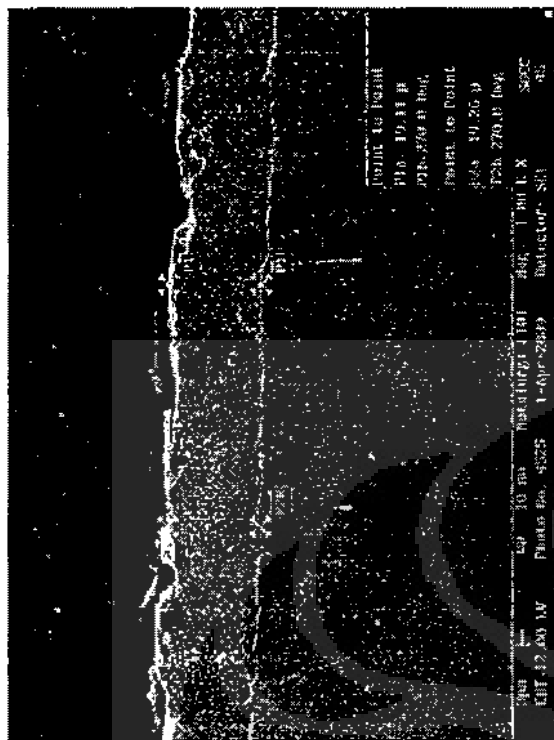
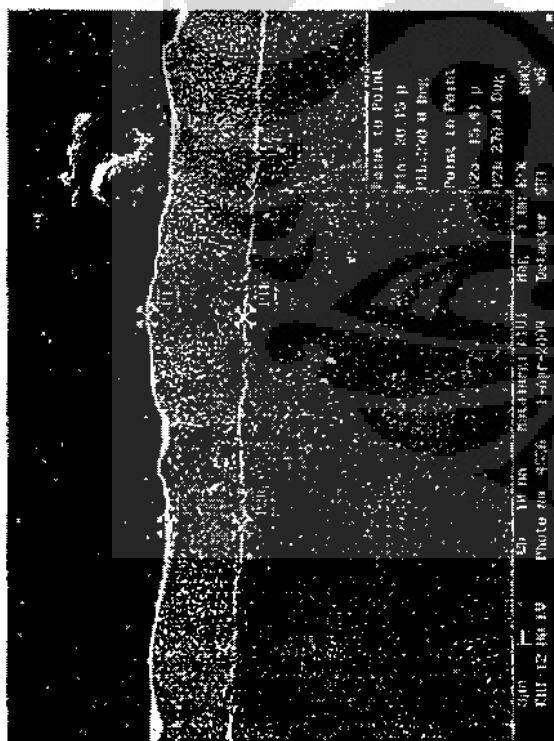


# SECD 90

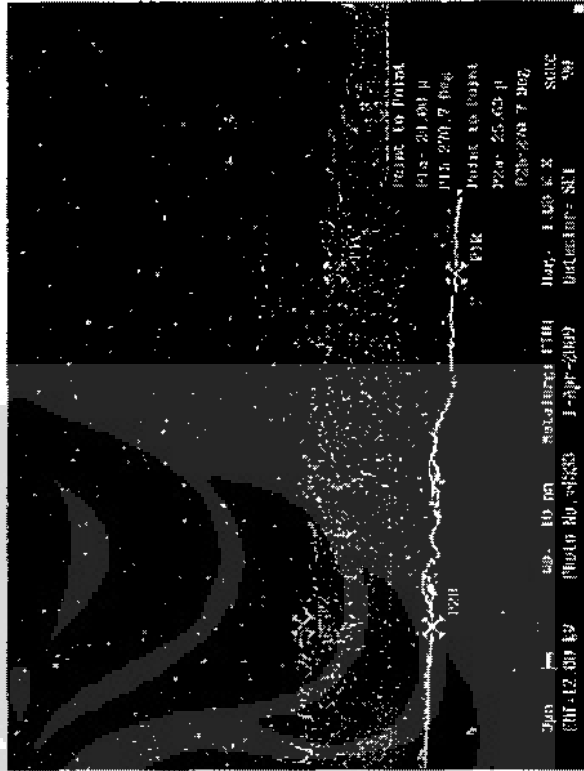
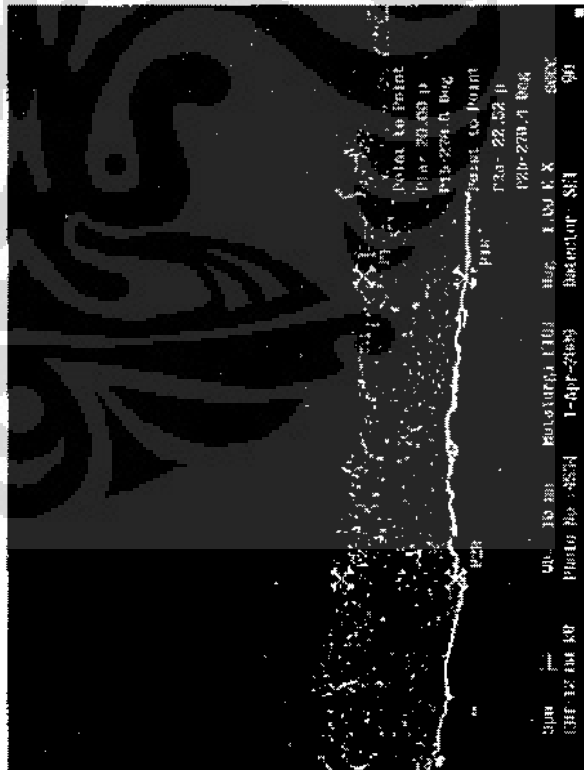
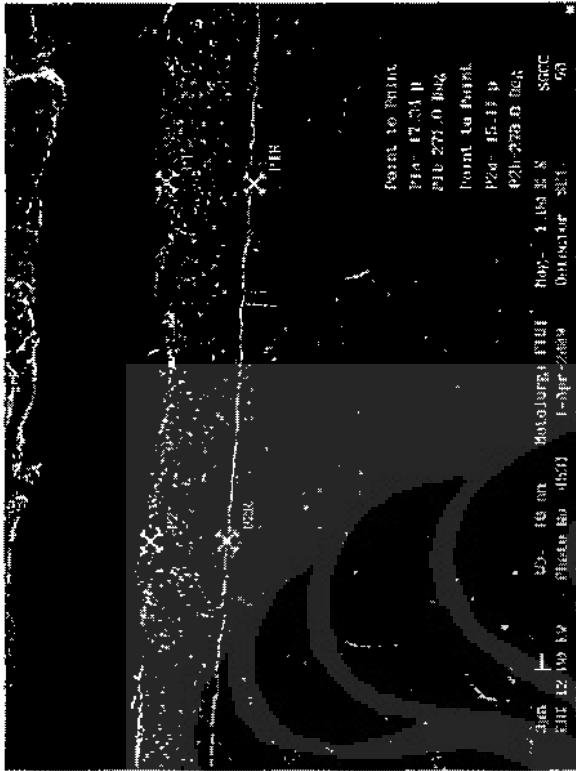
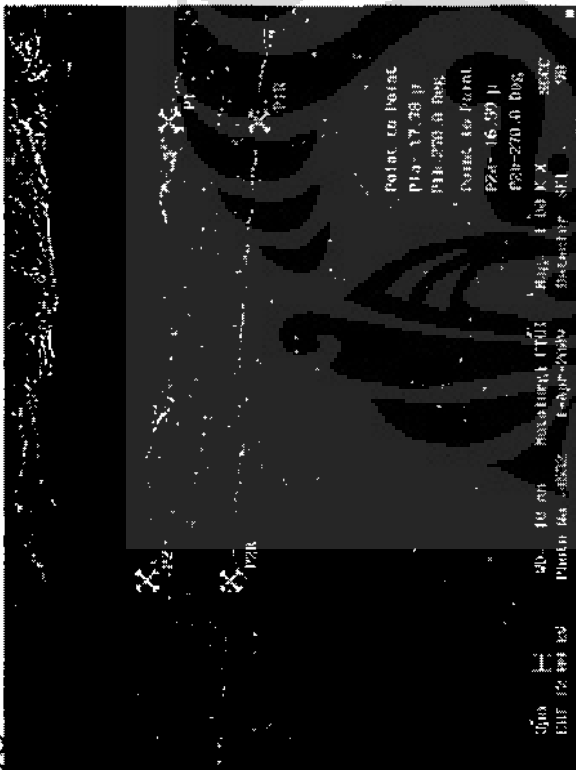


SGCC  
0



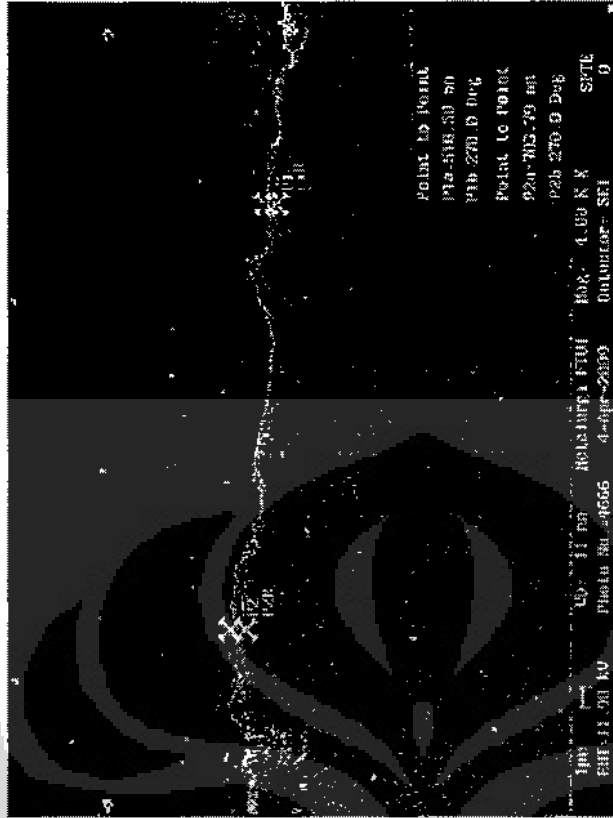
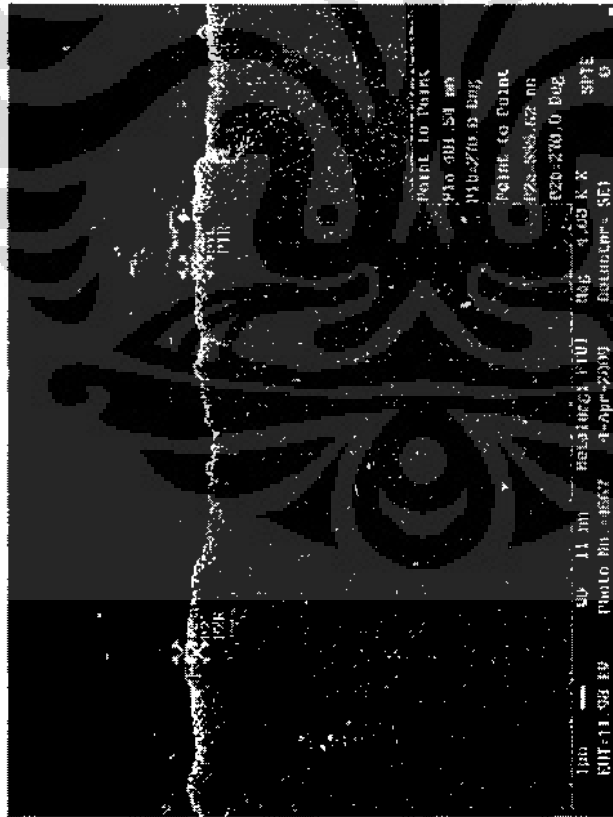


SGCC  
90

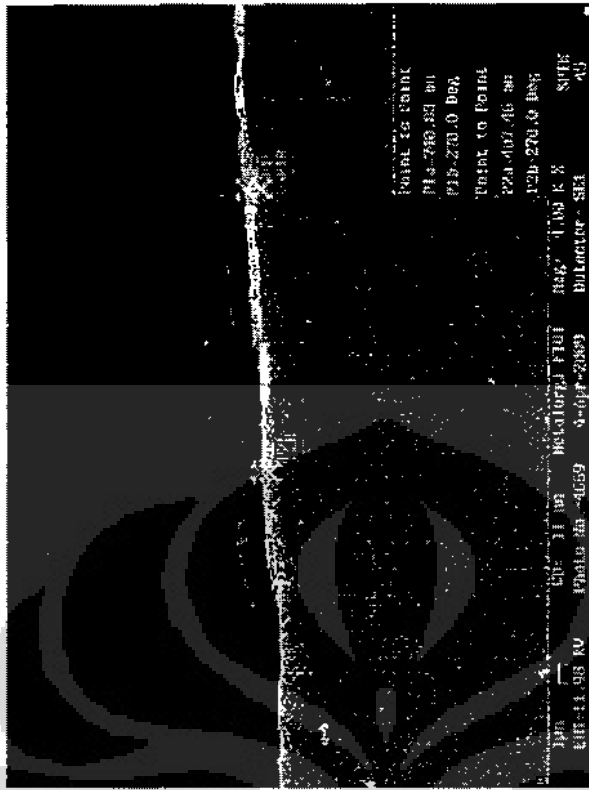
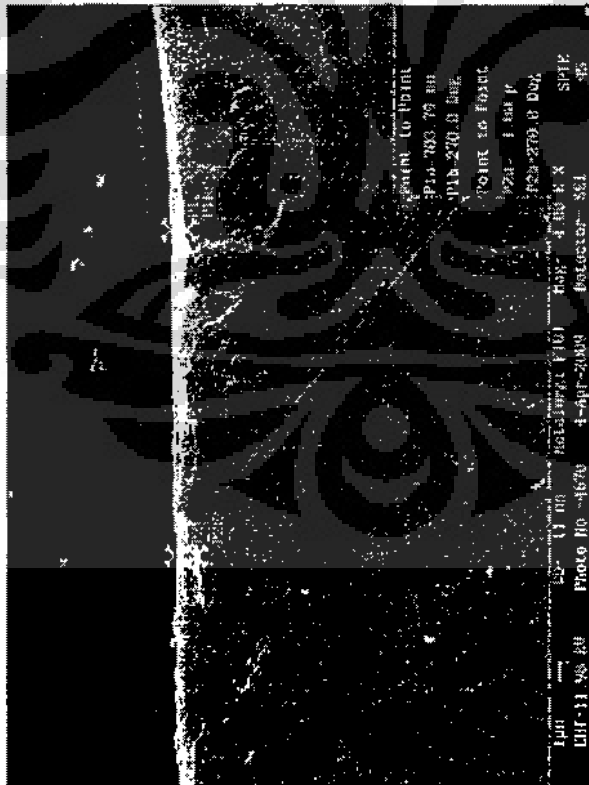




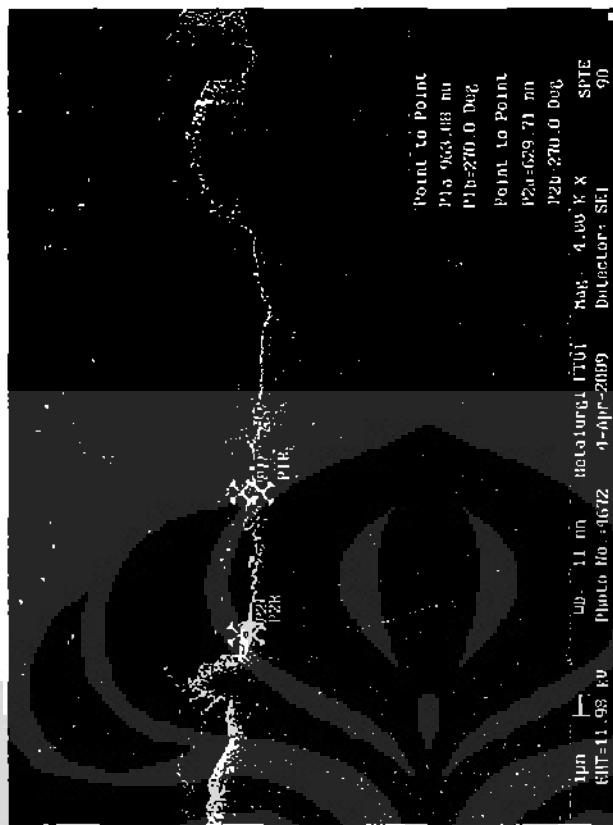
# SPTE 0



SPT  
45



# SPTE 90

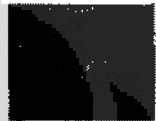
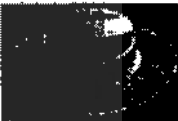
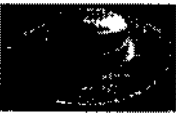

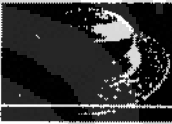
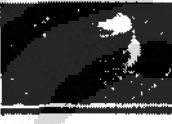
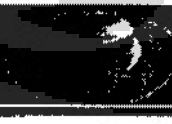
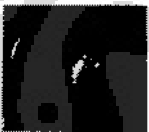
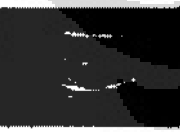
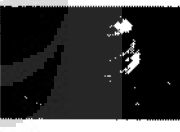

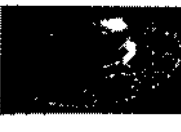




Lampiran 8  
Foto foto hasil simulasi  
deep drawing

# Lampiran 8

## Hasil Simulasi Deep Drawing dengan pelumas Minyak Goreng Bimoli

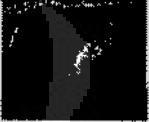


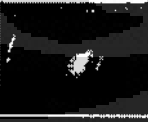
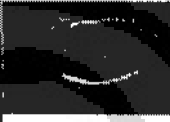


Diameter Blank, mm	75	78	81	84	87	90	93	96
Blankholder force, kg	790	880	974	1,071	1,171	1,276	1,383	1,495
Diameter punch, mm	40	40	40	40	40	40	40	40
Ratio, LDR	1.875	1.950	2.025	2.100	2.175	2.250	2.325	2.400
<b>SECD</b>					<b>BERHASIL</b> 	<b>GAGAL</b> 	<b>GAGAL</b> 	
Max load, kg					2000	2100	2100	
<b>SGCC</b>		<b>BERHASIL</b> 	<b>GAGAL</b> 	<b>GAGAL</b> 	<b>GAGAL</b> 			
Max load, kg		2300	2300	2300	2300			
<b>SPTE</b>				<b>BERHASIL</b> 	<b>GAGAL</b> 	<b>GAGAL</b> 	<b>GAGAL</b> 	<b>GAGAL</b> 
Max load, kg				2500	2600	2600	2600	2600

Waktu Pengujian 28 Feb dan 4 Maret 2009

Tempat Pengujian Lab Metalurgi

# Lampiran 8

## Hasil Simulasi Deep Drawing dengan pelumas Neoform LG3000

Diameter Blank, mm	75	78	81	84	87	90	93	96
Blankholder force, kg	790	880	974	1,071	1,171	1,276	1,383	1,495
Diameter punch, mm	40	40	40	40	40	40	40	40
Ratio, LDR	1.875	1.950	2.025	2.100	2.175	2.250	2.325	2.400
<b>SECD</b>				<b>BERHASIL</b> 	<b>GAGAL</b> 	<b>GAGAL</b> 		
Max load, kg				1950	2050	2050		
<b>SGCC</b>		<b>BERHASIL</b> 	<b>GAGAL</b> 					
Max load, kg		2200	2300					
<b>SPTE</b>			<b>BERHASIL</b> 					<b>GAGAL</b> 
Max load, kg			2400	2500	2500			

Waktu Pengujian

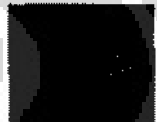
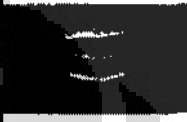




4 Maret 2009

Tempat Pengujian

Lab Metalurgi

# Lampiran 8

## Hasil Simulasi Deep Drawing dengan pelumas Iloform

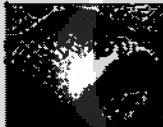

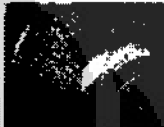
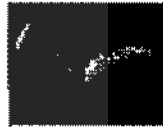
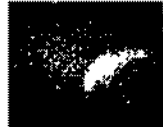

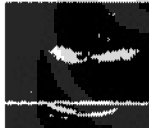
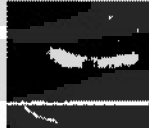

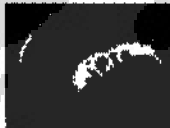


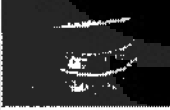
Diameter Blank, mm	75	78	81	84	87	90	93	96
Blankholder force, kg	790	880	974	1,071	1,171	1,276	1,383	1,495
Diameter punch, mm	40	40	40	40	40	40	40	40
Ratio, LDR	1.875	1.950	2.025	2.100	2.175	2.250	2.325	2.400
<b>SECD</b>				<b>BERHASIL</b> 	<b>GAGAL</b> 			
Max load, kg				2000	2100			
<b>SGCC</b>	<b>BERHASIL</b> 	<b>GAGAL</b> 						
Max load, kg	2300	2300						
<b>SPTE</b>			<b>BERHASIL</b> 	<b>GAGAL</b> 				
Max load, kg			2500	2700				

Waktu Pengujian 13 Maret 2009 jam 15:00

Tempat Pengujian Lab Metafurgi

# Lampiran 8

## Hasil Simulasi Deep Drawing tanpa pelumas

Diameter Blank, mm	75	78	81	84	87	90	93	96
Blankholder force, kg	790	880	974	1,071	1,171	1,276	1,383	1,495
Diameter punch, mm	40	40	40	40	40	40	40	40
Ratio, LDR	1.875	1.950	2.025	2.100	2.175	2.250	2.325	2.400
<b>SECD</b>			<b>BERHASIL</b>	<b>BERHASIL</b>	<b>BERHASIL</b>	<b>BERHASIL</b>	<b>BERHASIL</b>	<b>GAGAL</b>
Max load, kg			 1750	 1800	 1950	 2000	 2150	 2000
<b>SGCC</b>	<b>BERHASIL</b>	<b>BERHASIL</b>	<b>GAGAL</b>					
Max load, kg	 2000	 2100	 2250					
<b>SPTe</b>		<b>BERHASIL</b>	<b>BERHASIL</b>	<b>BERHASIL</b>	<b>GAGAL</b>			
Max load, kg		 2200	 2250	 2600	 2700			


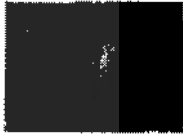

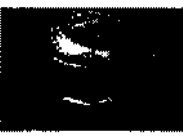

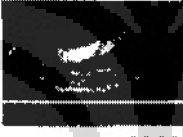
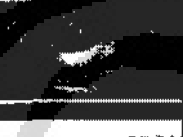
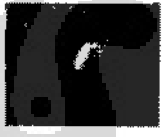
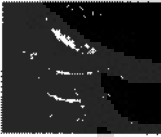

Waktu Pengujian  
Tempat Pengujian

25 April dan 7 Mei 2009  
Lab Metalurgi



# Lampiran 8

## Hasil Simulasi Deep Drawing dengan kertas minyak

Diameter Blank, mm	75	78	81	84	87	90	93	96
Blankholder force, kg	790	880	974	1,071	1,171	1,276	1,383	1,495
Diameter punch, mm	40	40	40	40	40	40	40	40
Ratio, LDR	1.875	1.950	2.025	2.100	2.175	2.250	2.325	2.400
<b>SECD</b>					<b>BERHASIL</b> 	<b>BERHASIL</b> 	<b>BERHASIL</b> 	<b>GAGAL</b> 
Max load, kg					1900	2000	2000	2100
<b>SGCC</b>		<b>BERHASIL</b> 	<b>GAGAL</b> 	<b>GAGAL</b> 				
Max load, kg		2200	2300	2200				
<b>SPTe</b>				<b>BERHASIL</b> 	<b>GAGAL</b> 	<b>GAGAL</b> 		
Max load, kg				2400	2700	2700		

Waktu Pengujian 13 Maret 2009 jam 15:00  
 Tempat Pengujian Lab Metalurgi



Lampiran 9  
Hasil Analisa Minyak  
Pelumas



**OIL ANALYSIS REPORT**

No. 01171/NEO/NO/04/09

Jakarta, 23 April 2009

Nama Pelanggan  
(Customer Name)

Alamat  
(Address)

Telepon/Faks  
(Phone/Fax)

Untuk Pelanggan  
(Attention)

Nama Sampel  
(Sample Name)

No. Lab.  
(Lab. No.)

Tgl. Pengambilan Sampel  
(Sampling date)

Tgl. Pengiriman Sampel  
(Received date)

Tgl. Analisis  
(Analysis date)

: Epic Kwe Kosasih

: NOT GIVEN

: 0413311/09

: 21 April 2009

: 21 - 23 April 2009

**Overall Analysis Result**

Jam Kerja Mesin  
(Running Hours)

Pembuat Mesin  
(Eng. Builder)

Type Mesin  
(Eng. Type/Model)

No. Seri  
(Serial Number)

Lokasi Mesin  
(Eng. Location)

SAMPLE PELUMAS I

No	PARAMETER	Unit	Method	RESULT	Typical
1	Colour ASTM	No. ASTM	ASTM D 1500/05	L 1	-
2	Viscosity Kin at 40°C	cSt	ASTM D 445/05	39.64	-
3	Viscosity Kin at 100°C	cSt	ASTM D 445/05	8.411	-
4	Viscosity Index	-	ASTM D 2270/05	196	-
5	Density at 15°C	Kg/m <sup>3</sup>	ASTM D 1298/05	915	-
6	Sulphur Content	ppm	ASTM D 3622/05	9.42	-
7	Chlorine Total	ppm	Spectroscopy	< 5	-

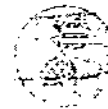
Keterangan:  
(Remarks)

Manager Mutu

Drs. Suryatno Yudhanandani

Alamat : Gedung Sate, Jl. Sekeloa Selatan 1, Jakarta Timur 13122; Telp: +62 21 6712081; Fax: +62 21 4718945  
E-mail : info@petrolab.com

Manager Teknis



**PETROLAB SERVICES**

Achmad SNI  
RNS 15010104



Jakarta, 23 April 2009

Nama Pelanggan  
(Customer Name)

Alamat  
(Address)

Telepon/Fax  
(Phone/Fax)

Unit Pelanggan  
(Customer)

Bpk. Kwe Kosasih

Nama Sampel  
(Sample Name)

: NOT GIVEN

No. Lab.  
(Lab. No.)

: 041341E/09

Tgl. Pengambilan Sampel  
(Sampling date)

: -

Tgl. Penerimaan Sampel  
(Received date)

: 21 April 2009

Tgl. Analisis  
(Analysis date)

: 21 - 23 April 2009

Overall Analysis Result

Jam Kerja Mesin  
(Running Hours)

: -

Produsi Mesin  
(Eng. Brand)

: -

Type Mesin  
(Eng. Type/Model)

: -

No. Seri  
(Serial Number)

: SAMPLE PELUNAS II

Lokasi Mesin  
(Eng. Location)

: -

No	PARAMETER	Unit	Method	RESULT	Typical
1	Colour ASTM	No. ASTM	ASTM D 1500/05	L 2	-
2	Viscosity Kin at 40°C	cSt	ASTM D 445/05	40.05	-
3	Viscosity Kin at 100°C	cSt	ASTM D 445/05	8.30	-
4	Viscosity Index	-	ASTM D 2270/05	189	-
5	Density at 15°C	Kg/m <sup>3</sup>	ASTM D 1298/05	915	-
6	Sulphur Content	ppm	ASTM D 2622/05	58.68	-
7	Chlorine Total	ppm	Spectroscopy	< 5	-

Keterangan  
(Remarks)

Mahasiswa

Dr. Suvandio Yudhanandana

Catatan  
(Note)

Data analisa hanya berlaku untuk sampel yang diujikan di Laboratorium PT PetroLab Services.  
Pengaduan tidak dilayani setelah 30 hari dan tanggal report diterbitkan.

Manajer Teknis

Akbari, SSi

RIKS 10/010/04

PT PETROLAB Services

Komplek Ruko Graha Maa, Blok AD No.23 Rawamangun - Jakarta Timur 13220; Telp: +62 21 4711001; Fax: +62 21 4718948  
petrolab@petrolab.net.id; http://www.petrolab.co.id



Jakarta, 23 April 2009

<b>Nama Pelanggan</b> (Customer Name) :		<b>Overall Analysis Result</b>	
<b>Alamat</b> (Address) :			
<b>Telepon/Faks</b> (Phone/Fax) :			
<b>Untuk Pelanggan</b> (Attention) :		<b>Bpk. Kwe Kosasih</b>	
<b>Nama Sampel</b> (Sample Name) :		<b>NOT GIVEN</b>	
<b>No. Lab.</b> (Lab. No.) :		<b>04135/L/09</b>	
<b>Tgl. Pengambilan Sampel</b> (Sampling date) :			
<b>Tgl. Penerimaan Sampel</b> (Received date) :		<b>21 April 2009</b>	
<b>Tgl. Analisis</b> (Analysis date) :		<b>21 - 23 April 2009</b>	
		<b>Jam Kerja Mesin</b> (Running Hours) :	
		<b>Pembuat Mesin</b> (Eng. Maker) :	
		<b>Tipe Mesin</b> (Eng. Type/Model) :	
		<b>No. Seri</b> (Serial Number) :	
		<b>Lokasi Mesin</b> (Eng. Location) :	
		<b>SAMPLE PELUMAS III</b>	

No	PARAMETER	Unit	Method	RESULT	Typical
1	Colour ASTM	No. ASTM	ASTM D 1500/05	4	
2	Viscosity Kin at 40°C	cSt	ASTM D 445/05	42.57	
3	Viscosity Kin at 100°C	cSt	ASTM D 445/05	6.52	
4	Viscosity Index		ASTM D 2270/05	103	
5	Density at 15°C	Kg/m <sup>3</sup>	ASTM D 1298/05	904	
6	Sulphur Content	ppm	ASTM D 2622/05	30283.05	
7	Chlorine Total	ppm	Spectroscopy	6	

**Keterangan:**  
(Remarks)

Manager Mutu

**Drs. Susanto Yudhanandana**

**Catatan:** Data analisis hanya berlaku untuk sampel yang diuji di Laboratorium PT. Petrolab Services  
(Note) Mengajukan klaim diluar wilayah PT. Petrolab Services tidak dapat dipertanggungjawabkan

Manager Teknis

**Sabri, SSI**

RKS 1001/01/04



Lampiran 10  
Mill Sheet Material

# POSCO Mill Test Certificate / 검사증명서

Certificate No./증명서번호: 070130-KGSE-005-001  
 Date of Issue/발행일자: Feb. 02, 2007  
 Surface Treatment: NC (Cr-Free Coating)

Order No./계약번호: 0002709030

PO No./주문번호: SM/DUT/GI081204

Supplier/주문자: DAE WOO INTERNATIONAL CORP.

Commodity/품명: GI COIL-NW

Customer/고객사:

Spec & Type/규격: JIS G3302 SGCC

UP BP. JAHANEC -  
 FK EKO P.L - ISI

Size/치수	Product No. 제품번호	Quantity 수량	Weight 중량 (kg)	Heat No. 재증번호	P O S I T I O N	Tensile/인장시험			Coating Metal Bond	Coating Weight (g/m <sup>2</sup> )		Hard- ness 경도 HRB	D I V I S I O N	Chemical Composition(화학성분(%))				
						YP (N/mm <sup>2</sup> )	TS (%)	EL (%)		Zn Upper	Zn Lower			C	Si	Mn	P	S
0.4x1219xC	CON5720A	1	8,950	SP73024	B	246	368	40	Good	117.7	118.7	48.4	L	411	7	241	113	100
0.4x1219xC	CON5720B	1	6,940	SP73024	B	246	368	40	Good	117.7	118.7	48.4	L	411	7	241	113	100
0.4x1219xC	CON5720C	1	7,170	SP73024	B	246	368	40	Good	117.7	118.7	48.4	L	411	7	241	113	100
--- Sub. Total (G10) ---			3			21,060 (kg)			< No Yield >									
--- Grade Total ---			3			21,060 (kg)												

\* Position - T : Top, M : Middle, B : Bottom  
 \* Tense Test, Direction : Longitudinal, Gauge Length : 50mm (Rectangular)  
 \* Division - I, Eddy Analysis  
 \* Chemical Composition Unit: 2nd/100, 3rd/1000, 4th/10000, 5: x1/100000  
 \* Tr : S is within the standard range (<0.008%) and include trace element.

We hereby certify that the material herein has been made in accordance with the order and specification.

\* This Mill Test Certificate cannot be copied for any purpose.



Surveyor To:

*Park B.M.*


POSCO, Gwangyang Works, 700 Gaumho-dong, Gwangyang-si, Jeollanam-do, 545-711, Korea

Chief of material testing section Park, B.M.









Lampiran 11  
Foto foto replika kekasaran  
die

# Lampiran 11. Foto replika kekasaran dies

Replika dari permukaan dies lab UI ( 0.155 mikron )



Replika dari permukaan dies produk Z386 di Surabaya ( area radius die )




Replika dari permukaan dies produk Z386 di Surabaya ( area datar )



Sampel standar kekasaran 2.95 mikron





Lampiran 12

Foto permukaan sampel uji  
simulasi *deep drawing*

Lampiran 12. Foto permukaan sampel simulasi deep drawing

