



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH TITANIUM  
PADA PADUAN ALUMINIUM AA3104 TERHADAP MAMPU  
BENTUK DAN KEKUATAN KEMASAN KALENG DENGAN  
PROSES *DRAWN WALL IRONING***

**DISERTASI**

**CAING  
83 03 00 00 46**

**FAKULTAS MATEMATIKA & ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM STUDI ILMU MATERIAL  
JAKARTA  
JULI 2009**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH TITANIUM  
PADA PADUAN ALUMINIUM AA3104 TERHADAP MAMPU  
BENTUK DAN KEKUATAN KEMASAN KALENG DENGAN  
PROSES *DRAWN WALL IRONING***

**DISERTASI**

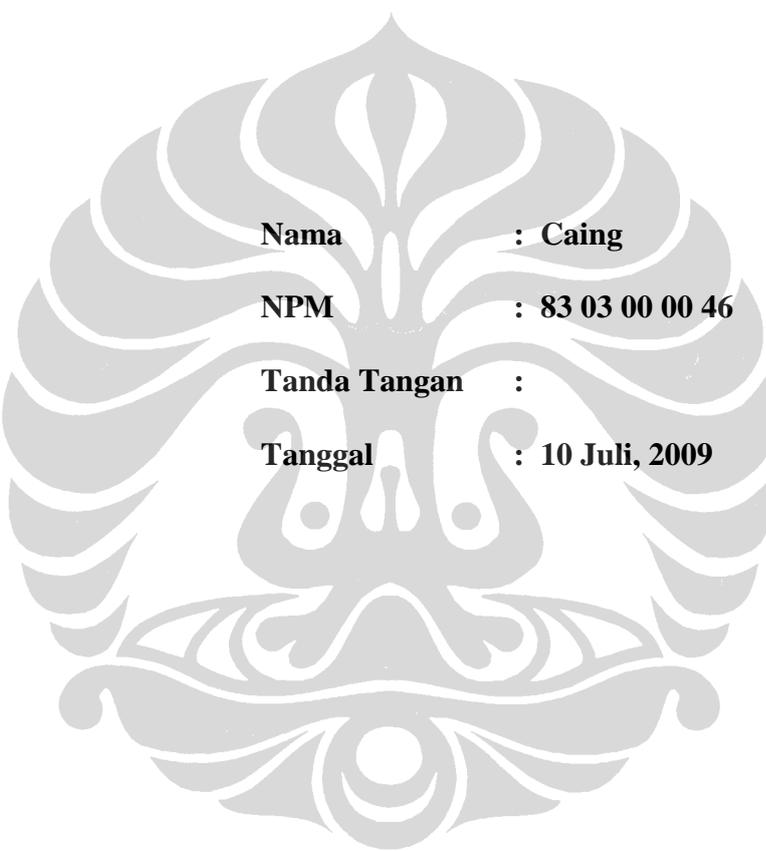
Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar doktor

**CAING  
83 03 00 00 46**

**FAKULTAS MATEMATIKA & ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM STUDI ILMU MATERIAL  
JAKARTA  
JULI 2009**

## PERNYATAAN ORISINALITAS

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



**Nama : Caing**  
**NPM : 83 03 00 00 46**  
**Tanda Tangan :**  
**Tanggal : 10 Juli, 2009**

## HALAMAN PENGESAHAN

Disertasi ini diajukan oleh :  
Nama : Caing  
NPM : 83 03 00 00 46  
Program Studi : Ilmu Material  
Judul Disertasi : Pengaruh Titanium Pada Paduan  
Aluminium AA3104 Terhadap Mampu  
Bentuk dan Kekuatan Kemasan Kaleng  
Dengan Proses *Drawn Wall Ironing*

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Doktor pada Program Studi Ilmu Material, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia**

### DEWAN PENGUJI

Promotor : Dr. Bambang Soegijono ( ..... )  
Kopromotor : Dr. Dedi Priadi ( ..... )  
Tim Penguji : Dr. Adi Basukriadi M.Sc (Ketua) ( ..... )  
: Prof. Dr. Ir. Johnny Wahyuadi. (Anggota) ( ..... )  
: Prof. Dr. Ir. D.N. Adnyana, APU. (Anggota) ( ..... )  
: Dr. Muhammad Hikam. (Anggota) ( ..... )  
: Dr. Nofrijon Sofyan (Anggota) ( ..... )

Ditetapkan di : Jakarta  
Tanggal : 10 Juli, 2009

## KATA PENGANTAR

*Assalamu 'alaikum Wr.Wb.*

Puji syukur kehadiran Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-NYA, pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan disertasi ini. Penulisan disertasi ini dilakukan dalam rangka memenuhi syarat mendapatkan gelar Doktor pada Fakultas Matematika & Ilmu Pengetahuan Alam, Jurusan Ilmu Material, Universitas Indonesia Jakarta. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, tidak mungkin disertasi ini bisa diselesaikan dengan baik. Untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah banyak sekali membantu dalam penulisan disertasi ini, antara lain :

1. Dr. Bambang Soegijono, selaku pembimbing 1 dan sekaligus sebagai Promotor yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga untuk membantu dan membimbing dalam penulisan disertasi ini.
2. Dr. Dedi Priadi, selaku pembimbing 2 dan sekaligus sebagai ko-promotor yang telah banyak memberikan bimbingan selama penulisan disertasi ini.
3. Dr. Azwar Manaf, sebagai dosen selama penulis mengikuti kuliah.
4. Dr. Muhammad Hikam, sebagai sekretaris program ilmu material, dosen selama penulis mengikuti kuliah dan sebagai tim penguji.
5. Dr. Suhardjo Purtadji, sebagai dosen selama penulis mengikuti kuliah.
6. Prof. Dr. Ir. Johnny Wahyuadi, Prof. Dr. Ir. D.N. Adnyana APU, dan Dr. Nofrijon Sofyan yang duduk sebagai tim penguji.
7. Semua dosen pada pasca sarjana Ilmu Material Universitas Indonesia yang tidak bisa disebutkan satu persatu.
8. Seluruh staff administrasi pasca sarjana Ilmun Material Universitas Indonesia, dan secara khusus kepada Bapak Suroto, Ibu Siti, Ibu Lili dan Mas Eko yang telah banyak membantu memberikan informasi yang sangat berguna dan mendukung dalam penulisan disertasi ini.

9. Rekan-rekan seangkatan, khususnya kepada Dr. Yudi Masduky Solihin yang telah lulus terlebih dahulu dan Bapak Ir. Nazarudin Msc, serta rekan-rakan lain yang tidak bisa disebutkan satu persatu.
10. Istri tercinta yang selalu memberikan semangat, menyediakan keperluan yang dibutuhkan, menghibur dikala terjadi kebuntuan, dan selalu ikut menemani sampai larut malam selama penulisan disertasi ini.
11. Putra dan Putri tersayang Agus Sugih Harto dan Oke Anandika Lestari yang telah ikut memberikan semangat dan tambahan informasi dalam penulisan disertasi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam disertasi ini masih banyak kekurangan, baik dalam cara penulisan, pengujian, pengumpulan data, dan analisa data. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dari para pembaca agar menjadi masukan untuk penulisan-penulisan berikutnya. Semoga disertasi ini bermanfaat bagi para pembaca dan pengembangan dunia ilmu pengetahuan.

*Wassalamu 'alaikum Wr. Wb.*

Jakarta, 10 Juli, 2009

Penulis

Caing

NPM. 8303000046

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

Sebagai sivitas Akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Caing  
NPM : 8303000046  
Program Studi : Ilmu Material  
Departemen : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis karya : Disertasi

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

**Pengaruh Titanium Pada Paduan Aluminium AA3104 Terhadap Mampu Bentuk dan Kekuatan Kemasan Kaleng Dengan Proses Drawn Wall Ironing**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (datahouse), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 10 Juli, 2009

Yang menyatakan

( Caing )

## ABSTRAK

Nama : Caing  
Program Studi : Ilmu Material  
Judul : Pengaruh Titanium Pada Paduan Aluminium AA3104 Terhadap Mampu Bentuk dan Kekuatan Kemasan Kaleng Dengan Proses *Drawn Wall Ironing*

Penelitian ini bertujuan mencari material yang cocok untuk digunakan pada proses produksi kemasan kaleng dua bagian berkarbonasi dengan ketebalan yang diturunkan dari 0,280 mm menjadi 0,270 mm, dalam rangka penghematan biaya produksi. Paduan aluminium AA3104 telah lama digunakan sebagai bahan baku kemasan kaleng minuman bertekanan dengan proses penarikan dalam (*deep drawing*) yang dilanjutkan dengan penipisan dinding (*wall ironing*) agar dapat mencapai ketinggian yang diinginkan. Dengan adanya tekanan dari produk minuman, maka kekuatan kaleng mutlak diperlukan agar tidak terjadi deformasi, terutama pada bagian bawahnya (*dome*). Kekuatan kaleng menahan tekanan dari dalam akan melemah apabila ketebalan material diturunkan, sehingga perlu dilakukan pengembangan material untuk mencari paduan aluminium yang kuat tetapi tetap mempunyai sifat mampu bentuk yang baik. Pada penelitian ini dilakukan percobaan terhadap 3 macam material paduan aluminium AA3104 dengan komposisi titanium berbeda, yaitu 0,00%, 0,010% dan 0,013%. Pengujian yang dilakukan adalah analisis komposisi kimia, kekasaran permukaan, struktur mikro, senyawa yang terbentuk, dan analisis statistik. Di samping itu juga dilakukan uji mekanik yaitu uji tarik, LDR, dan mampu bentuk. Setelah kaleng dibentuk dilakukan pula uji kekuatan *dome*, kekuatan badan kaleng, dan pengukuran dimensi kaleng. Selanjutnya data hasil pengujian badan kaleng diolah untuk mendapatkan grafik rata-rata, grafik R, dan indeks Cpk. Sebagai simulasi dalam proses produksi badan kaleng, pengujian tarik dan kekuatan badan kaleng dilakukan sebelum dan setelah pemanasan 210°C selama 10 menit. Hasil analisis kekasaran permukaan menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase titanium dalam paduan aluminium AA3104 semakin halus tingkat kekasaran permukaannya. Hasil analisis struktur mikro menunjukkan bahwa titanium meningkatkan presipitasi sehingga juga akan meningkatkan kekuatan bahan. Hasil analisis dengan XRD menunjukkan bahwa pada sampel yang mengandung titanium terbentuk senyawa  $Ti_3Al$  yang tersebar lebih merata pada sampel dengan kandungan titanium 0,013%. Hasil uji tarik menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase titanium akan semakin meningkatkan kekuatan luluh (*yield strength*), kekuatan tarik (*tensile strength*) dan regangan (*elongation*) dari paduan aluminium AA3104. Dengan bertambahnya *yield strength* dan *tensile strength* akan menambah kekuatan badan kaleng dan bertambahnya regangan mengindikasikan sifat mampu bentuk yang lebih baik. Percobaan pembentukan kaleng dengan proses penarikan dalam dan penipisan pada bagian dinding (*drawn wall ironing*) menunjukkan bahwa tingkat kegagalan pembentukan (*tear off rate*) turun dari 60 kaleng/sejuta menjadi 23 kaleng/sejuta, kekuatan kaleng menahan tekanan dari dalam (*dome reversal pressure – DRP*) naik 4,3% dan kekuatan kaleng menahan gaya vertikal (*axial load*) naik 6,74%. Setelah pemanasan 210°C selama 10 menit

terjadi penurunan kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan penambahan regangan. Hal yang sama, terjadi penurunan terhadap kekuatan kaleng baik *dome reversal pressure* maupun *axial load*. Selanjutnya, dalam analisis kelayakan penggunaan material paduan aluminium AA3104 dengan kandungan titanium 0,013% secara komersial, terutama kaitannya dengan parameter yang berhubungan dengan material tersebut, menunjukkan hasil yang memenuhi kriteria standar yang diinginkan pelanggan. Dengan demikian, maka paduan aluminium AA3104 yang mengandung titanium 0,013% dengan tebal 0,270 mm layak untuk digunakan sebagai bahan baku badan kaleng minuman bertekanan.

Kata Kunci : Kaleng dua bagian, *deep drawing*, *drawn wall ironing*, paduan aluminium AA3104, mampu bentuk, kekuatan luluh, kekuatan tarik, *dome reversal pressure*, *axial load*, *tear off rate*.



## ABSTRACT

Name : Caing  
Study Program : Materials Science  
Title : Effect of Titanium on Formability and Strength of Aluminum Alloy AA3104 Used as a Carbonated Soft Drink Can by Drawn Wall Ironing Process

The purpose of this research is to find a suitable aluminum alloy for two-piece carbonated soft drink can body material in order to reduce the material thickness from 0.280 to 0.270 mm and thus a production cost. Aluminum alloy AA3104 has been used for many years as a carbonated soft drink can material through deep drawing process followed by wall ironing process until a specific desired can height is obtained. Due to inside pressure on the filled can, the can need to have enough strength to prevent deformation, especially on the bottom area of the can (dome). By reducing material thickness, the strength of the can will also reduce dramatically. For this reason, the material needs to be developed to get a suitable strength, while at the same time retains its good formability. In this research, aluminum alloy AA3104 containing 3 variations of titanium composition were prepared, i.e. Ti 0.00%, Ti 0.010% and Ti 0.013%. The analysis including chemical composition, surface roughness, microstructure, and precipitate resulted from the addition of titanium were carried out. Mechanical properties including tensile, LDR, and formability also have been done. Analyses on the final cans including dome reversal pressure, axial load, and can dimension were also included. The can body measuring data to find the average chart, range chart and Cpk index were done by using a commercial software. As a production process simulation, the strength test also has been done after heating the material at 210°C for 10 minutes. Surface roughness analysis shows that the addition of titanium results in better sheet surface of aluminum alloy AA3104. Microstructure analysis shows that the addition of titanium promotes precipitation on aluminum alloy AA3104. XRD analysis shows that the addition of titanium forms  $Ti_3Al$  precipitate while the sample containing 0.013% of titanium has better distribution of  $Ti_3Al$  precipitate. Mechanical properties test results show that the addition of titanium increases yield strength, tensile strength and elongation of aluminum alloy AA3104. By increasing the yield strength and tensile strength will also increase the strength while increasing of elongation will increase formability of aluminum alloy AA3104. On the deep drawing and wall ironing processes simulation by using aluminum alloy AA3104 containing 0.013% titanium with 0.270 mm thickness, the results show that the tear off rate reduces from 60 ppm to 23 ppm, dome reversal pressure increases 4.3% and axial load increases 6.74%. Heating the material at 210°C for 10 minutes reduces the yield strength, tensile strength, increases the elongation, and reduces the dome reversal pressure and axial load. Stability and capability study case with 0.270 mm thickness indicates that the material confirms customer requirements. It then can be concluded that the aluminum alloy AA3104 containing 0.013% of titanium with the thickness of 0.270 mm can be used in commercial production for two-piece carbonated soft drink cans.

Keywords : Two-piece can, deep drawing, drawn wall ironing, aluminum alloy AA3104, formability, yield strength, tensile strength, dome reversal pressure, elongation, axial load strength, tear off rate.



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iii
PENGESAHAN .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH .....	vii
ABSTRAK .....	viii
ABSTRACT .....	x
DAFTAR ISI .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xx
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxi
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	7
1.3 Tujuan Penelitian .....	8
1.4 Batasan Masalah .....	9
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>10</b>
2.1 Aluminium .....	10
2.1.1 Sifat-sifat Aluminium .....	10
2.1.2 Paduan Aluminium .....	11
2.1.3 Klasifikasi Paduan Aluminium .....	12
2.1.4 Penguatan Aluminium .....	15
2.1.4.1 Penguatan Aluminium Karena Pemaduan .....	16
2.1.4.2 Penguatan Aluminium Akibat Batas Kristal .....	16
2.1.4.3 Penguatan Aluminium Karena Efek Pengerjaan Dingin .....	17
2.1.4.4 Penguatan Aluminium Dengan Pembentukan Patikel Halus Dalam Kristal .....	17
2.1.5 Proses Pengerolan Aluminium Untuk Bahan Baku Badan Kaleng .....	18
2.1.6 Bentuk Struktur Mikro Paduan Al – Mn – Mg .....	19
2.1.7 Bentuk Struktur Mikro Paduan Al – Ti .....	21
2.1.8 Bentuk Permukaan Lembaran Paduan Aluminium AA3104 ..	22
2.1.9 Paduan Aluminium Untuk Badan Kaleng Minuman Dengan Proses <i>Drawn Wall Ironing</i> .....	23
2.1.10 Pengerasan Paduan Aluminium AA3104 .....	26
2.2 Sifat-sifat Mekanik Material Logam Lembaran .....	28
2.2.1 Mekanisme Deformasi Logam .....	28
2.2.2 Mekanisme Deformasi Secara Mikro .....	29
2.2.3 Mekanisme <i>Slip</i> .....	29
2.2.4 Hubungan Tegangan dan Regangan .....	30
2.2.5 Anisotropi Pada Logam Lembaran .....	30
2.2.6 Proses Pembentukan Logam Lembaran .....	34
2.2.6.1 Pembentukan Logam Lembaran Dengan <i>Stretching</i> .	34

2.2.6.2	Pembentukan Logam Lembaran Dengan <i>Bending</i> ....	34
2.2.6.3	Pembentukan Logam Lembaran Dengan Penarikan Dalam	35
2.2.6.4	Pembentukan Logam Lembaran Dengan Penipisan Dingin .....	38
2.3	<i>Limiting Drawing Ratio</i> (LDR) .....	40
2.4	Analisis Proses Secara Statistik .....	44
2.4.1	Analisis Kestabilan Proses .....	44
2.4.2	Analisis Kemampuan Proses .....	45
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN .....</b>		<b>48</b>
3.1	Rangkaian Penelitian .....	48
3.2	Pengujian Yang Dilakukan .....	53
3.2.1	Analisis Komposisi Kimia .....	53
3.2.2	Pengujian Kekasaran Permukaan .....	53
3.2.3	Analisis Senyawa Yang Terbentuk Dengan XRD .....	53
3.2.4	Pengujian Struktur Mikro .....	53
3.2.5	Pengujian Tarik dan Nilai R .....	54
3.2.6	Pengujian <i>Limiting Drawing Ratio</i> (LDR) .....	56
3.2.7	Pengujian Kegagalan Proses ( <i>Tear Off Rate</i> ) Dengan <i>Drawn Wall Ironing</i> .....	56
3.2.8	Pengujian Kekuatan Kaeng .....	57
3.2.8.1	Pengujian <i>Dome Growth</i> .....	57
3.2.8.2	Pengujian Kekuatan Total Bagian Bawah Kaleng ...	58
3.2.8.3	Pengujian Kekuatan Badan Kaleng Menahan Gaya Vertikal .....	59
3.2.9	Pengujian Ketebalan Badan Kaleng .....	59
3.2.10	Pengujian Ketinggian Badan Kaleng .....	61
3.2.11	Pengujian Diameter Dalam Leher Kaleng .....	62
3.2.12	Pengujian Lebar Bibir Kaleng .....	62
3.3	Analisa Kelayakan Penggunaan Material Secara Komersial .....	62
3.3.1	Analisis Kestabilan Proses.....	63
3.3.2	Analisis Kemampuan Proses .....	63
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>64</b>
4.1	Hasil Analisis Komposisi Kimia Sampel Lembaran Paduan Aluminium AA3104 .....	64
4.2	Pengaruh Titanium Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Paduan Aluminium AA3104 .....	67
4.3	Pengaruh Titanium Pada Paduan Aluminium AA3104 Terhadap Terbentuknya Fasa Sekunder .....	69
4.4	Pengaruh Titanium Pada Paduan Aluminium AA3104 Terhadap Struktur Mikro .....	71
4.5	Pengaruh Titanium Pada Paduan Aluminium AA3104 Terhadap Tekstur.....	87
4.6	Pengaruh Titanium Pada Paduan Aluminium AA3104 Terhadap Sifat Mekanik Material .....	89

4.6.1	Pengaruh Titanium Terhadap Kekuatan Luluh ( <i>Yield Strength</i> ), Kekuatan Tarik ( <i>Tensile Strength</i> ), dan Regangan Pada Paduan Aluminium AA3104 Yang Mengandung Titanium 0,00%, 0,010%, dan 0,013% .....	89
4.6.2	Pengaruh Titanium Pada Paduan Aluminium AA3104 Terhadap Nilai R .....	93
4.7	Pengaruh Titanium Pada Paduan Aluminium AA3104 Terhadap <i>Limiting Drawing Ratio</i> (LDR) dan Mampu Bentuk .....	93
4.8	Pengaruh Titanium Pada Paduan Aluminium AA3104 Terhadap Kekuatan Kaleng .....	95
4.8.1	Pengaruh Titanium Pada Paduan Aluminium AA3104 Terhadap Perubahan Bentuk <i>Dome</i> ( <i>Dome Growth</i> ) .....	95
4.8.2	Pengaruh Titanium Pada Paduan Aluminium AA3104 Terhadap <i>Dome Reversal Pressure</i> (DRP).....	97
4.8.3	Pengaruh Titanium Pada Paduan Aluminium AA3104 Terhadap Gaya Vertikal ( <i>Axial Load</i> ) .....	101
4.9	Pengaruh Titanium Pada Paduan Aluminium AA3104 Terhadap Proses Mampu Bentuk .....	104
4.10	Pengaruh Titanium Pada Paduan Aluminium AA3104 Terhadap Proses Mampu Bentuk .....	105
4.10.1	Hasil Analisis <i>Neck Plug Diameter</i> .....	106
4.10.2	Hasil Analisis Tinggi Kaleng ( <i>Can Height</i> ) .....	107
4.10.3	Hasil Analisis <i>Dome Depth</i> .....	109
4.10.4	Hasil Analisis <i>Thin Wall Thickness</i> .....	111
4.10.5	Hasil Analisis <i>Top Wall Thickness</i> .....	112
4.10.6	Hasil Analisis Lebar Bibir Kaleng ( <i>Flange Width</i> ).....	114
4.10.7	Hasil Analisis <i>Drop Impact Resistance</i> .....	116
4.10.8	Hasil Analisis <i>Dome Reversal Pressure</i> (DRP) .....	117
4.10.9	Hasil Analisis <i>Axial Load</i> .....	119
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>121</b>
5.1	Kesimpulan .....	121
5.2	Saran-Saran .....	122
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>123</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>135</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Grafik Progres Penurunan Ketebalan Material Aluminium Untuk Bahan Baku Badan Kaleng Minuman di PT UCC – Indonesia .....	3
Gambar 1.2	Grafik Berat Kaleng Terhadap Ketebalan Material .....	3
Gambar 1.3	Sketsa Perbedaan Tinggi Kaleng 0,280 mm dan 0,270 mm.	4
Gambar 1.4	Sketsa <i>Blank</i> Dengan Sistim <i>Convolute</i> .....	4
Gambar 1.5	Sketsa Ketebalan Material Pada Bagian Dome .....	5
Gambar 1.6	Sketsa Dimensi Kunci Yang Harus Dipenuhi .....	5
Gambar 1.7	Sketsa Urutan Proses Pembentukan Badan Kaleng .....	6
Gambar 1.8	Sketsa Pembentukan Kaleng Dengan Proses Penarikan Dalam dan Penipisan Dinding .....	6
Gambar 1.9	Sketsa Penipisan Selama Proses <i>Drawn Wall Ironing</i> Berlangsung .....	7
Gambar 2.1	Grafik Efek Pemanasan Selama Proses Produksi Kemasan Kaleng Terhadap <i>Yield Strength</i> Paduan Aluminium AA3004 .....	15
Gambar 2.2	Sketsa Proses Penipisan Aluminium .....	18
Gambar 2.3	Sketsa Perubahan Bentuk Butir ( <i>grains</i> ) Setelah Pengerolan Dingin .....	19
Gambar 2.4	Struktur Mikro Penampang Melintang Lembaran Paduan Al-Mn-Mg (a) Hasil Pengerolan Dingin 70% Dilanjutkan Aniling 450°C, 1800 detik, (b) <i>Hot Treatment</i> dan Pengerolan Dingin 70% Dilanjutkan Aniling 1800 Detik, (c) Pengerolan Dingin 90% Dilanjutkan Aniling 450°C, (d) <i>Hot Treatment</i> dan Pengerolan Dingin 90% Dilanjutkan Aniling 450°C, 1800 Detik .....	19
Gambar 2.5	Struktur Presipitasi Lembaran Paduan Aluminium AA3004 Dengan Penipisan 80%: (d) dan (c) Sampel Setelah Pemanasan 607°C Selama 6 Jam, (b) dan (d) Sampel Setelah Pemanasan 440°C Selama 1 Jam .....	20
Gambar 2.6	Hasil Analisis TEM Terhadap Paduan Al-Ti .....	21
Gambar 2.7	Ciri Khas Permukaan Lembaran Aluminium Untuk Badan Kaleng .....	22
Gambar 2.8	Tenaga Yang Dibutuhkan Pada Proses <i>Drawn Wall Ironing</i> Terhadap Kekasaran Permukaan Yang Berbeda, Permukaan a = 3,5 µm, b = 2,5 µm, dan c = 1,5 µm .....	23
Gambar 2.9	Diagram Fasa Al-Si, Al-Cu, Al-Fe, Al-Mn, Al-Mg, dan Al-Ti .....	29
Gambar 2.10	Grafik Kombinasi Mekanisme Pengerasan Paduan Aluminium .....	26

Gambar 2.11	Grafik Pengaruh Persentase Pengerolan Dingin Terhadap Kekuatan dan Perpanjangan Paduan Aluminium .....	27
Gambar 2.12	Urutan Proses Pembentukan Badan Kelang .....	28
Gambar 2.13	Hubungan Anisotropi dan <i>Earing</i> .....	28
Gambar 2.14	Sifat Mekanik Yang Berbeda Pada Arah Yang Berbeda .....	32
Gambar 2.15	Sketsa Anisotropi Normal .....	32
Gambar 2.16	Sketsa Anisotropi Normal Rata-Rata .....	33
Gambar 2.17	Skematik Anisotropi Planar dan Kecendrungan Pengupingan	33
Gambar 2.18	Pengaruh Anisotropi Planar Terhadap Pengupingan .....	34
Gambar 2.19	Sketsa Proses <i>Deep Drawing</i> .....	36
Gambar 2.20	Sketsa Deformasi Yang Terjadi Saat Proses <i>Deep Drawing</i> ..	37
Gambar 2.21	Sketsa Langkah-Langkah Proses Pembentukan Kaleng Minuman Dari Aluminium .....	39
Gambar 2.22	Parameter-Parameter Yang Mempengaruhi Proses <i>Deep Drawing</i> .....	42
Gambar 2.23	Hubungan Antara $\bar{R}$ ( <i>Average Strain Ratio</i> ) Dengan LDR ( <i>Limiting Draw Ratio</i> ) Untuk Beberapa Lembaran Logam ....	43
Gambar 2.24	Ukuran Kemasan Kaleng 330 ml .....	46
Gambar 3.1	Standar JIS 2201 (13B) .....	54
Gambar 3.2	Sketsa <i>Dome Growth</i> .....	58
Gambar 3.3	Sketsa Proses Penipisan Badan Kaleng .....	60
Gambar 3.4	Sketsa Ketebalan Badan Kaleng .....	60
Gambar 3.5	Sketsa Dimensi Kunci Badan Kaleng .....	61
Gambar 4.1	Grafik Hasil Analisis Kualitatif Menggunakan <i>Energy Dispersive X- ray Spectroscopy</i> (EDS) Sampel Dengan Komposisi a) Ti = 0,00%, b) Ti = 0,010% dan c) Ti = 0,013% .....	66
Gambar 4.2	Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Paduan Aluminium AA3104 Dengan Komposisi a) Ti = 0,00%, b) Ti = 0,010% dan c) Ti = 0,013% .....	68
Gambar 4.3	Grafik Kekasaran Permukaan Paduan Aluminium AA3103 Dengan Kandungan Titanium 0,00%, 0,010%, dan 0,013% Dalam Skala Ra dan Rz .....	69
Gambar 4.4	Hasil Analisis XRD Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti 0,000% .....	70
Gambar 4.5	Hasil Analisis XRD Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti 0,010% .....	70
Gambar 4.6	Hasil Analisis XRD Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti 0,013% .....	71
Gambar 4.7	Struktur Mikro Permukaan Atas Lembaran Paduan Aluminium AA3104 Dengan Komposisi a) Ti = 0,00%, b) Ti = 0,010%, dan c) Ti = 0,013% .....	73

Gambar 4.8	Struktur Mikro Posisi Samping Lembaran Paduan Aluminium AA3104 Dengan Komposisi a) Ti = 0,00%, b) Ti = 0,010%, dan c) Ti = 0,013% .....	74
Gambar 4.9	Hasil Analisis EDX Pada Permukaan Atas Area Presipitasi Paduan Aluminium AA3104 Komposisi Titanium 0,00% .....	74
Gambar 4.10	Hasil Analisis EDX Pada Permukaan Atas Area Non Presipitasi Paduan Aluminium AA3104 Komposisi Titanium 0,00% .....	76
Gambar 4.11	Hasil Analisis EDX Pada Permukaan Atas Area Presipitasi Paduan Aluminium AA3104 Komposisi Titanium 0,010% ...	77
Gambar 4.12	Hasil Analisis EDX Pada Permukaan Atas Area Non Presipitasi Paduan Aluminium AA3104 Komposisi Titanium 0,010% .....	78
Gambar 4.13	Hasil Analisis EDX Pada Permukaan Atas Area Presipitasi Paduan Aluminium AA3104 Komposisi Titanium 0,013% ...	79
Gambar 4.14	Hasil Analisis EDX Pada Permukaan Atas Area Non Presipitasi Paduan Aluminium AA3104 Komposisi Titanium 0,013% .....	80
Gambar 4.15	Hasil Analisis EDX Pada Permukaan Samping Area Presipitasi Paduan Aluminium AA3104 Komposisi Titanium 0,00% .....	81
Gambar 4.16	Hasil Analisis EDX Pada Permukaan Samping Area Non Presipitasi Paduan Aluminium AA3104 Komposisi Titanium 0,00% .....	82
Gambar 4.17	Hasil Analisis EDX Pada Permukaan Samping Area Presipitasi Paduan Aluminium AA3104 Komposisi Titanium 0,010% .....	83
Gambar 4.18	Hasil Analisis EDX Pada Permukaan Samping Area Non Presipitasi Paduan Aluminium AA3104 Komposisi Titanium 0,010% .....	84
Gambar 4.19	Hasil Analisis EDX Pada Permukaan Samping Area Presipitasi Paduan Aluminium AA3104 Komposisi Titanium 0,013% .....	85
Gambar 4.20	Hasil Analisis EDX Pada Permukaan Samping Area Non Presipitasi Paduan Aluminium AA3104 Komposisi Titanium 0,013% .....	86
Gambar 4.21	Tekstur aduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti 0,00%, Ti 0,010%, dan Ti 0,013% Pada Bidang (311) .....	87
Gambar 4.22	Grafik Kekatan Luluh Paduan Aluminium AA3104 Pada Orientasi 0°, 45°, dan 90° Sebelum Pemanasan .....	90
Gambar 4.23	Grafik Kekatan Tarik Paduan Aluminium AA3104 Pada Orientasi 0°, 45°, dan 90° Sebelum Pemanasan .....	90

Gambar 4.24	Grafik Regangan Paduan Aluminium AA3104 Pada Orientasi 0°, 45°, dan 90° .....	91
Gambar 4.25	Grafik Kekatan Luluh Paduan Aluminium AA3104 Pada Orientasi 0°, 45°, dan 90° Setelah Pemanasan 210°C Selama 10 Menit .....	92
Gambar 4.26	Grafik Kekatan Tarik Paduan Aluminium AA3104 Pada Orientasi 0°, 45°, dan 90° Setelah Pemanasan 210°C Selama 10 Menit .....	92
Gambar 4.27	Grafik Regangan Paduan Aluminium AA3104 Pada Orientasi 0°, 45°, dan 90° Setelah Pemanasan 210°C Selama 10 Menit .	92
Gambar 4.28	Grafik Nilai R Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti 0,000%, 0,010%, dan 0,013% .....	93
Gambar 4.29	Grafik Pengaruh LDR Terhadap <i>Tear Off Rate</i> .....	94
Gambar 4.30	Contoh Jenis Kegagalan Kaleng ( <i>Tear Off</i> ) .....	95
Gambar 4.31	Grafik <i>Dome Growth</i> Pada Badan Kaleng Menggunakan Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti = 0,00%, Ti = 0,010%, dan Ti = 0,013% .....	96
Gambar 4.32	Grafik Individual DRP Kaleng Yang Dibuat Dari Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti 0,00% Sebelum dan Sesudah Pemanasan .....	99
Gambar 4.33	Grafik Individual DRP Kaleng Yang Dibuat Dari Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti 0,010% Sebelum dan Sesudah Pemanasan .....	100
Gambar 4.34	Grafik Individual DRP Kaleng Yang Dibuat Dari Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti 0,013% Sebelum dan Sesudah Pemanasan .....	100
Gambar 4.35	Grafik Rata-Rata DRP Kaleng Yang Dibuat Dari Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti 0,00%, Ti 0,010%, dan Ti 0,013% .....	101
Gambar 4.36	Grafik Individual <i>Axial Load</i> Kaleng Yang Dibuat Dari Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti 0,00% Sebelum dan Sesudah Pemanasan .....	103
Gambar 4.37	Grafik Individual <i>Axial Load</i> Kaleng Yang Dibuat Dari Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti 0,010% Sebelum dan Sesudah Pemanasan .....	103
Gambar 4.38	Grafik Individual <i>Axial Load</i> Kaleng Yang Dibuat Dari Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti 0,013% Sebelum dan Sesudah Pemanasan .....	103
Gambar 4.39	Grafik Rata-Rata <i>Axial Load</i> Kaleng Yang Dibuat Dari Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti 0,00%, Ti 0,010%, dan Ti 0,013% .....	104

Gambar 4.40	Grafik Kecendrungan <i>Tear Off Rate</i> Kaleng Yang Dibuat Dari Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti 0,00%, Ti 0,010%, dan Ti 0,013% .....	105
Gambar 4.41	Grafik $\bar{X}$ -bar <i>Plug Diameter</i> .....	106
Gambar 4.42	Grafik R <i>Plug Diameter</i> .....	107
Gambar 4.43	Histogram <i>Neck Plug Diameter</i> Dengan Indeks $C_{pk} = 1,346$ .....	107
Gambar 4.44	Grafik $\bar{X}$ -bar <i>Finished Can Height</i> .....	108
Gambar 4.45	Grafik R <i>Finished Can Height</i> .....	108
Gambar 4.46	Histogram <i>Finished Can Height</i> Dengan Indeks $C_{pk} = 1,357$ .....	109
Gambar 4.47	Grafik $\bar{X}$ -bar <i>Dome Depth</i> .....	110
Gambar 4.48	Grafik R <i>Dome Depth</i> .....	110
Gambar 4.49	Histogram <i>Dome Depth</i> Dengan $C_{pk} = 2,091$ .....	110
Gambar 4.50	Grafik $\bar{X}$ -bar <i>Thin Wall Thickness</i> .....	111
Gambar 4.51	Grafik R <i>Thin Wall Thickness</i> .....	112
Gambar 4.52	Histogram <i>Thinwall Thickness</i> Dengan $C_{pk} = 1,628$ .....	112
Gambar 4.53	Grafik $\bar{X}$ -bar <i>Top Wall Thickness</i> .....	113
Gambar 4.54	Grafik R <i>Top Wall Thickness</i> .....	113
Gambar 4.55	Histogram <i>Top Wall Thickness</i> Dengan $C_{pk} = 3,572$ .....	114
Gambar 4.56	Grafik $\bar{X}$ -bar <i>Flange Width</i> .....	115
Gambar 4.57	Grafik R <i>Flange Width</i> .....	115
Gambar 4.58	Histogram <i>Flange Width</i> dengan $C_{pk} = 1,951$ .....	115
Gambar 4.59	Grafik $\bar{X}$ -bar <i>Drop Impact Resistant</i> .....	116
Gambar 4.60	Grafik R <i>Drop Impact Resistant</i> .....	117
Gambar 4.61	Histogram <i>Drop Impact Resistance</i> Dengan $C_{pk} = 1,369$ .....	117
Gambar 4.62	Grafik $\bar{X}$ -bar <i>Dome Reversal Pressure</i> .....	118
Gambar 4.63	Grafik R <i>Dome Reversal Pressure</i> .....	118
Gambar 4.64	Histogram <i>Dome Reversal Pressure</i> Dengan Indeks $C_{pk} = 1,933$ .....	118
Gambar 4.65	Grafik $\bar{X}$ -bar <i>Axial Load</i> .....	120
Gambar 4.66	Grafik R <i>Axial Load</i> .....	120
Gambar 4.67	Histogram <i>Axial Load</i> dengan $C_{pk} = 1,783$ .....	120

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat-sifat Fisik Aluminium .....	10
Tabel 2.2	Komposisi Kimia <i>Wrought Aluminum Alloy</i> .....	13
Tabel 2.3	Komposisi Kimia <i>Cast Aluminum Alloy</i> .....	14
Tabel 2.4	Sifat Mekanis Paduan Aluminium Untuk Badan Kaleng .....	14
Tabel 2.5	Standar Kandungan Komposisi Unsur – Unsur Paduan Aluminium AA3104 .....	24
Tabel 2.6	Karakteristik Unsur – Unsur Yang Dipadukan Dalam Paduan Aluminium Sebagai Bahan Baku Badan Kaleng Minuman .....	24
Tabel 3.1	Diagram Alir Penelitian .....	50
Tabel 3.2	Standar JIS Untuk Sampel Bentuk Pelat .....	54
Tabel 3.3	Data <i>Blank</i> Diameter dan <i>Punch</i> Diameter .....	56
Tabel 4.1	Hasil Analisis Komposisi Kimia Dalam % Berat Menggunakan Spark-OES ( <i>Optical Emission Spectrometer</i> )	65
Tabel 4.2	Distribusi Tekstur Bidang (311) Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti 0,000%, Ti 0,010%, dan Ti 0,013% ...	88

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data Hasil Pengukuran Kekasaran Lembaran Paduan Aluminium AA3104 dengan Kandungan Ti 0%, Ti 0,01%, dan Ti 0,013% .....	135
Lampiran 2	Faktor Reliabilitas Sebagai Hasil Refinement Untuk Sampel Paduan Aluminium AA3104 Bentuk Serbuk dan Lembaran dan Puncak Bragg yang Teramati .....	136
Lampiran 3	Data Hasil Pengukuran Uji Tarik .....	137
Lampiran 4	Anisotropi Kekuatan Luluh Pada Orientasi 0°-45°, 45°-90° dan 0°- 90° .....	138
Lampiran 5	Anisotropi Regangan Pada Posisi 0°, 45° dan 90° .....	139
Lampiran 6	Data LDR Dari 4 Ukuran Punch .....	140
Lampiran 7	Data Dome Growth Paduan Aluminium AA3104 .....	141
Lampiran 8	Data DRP Sampel dengan Ti = 0,00% .....	142
Lampiran 9	Data DRP Sampel dengan Ti = 0,010% .....	143
Lampiran 10	Data DRP Sampel dengan Ti = 0,013% .....	144
Lampiran 11	Data Axial Load Sampel dengan Ti = 0,00% .....	145
Lampiran 12	Data Axial Load Sampel dengan Ti = 0,010% .....	146
Lampiran 13	Data Axial Load Sampel dengan Ti = 0,013% .....	147
Lampiran 14	Data Kegagalan Proses Drawn Wall Ironing ( <i>Tear Off Rate</i> ) .....	148
Lampiran 15	Standar Dimensi Kemasan Kaleng 330 ml .....	149
Lampiran 16	Data Hasil Pengukuran Neck Plug Diameter .....	150
Lampiran 17	Data Hasil Pengukuran Finished Can Height .....	151
Lampiran 18	Data Hasil Pengukuran Dome Depth .....	152
Lampiran 19	Data Hasil Pengukuran Thin Wall Thickness .....	153
Lampiran 20	Data Hasil Pengukuran Neck Thickness .....	154
Lampiran 21	Data Hasil Pengukuran Flange Width .....	155
Lampiran 22	Data Hasil Pengukuran Drop Impact Resistance .....	156
Lampiran 23	Data Hasil Pengukuran Dome Reversal Pressure .....	157
Lampiran 24	Data Hasil Pengukuran Axial Load .....	158
Lampiran 25	Daftar Koefisien Untuk Perhitungan Grafik Rata-Rata dan Range .....	159
Lampiran 26	Data Hasil Uji Tarik 15% Sampel Lembaran Aluminium AA3104 dengan Ti 0,00% .....	160
Lampiran 27	Data Hasil Uji Tarik 15% Sampel Lembaran Aluminium AA3104 dengan Ti 0,010% .....	161

Lampiran 28	Data Hasil Uji Tarik 15% Sampel Lembaran Aluminium AA3104 dengan Ti 0,013% .....	162
Lampiran 29	Data Hasil Uji Tarik Sampel Lembaran Aluminium AA3104 dengan Ti 0,00% .....	163
Lampiran 30	Data Hasil Uji Tarik Sampel Lembaran Aluminium AA3104 dengan Ti 0,010% .....	164
Lampiran 31	Data Hasil Uji Tarik Sampel Lembaran Aluminium AA3104 dengan Ti 0,013% .....	165
Lampiran 32	Data Hasil Uji Tarik Sampel Lembaran Aluminium AA3104 dengan Ti 0,00% Setelah Pemanasan 210°C, Selama 10 Menit .....	166
Lampiran 33	Data Hasil Uji Tarik Sampel Lembaran Aluminium AA3104 dengan Ti 0,010% Setelah Pemanasan 210°C, Selama 10 Menit .....	167
Lampiran 34	Data Hasil Uji Tarik Sampel Lembaran Aluminium AA3104 dengan Ti 0,013% Setelah Pemanasan 210 C, Selama 10 Menit .....	168
Lampiran 35	Data Hasil Uji Tarik 15% Sampel Lembaran Aluminium AA3104 dengan Ti 0,00 % Setelah Pemanasan 210 C, Selama 10 Menit .....	169
Lampiran 36	Data Hasil Uji Tarik 15% Sampel Lembaran Aluminium AA3104 dengan Ti 0,010% Setelah Pemanasan 210 C, Selama 10 Menit .....	170
Lampiran 37	Data Hasil Uji Tarik 15% Sampel Lembaran Aluminium AA3104 dengan Ti 0,013% Setelah Pemanasan 210 C, Selama 10 Menit .....	171
Lampiran 38	Can Body Terminology .....	172
Lampiran 39	Data Hasil Perhitungan Anisotropi Normal (R) Untuk Sampel Dengan Ti 0,00% .....	173
Lampiran 40	Data Hasil Perhitungan Anisotropi Normal (R) Untuk Sampel Dengan Ti 0,010% .....	174
Lampiran 41	Data Hasil Perhitungan Anisotropi Normal (R) Untuk Sampel Dengan Ti 0,013% .....	175
Lampiran 42	Data Hasil Perhitungan Nilai R dan $\Delta R$ Untuk Sampel Dengan Ti 0,00% , 010% dan 0,013% .....	176

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Teknologi kemasan kaleng, khususnya kaleng dua bagian yang terbuat dari aluminium (*two-piece aluminum can*) bergerak sangat pesat, baik dari segi teknologi mesin, peralatan (*tooling*) maupun material aluminium sebagai bahan baku utama. Pada awalnya kecepatan produksi hanya sekitar 600 kaleng/menit dengan ketebalan material aluminium 0,320 mm sebagai bahan baku. Sejalan dengan perkembangan teknologi, sekarang ini kecepatan produksi sudah mencapai diatas 1500 kaleng/menit dengan ketebalan bahan baku yang semakin tipis.

Disebut kaleng dua bagian, karena hanya terdiri dari 2 komponen, yaitu badan kaleng yang menyatu dengan bagian bawah, dan tutup bagian atas. Sedangkan kaleng konvensional disebut kaleng 3 bagian (*three-piece can*) karena terdiri dari 3 komponen yaitu badan kaleng, tutup bagian bawah dan tutup bagian atas. Adapun kaleng 2 bagian yang dibicarakan pada penelitian ini adalah yang diproses dengan penarikan dalam dan dilanjutkan dengan penipisan pada bagian dinding (*drawn wall ironing*) yang cukup unik. Dengan uniknya proses *drawn wall ironing*, maka peranan material yang digunakan sangat menentukan keberhasilan proses ini. Disamping itu dengan diturunkannya ketebalan material yang digunakan untuk menurunkan biaya produksi, maka penelitian tentang aluminium sebagai bahan baku perlu dilakukan.

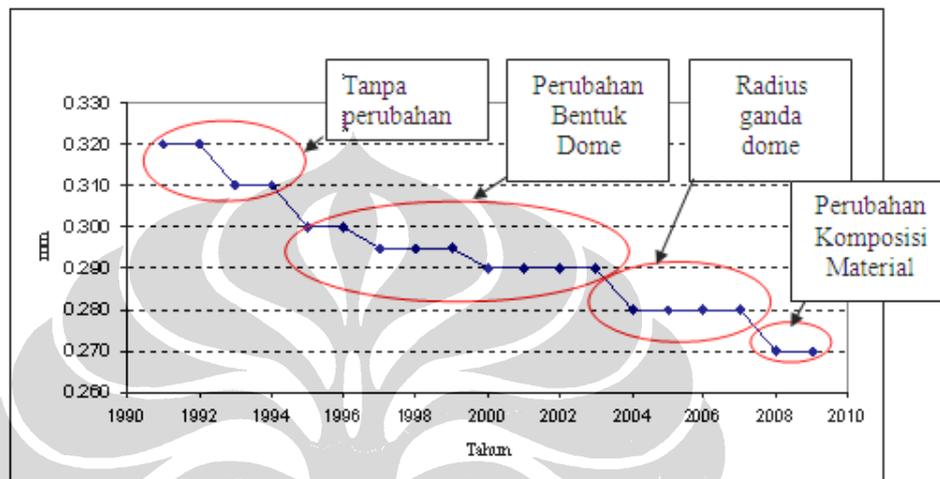
Unsur-unsur Al, Fe, Mn, dan Si sudah biasa dipadukan ke dalam paduan aluminium yang digunakan untuk bahan baku badan kemasan kaleng minuman bertekanan (karbonasi) dengan proses *Drawn Wall Ironing (DWI)*. Paduan ini menghasilkan larutan padat  $Al_{12}(Fe,Mn)_3Si$ , pada *standard Aluminum Association* dikenal sebagai paduan AA3104. Material aluminium banyak digunakan sebagai kemasan makanan dan minuman karena selain mudah dibentuk, juga tidak beracun (Adnyana, 1993). Adapun kekurangan dari material ini adalah mempunyai kekuatan yang rendah sehingga menjadi kendala apabila ketebalannya dikurangi dalam rangka menurunkan ongkos produksi. Kekurangan ini bisa

diatasi dengan melakukan modifikasi pada komposisi kimia dalam % berat dan penambahan unsur lain.

Teknik perlakuan panas dan pengerjaan dingin juga sangat berpengaruh terhadap kinerja dari material paduan ini yang pada akhirnya dapat menentukan kekuatan (*yield strength*) dan mampu bentuk (*formability*) yang baik. Kedua hal tersebut merupakan kunci keberhasilan dari paduan aluminium yang disiapkan untuk bahan baku kemasan kaleng minuman bertekanan. Selain itu, tingkat kekerasan material juga berpengaruh terhadap mampu bentuk, dimana material yang keras biasanya sukar dilakukan pembentukan dengan proses *drawn wall ironing* (DWI).

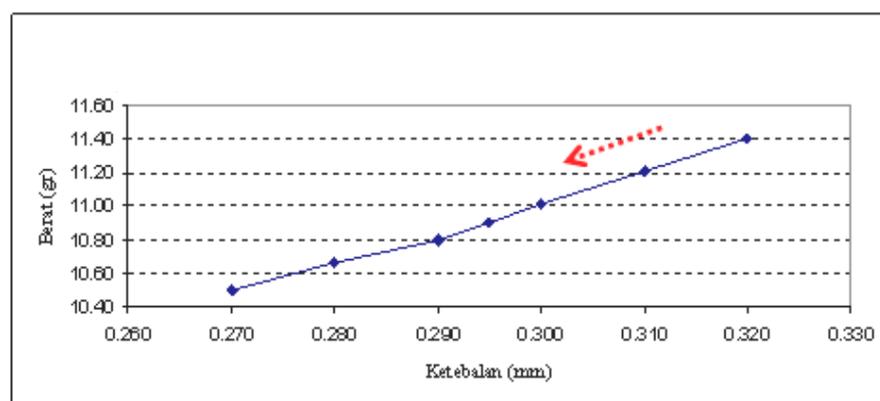
Dengan adanya tuntutan yang semakin mendesak dari dunia industri kemasan kaleng untuk menurunkan ongkos produksi, maka suatu hal yang harus dilakukan adalah menurunkan ketebalan bahan baku utama yang digunakan yaitu aluminium. Pada industri kemasan kaleng semacam ini, biaya pembelian aluminium adalah 70% dari total ongkos produksi. Pada suatu tingkat ketebalan tertentu dimana kekuatan kaleng sudah dibawah standar yang ditentukan, berarti mempelajari dan menentukan komposisi paduan tersebut adalah suatu hal yang perlu dilakukan. Oleh karena itu merupakan hal yang menarik dan bermanfaat untuk melakukan penelitian ini. Adapun kronologi dari penurunan material yang pernah dilakukan oleh PT. UCC sejak tahun 1991 ditunjukkan pada Gambar 1.1 tersebut dibawah ini, dimana rencana untuk melakukan penurunan ketebalan material terus menerus direncanakan. Pada tahun 1991 material yang digunakan adalah 0,320 mm, lalu pada tahun 1993 diturunkan menjadi 0,310 mm dengan tanpa melakukan perubahan komposisi material dan dimensi *tooling*, karena pada ketebalan tersebut kekuatan kaleng masih memenuhi standar yang diinginkan. Selanjutnya tahun 1995 dilakukan perubahan material dari 0,310 menjadi 0,300 yang dibarengi dengan perubahan bentuk *dome* sehingga memungkinkan kekuatan kaleng masih dapat memenuhi standar yang ditentukan, perubahan bentuk ini bisa mencapai ketebalan 0,290 mm. Tahun 2004 dilakukan kembali penurunan ketebalan material dari 0,290 mm menjadi 0,280 mm, pada perubahan ini dilakukan modifikasi dimensi *dome*, dimana dibuat radius ganda pada bagian tengah *dome* tersebut. Program selanjutnya adalah pada tahun 2007 direncanakan

untuk melakukan penurunan ketebalan material dari 0,280 mm menjadi 0,270 mm, pada kali ini perubahan bentuk *dome* sudah tidak memungkinkan lagi dilakukan modifikasi. Mencari jalan untuk merubah komposisi material adalah cara yang ingin dilakukan dalam hal ini.



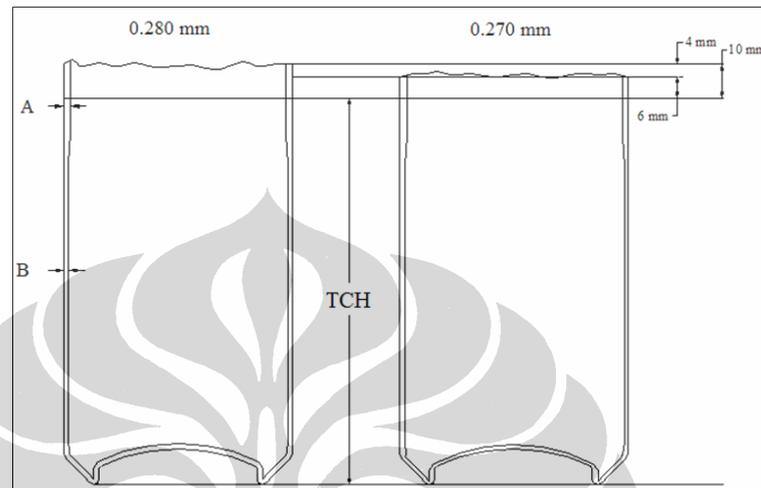
Gambar 1.1 Grafik Progres Penurunan Ketebalan Material Aluminium Untuk Bahan Baku Badan Kaleng Minuman di PT UCC - Indonesia

Dengan dilakukannya penurunan ketebalan material tentunya akan terjadi penurunan berat kaleng, hal inilah yang memungkinkan terjadinya penurunan biaya produksi. Gambar 1.2 memperlihatkan perbandingan antara berat kaleng dengan ketebalan yang digunakan.



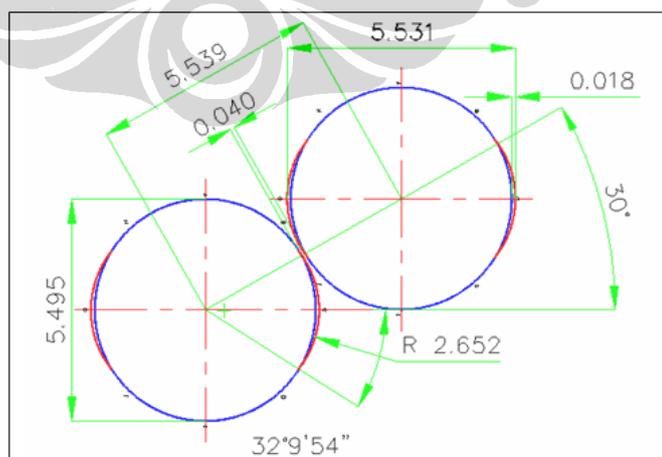
Gambar 1.2 Grafik Berat Kaleng Terhadap Ketebalan Material

Gambar 1.3 memperlihatkan perubahan tinggi kaleng dengan menggunakan ketebalan 0,280 mm dan 0,270 mm. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa terjadi penurunan ketinggian 6 mm dibagian atas. Hal ini tidak ada masalah sepanjang masih dapat memenuhi standar ketinggian kaleng setelah dipotong.



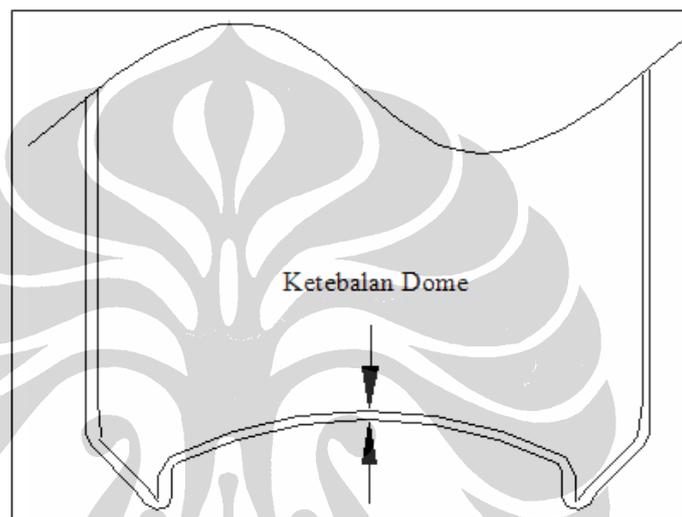
Gambar 1.3 Sketsa Perbedaan Tinggi Kaleng 0,280 dan 0,270 mm

Dalam hal untuk meminimalkan terjadinya pengupingan (*earing*), maka dilakukan modifikasi bentuk *blank*, dimana bentuknya tidak bulat, yang disebut dengan *convolute*, seperti dapat dilihat pada Gambar 1.4. *Earing* adalah rasio perbedaan antara titik terendah dan tertinggi dari satu *cup*.

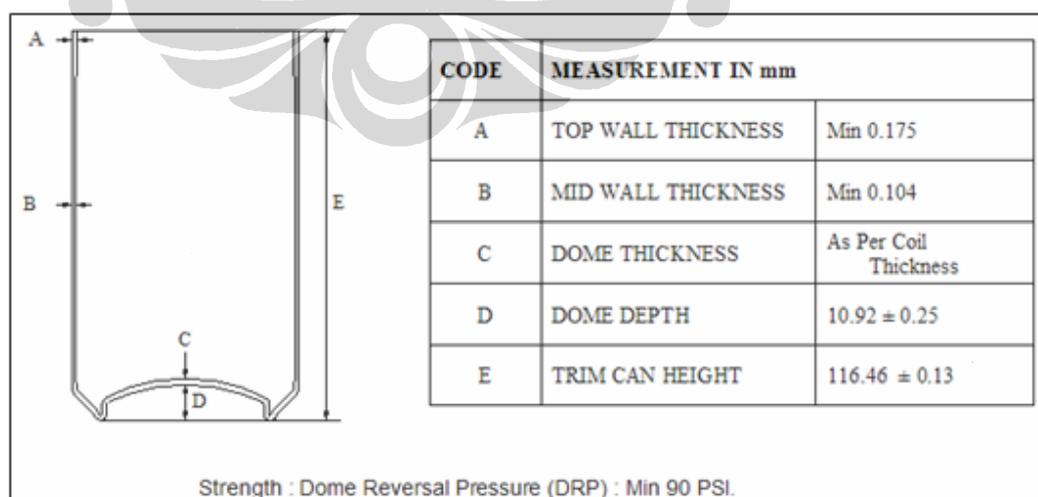


Gambar 1.4 Sketsa *Blank* dengan Sistem *Convolute*

Pada penurunan ketebalan material badan kaleng, yang paling berpengaruh adalah perubahan ketebalan pada bagian bawah kaleng (*dome*), sesuai dengan ketebalan yang digunakan (Gambar 1.5). Sedangkan ketebalan pada bagian lainnya harus dipertahankan karena berhubungan dengan proses selanjutnya, dengan demikian maka tidak terjadi perubahan (Gambar 1.6). Maka dari itu yang paling berpengaruh adalah kekuatan *dome* menahan tekanan dari dalam kaleng.

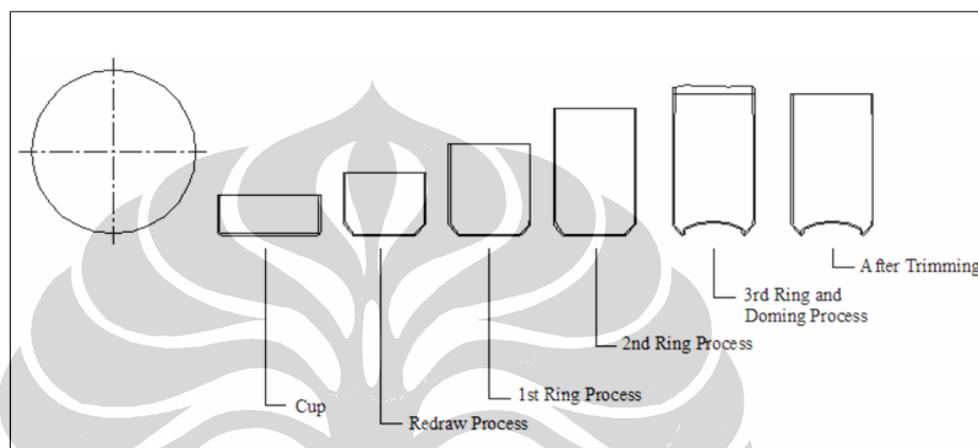


Gambar 1.5 Sketsa Ketebalan Material Pada Bagian *Dome*

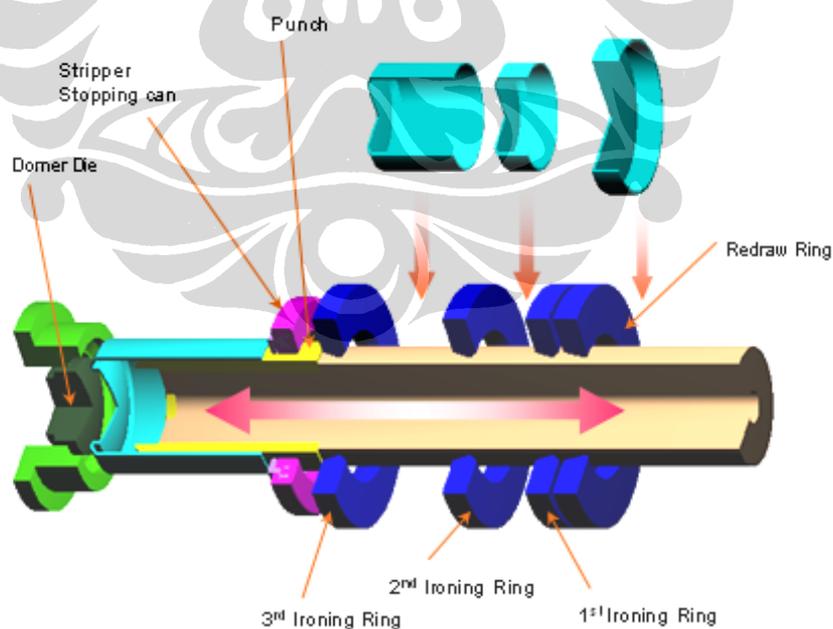


Gambar 1.6 Sketsa Dimensi Kunci Yang Harus Dipenuhi

Gambar 1.7 memperlihatkan proses pembentukan badan kaleng sejak dari *blank* menjadi bentuk *cup*, *redraw*, *ring* ke 1, *ring* ke 2, *ring* ke 3, pembentukan *dome* dan pemotongan bagian atas kaleng untuk mendapatkan ketinggian sesuai dengan yang diinginkan. Adapun skema penyusunan *ring* dapat dilihat pada Gambar 1.8.

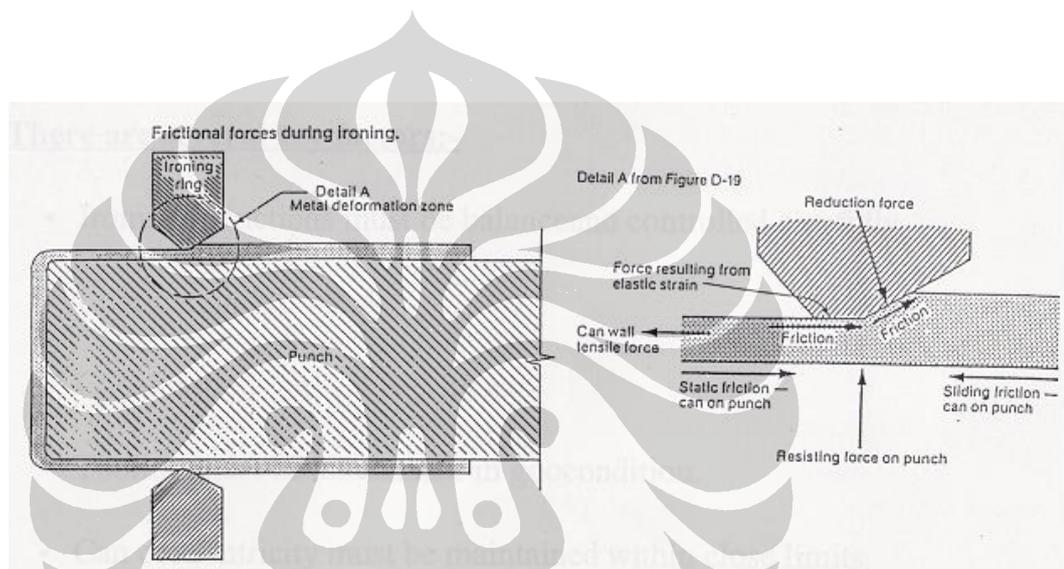


Gambar 1.7 Sketsa Urutan Proses Pembentukan Badan Kaleng



Gambar 1.8 Sketsa Pembentukan Kaleng Dengan Proses Penarikan Dalam dan Penipisan Dinding (*drawn wall ironing*)

Gambar 1.9 memperlihatkan gesekan dan deformasi yang terjadi pada proses *drawn wall ironing*. Dalam hal ini penipisan terjadi karena jarak (*gap*) antara *ring* dengan *punch* yang lebih kecil dibandingkan dengan ketebalan material aluminium yang digunakan. Jarak antara *ring* dan *punch* sama dengan ketebalan dinding yang akan dicapai, dalam hal ini adalah 0,10 mm pada bagian tengah (*mid wall*) dan 0,17 mm pada bagian atas (*top wall*). Adapun penurunan ketebalan pada setiap *ring* adalah, 27% pada *ring* pertama, 21% pada *ring* kedua dan 38% pada *ring* ketiga.



Gambar 1.9 Sketsa Penipisan Selama Proses *Drawn Wall Ironing* Berlangsung (Alcoa 1995)

## 1.2 Perumusan Masalah

Setiap unsur pada paduan aluminium mempunyai fungsi yang khusus. Cu secara umum dapat menambah kekuatan, Si menambah kekuatan dan ketahanan terhadap korosi, Mg selain baik terhadap ketahanan korosi juga mempunyai kekuatan yang tinggi, Ni menambah kekuatan pada temperatur tinggi, Fe dapat mengurangi pengerutan (Fellers, 1990).

Sejalan dengan berkembangnya teknologi peralatan (*tooling*) dan proses *DWI* pada produksi kemasan kaleng aluminium yang memungkinkan dilakukannya penghematan penggunaan bahan baku aluminium, maka harus diikuti pula dengan teknologi material sebagai bahan baku utama kemasan kaleng. Sehingga dengan ketebalan yang lebih tipis, tetapi mempunyai kinerja yang sama,

bahkan lebih baik. Setelah penambahan Cu dan Mg pada paduan tersebut ternyata masih belum mendapatkan hasil yang optimum, maka unsur lain yang menarik untuk dimasukkan kedalam paduan tersebut adalah titanium (Ti). Hal tersebut disebabkan karena titanium adalah salah satu material yang keras dan dapat dengan mudah bercampur dengan material lain apabila dicairkan, sehingga dengan sifat yang keras dari material titanium tersebut berarti penambahannya kedalam paduan aluminium harus dijaga jangan sampai melebihi batas yang memungkinkan terjadinya kegetasan atau mengurangi mampu bentuk (*formability*) yang sangat dibutuhkan pada proses *DWI*.

Secara komersial bahan baku paduan aluminium AA3104 yang sudah digunakan untuk kemasan badan kaleng bertekanan adalah mengandung larutan padat  $(\text{Fe,Mn})\text{Al}_6$ , dan  $\text{Al}_{12}(\text{Fe,Mn})_3\text{Si}$  (Morris, 1993). Penambahan Cu, Mg, dan Ti sudah dilakukan pada paduan aluminium dan konsentrasi % beratnya berbeda – beda pada setiap pabrik pengguna aluminium tersebut, oleh karena peralatan yang digunakannya berbeda (Morris, 1993).

Disamping itu sepanjang pengetahuan penulis belum ada penelitian yang membahas tentang sifat – sifat paduan aluminium dengan penambahan unsur Ti sehubungan dengan pengaruhnya terhadap proses *DWI* pada industri kemasan kaleng bertekanan. Sedangkan pada aluminium *casting* biasanya titanium dan boron ditambahkan untuk menyempurnakan butiran (*grain refining*) baik pada *sand casting* maupun permanen *casting* (Smith, 1979).

### 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan paduan aluminium AA3104 dalam bentuk lembaran dengan ketebalan 0,270 mm yang memiliki sifat-sifat seperti berikut ini:

- Penyebaran partikel yang lebih merata.
- Bentuk permukaan yang lebih halus.
- Kekuatan luluh yang lebih tinggi.
- Kekuatan tarik yang lebih tinggi.
- Regangan yang lebih tinggi.
- Mampu bentuk yang baik untuk proses *drawn wall ironing*.

- Kekuatan kaleng yang memenuhi persyaratan, baik kekuatan bagian dasar kaleng (*dome reversal pressure*) maupun kekuatan kaleng menahan gaya vertikal (*axial load*).
- Dapat digunakan secara komersial sebagai bahan baku kemasan kaleng dengan proses *drawn wall ironing*.

Untuk mencapai tujuan tersebut diatas, maka dilakukan modifikasi terhadap paduan yang sudah ada dengan cara menambahkan unsur titanium kedalam paduan tersebut.

#### 1.4 Batasan Masalah

Atas dasar pertimbangan dan fenomena yang terjadi pada paduan aluminium AA3104 tanpa titanium, maka dalam mempelajari paduan tersebut dilakukan penelitian yang mencakup beberapa hal :

1. Paduan yang dibuat adalah paduan dasar aluminium alloy AA3104 tanpa titanium sebagai dasar perbandingan.
2. Paduan tersebut di atas diberi penambahan unsur titanium 0,010% dan 0,013% (% berat) untuk diproses menjadi lembaran dengan ketebalan akhir 0,27 mm.
3. Pembuatan masing – masing sampel dilakukan melalui proses peleburan di pabrik aluminium dengan simulasi seperti produksi secara komersial.
4. Setiap sampel dilakukan analisis komposisi kimia, tingkat kekasaran permukaan, struktur mikro, sifat mekanik, mampu bentuk dan kekuatannya setelah dibentuk menjadi kaleng.
5. Kaleng yang dibentuk adalah berukuran 330 ml.
6. Analisis akhir tentang kinerja material dilakukan secara statistik dengan menggunakan software NWA Quality Analyst 5.1, dimana standar keberhasilan yang ingin dicapai adalah memenuhi persyaratan pelanggan.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Aluminium

##### 2.1.1 Sifat-Sifat Aluminium

Aluminium memiliki struktur kristal *face centred cubic* (FCC) dengan kisi kristal  $(a) = 4,0413 \text{ \AA}$  pada temperatur  $25^\circ\text{C}$  (Horn, 1967). Aluminium merupakan logam ringan, dimana memiliki berat 34% dari besi dengan volume yang sama, 30% dengan volume yang sama dibandingkan dengan tembaga, akan tetapi memiliki berat 1,5 kali dibandingkan dengan magnesium. Aluminium tidak beracun, tidak merubah warna makanan, tidak mempunyai rasa, maka dari itu aluminium banyak digunakan sebagai kemasan makanan (Fellers, 1990). Aluminium mempunyai ketahanan korosi dan hantaran listrik yang baik serta sifat-sifat lainnya sebagai sifat logam. Untuk menaikkan sifat mekaniknya, maka secara umum aluminium biasanya dipadu dengan menambahkan Si, Fe, Cu, Mn, Mg, dan Zn. Si dan Mg ditambahkan untuk menambah daya tahan terhadap korosi, Fe untuk mencegah terjadinya penyusutan, Cu untuk menambah kekuatan, dan Mn untuk memperbaiki mampu bentuk. Elemen-elemen tersebut ditambahkan baik secara satu-persatu atau bersama-sama. Penggunaan dari aluminium dan paduannya antara lain untuk peralatan rumah tangga, kemasan makanan dan minuman, pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi bangunan rumah, dll. Adapun sifat-sifat fisik aluminium murni ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sifat-Sifat Fisik Aluminium (Surdia dan Shinroku, 1992)

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,996	>99,0
Massa Jenis ( $20^\circ\text{C}$ )	2,6989	2,71
Titik Cair	660,2	653-657
Panas Jenis (cal/g. $^\circ\text{C}$ )( $100^\circ\text{C}$ )	0,2226	0,2297
Hantaran Listrik (%)	64,94	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperatur ( $^\circ\text{C}$ )	0,00429	0,0115
Koefisien Pemuai (20- $100^\circ\text{C}$ )	$23,86 \times 10^{-6}$	$23,5 \times 10^{-6}$
Jenis Kristal, konstanta kisi	FCC, $a = 4,013 \text{ \AA}$	FCC, $a = 4,04 \text{ \AA}$

### 2.1.2 Paduan Aluminium

Sebagaimana logam-logam lain, untuk merubah sifat aluminium menjadi lebih kuat, maka dipadu dengan unsur-unsur lain sesuai dengan kebutuhan dan penggunaannya. Paduan aluminium (*aluminum alloy*) banyak digunakan secara komersial karena mempunyai kekuatan yang lebih dibandingkan aluminium murni. Beberapa jenis logam ditambahkan kedalam aluminium murni dalam bentuk cair untuk menjadikannya lebih kuat dan lebih serbaguna. Unsur-unsur yang biasanya ditambahkan kedalam paduan aluminium adalah Cu, Zn, Mn, Mg, dan Si. Unsur-unsur tersebut jauh lebih tahan terhadap korosi dibandingkan dengan besi karbon, tetapi aluminium lebih tahan lagi terhadap korosi (Fellers, 1990). Komposisi kimia paduan aluminium didaftarkan pada asosiasi yang bernama *Aluminum Association* yang disingkat AA. Disamping itu ada organisasi lain yang mempublikasikan standar yang lebih khusus, seperti *Society of Automotive Engineers (SAE)* atau *American Society for Testing and Materials (ASTM)*. Paduan aluminium dengan sifat-sifat yang lebih luas digunakan untuk bagian-bagian mesin atau struktur lainnya. Sistem paduan (*Alloy systems*) diklasifikasikan dengan sistem nomor yang dikeluarkan oleh *American National Standard Institute (ANSI)*, dengan nama yang mengindikasikan besarnya elemen yang dipadukan (*Deutsches Institut Fur Normung - DIN* dan *International Organization of Standardization - ISO*) (Fellers, 1990). Dengan memilih paduan yang benar akan menghasilkan sifat-sifat paduan seperti; kekuatan (*strength*), keuletan (*ductility*), pembentukan (*formability*), dapat disambung (*weld-ability*) dan ketahanan terhadap korosi (*corrosion resistance*). Kekuatan dan daya tahan aluminium mempunyai variasi yang besar sehingga dapat digunakan sebagai paduan khusus dalam proses manufaktur.

Dalam hal paduan aluminium yang disiapkan sebagai bahan baku untuk pembuatan kemasan kaleng minuman dan kemasan lainnya diperkuat dengan menambahkan magnesium, untuk membentuk *aluminium magnesium alloy*, ditambahkan pula elemen lain seperti mangan dan chromium sebagai penguat dan juga untuk mengontrol mampu bentuk, memperbaiki ukuran butiran dan sifat-sifat lainnya. Paduan aluminium sebagai bahan baku kemasan yang diharapkan mempunyai kekuatan setinggi mungkin akan tetapi harus mudah dibentuk dan

kualitasnya memenuhi persyaratan kemasan kaleng minuman. Dengan cara memilih paduan yang tepat maka kemungkinan penipisan materialnya bisa dilakukan sehingga memberikan optimasi penggunaan material secara ekonomis (Horn, 1967). Komposisi dan struktur logam harus memberikan mampu bentuk pada waktu diproses pada line produksi, karena mampu bentuk dapat menentukan kinerja paduan aluminium itu sendiri. Pada umumnya paduan aluminium untuk kemasan kaleng adalah merupakan modifikasi komposisi paduan AA3004, dimana komposisi dalam % berat adalah: magnesium 0,5 – 1,5%, besi 0,1 – 1,0%, silikon 0,1 – 0,5%, chromium 0,1 – 0,4%, Zinc 0,0 – 0,25% zinc dan copper 0,0 – 0.25%, sedangkan sisanya adalah aluminium (Smith, 1979).

### 2.1.3 Klasifikasi Paduan Aluminium

Secara umum paduan aluminium diklasifikasikan menjadi 2 macam yaitu *wrought aluminum alloy* dan *cast aluminum alloy*. Kedua macam paduan ini dibedakan lagi menjadi paduan aluminium yang disiapkan untuk penggunaan panas (*heat treatable alloy*) dan penggunaan tanpa pemanasan (*non heat treatable alloy*). *Heat treatable alloy* disiapkan untuk penggunaan pada temperatur sampai dengan 200° C, diperkuat dengan cara menambahkan elemen-elemen lain yang membentuk senyawa *intermetallic*. Paduan aluminium yang termasuk dalam kelompok *heat treatable alloy* adalah seri 2xxx, 6xxx dan 7xxx. Paduan aluminium seri 2xxx merupakan paduan aluminium dengan copper, magnesium, dan mangan. Salah satu paduan aluminium seri 2000 adalah 2024 (Al<sub>2</sub>CuMg) yang digunakan sebagai rangka pesawat. Paduan aluminium yang termasuk dalam kelompok *non heat treatable* adalah seri 1xxx, 3xxx, 5xxx, dan beberapa dari seri 4xxx, dimana untuk menambah kekuatannya dilakukan dengan cara pengerjaan dingin. Paduan aluminium seri 1xxx dan seri 3xxx adalah merupakan paduan fasa tunggal dimana kandungan aluminium nya mencapai 97 ~ 99%, dengan sedikit penambahan Fe, Cu, dan Si yang dapat menambah kekuatan. Paduan aluminium seri 3xxx adalah merupakan paduan aluminium dengan mangan sebagai unsur pembentuk larutan padat (*solid solution*) yang sekaligus sebagai penguat. Sedangkan Aluminium seri 5xxx adalah merupakan paduan aluminium dengan magnesium, dimana terbentuk fasa  $\alpha$  yang merupakan larutan

padat yang dapat memperkuat paduan ini, dan senyawa  $Mg_2Al_3$  yang membuat paduan ini menjadi keras. Tabel 2.2 menunjukkan komposisi kimia untuk *wrought aluminum alloy*, dimana setiap seri mempunyai 4 digit angka yang mempunyai arti, digit pertama menandakan kelompok elemen pepadu terbanyak, digit kedua mengindikasikan hasil modifikasi atau batas ketidakmurnian dan dua digit terakhir merupakan indikasi dari paduan atau tingkat kemurnian. Paduan aluminium seri 3xxx adalah yang digunakan sebagai bahan baku badan kaleng dua bagian (*two-piece can*) dengan proses *drawn wall ironing*, sedangkan untuk bagian tutupnya menggunakan paduan aluminium seri 5xxx. Pada awalnya untuk badan kaleng dengan ketebalan di atas 0,290 mm menggunakan paduan AA3004, dan seiring dengan dilakukannya penurunan ketebalan maka dilakukan modifikasi komposisi kimia yang selanjutnya berubah menjadi paduan AA3104. Angka 1 pada digit ke dua merupakan indikasi dilakukannya modifikasi dari paduan AA3004.

Tabel 2.2 Komposisi Kimia *Wrought Aluminum Alloy* (Alcoa 1995)

Seri	Unsur Pepadu Utama
1xxx	Aluminium Minimum 99%
2xxx	Copper (1,9% - 6,8%)
3xxx	Manganese (0,3% - 1,5%)
4xxx	Silicon (3,6% - 13,5%)
5xxx	Magnesium (0,5% - 5,5%)
6xxx	Magnesium dan Silicon (Mg 0,4% - 1,5%, Si 0,2% - 1,7%)
7xxx	Zinc (1% - 8,2%)
8xxx	Lain - lain

Tabel 2.3 menunjukkan komposisi kimia *Cast Aluminum Alloy*, dimana setiap seri mempunyai 4 digit angka yang mempunyai arti, digit pertama menandakan kelompok elemen pepadu terbanyak, digit kedua mengindikasikan tingkat kemurnian, dua digit terakhir mengindikasikan asal *casting* (0) atau *slab* (1 atau 2) tergantung pada batas komposisi kimia.

Tabel 2.3 Komposisi Kimia *Cast Aluminum Alloy* (Alcoa 1995).

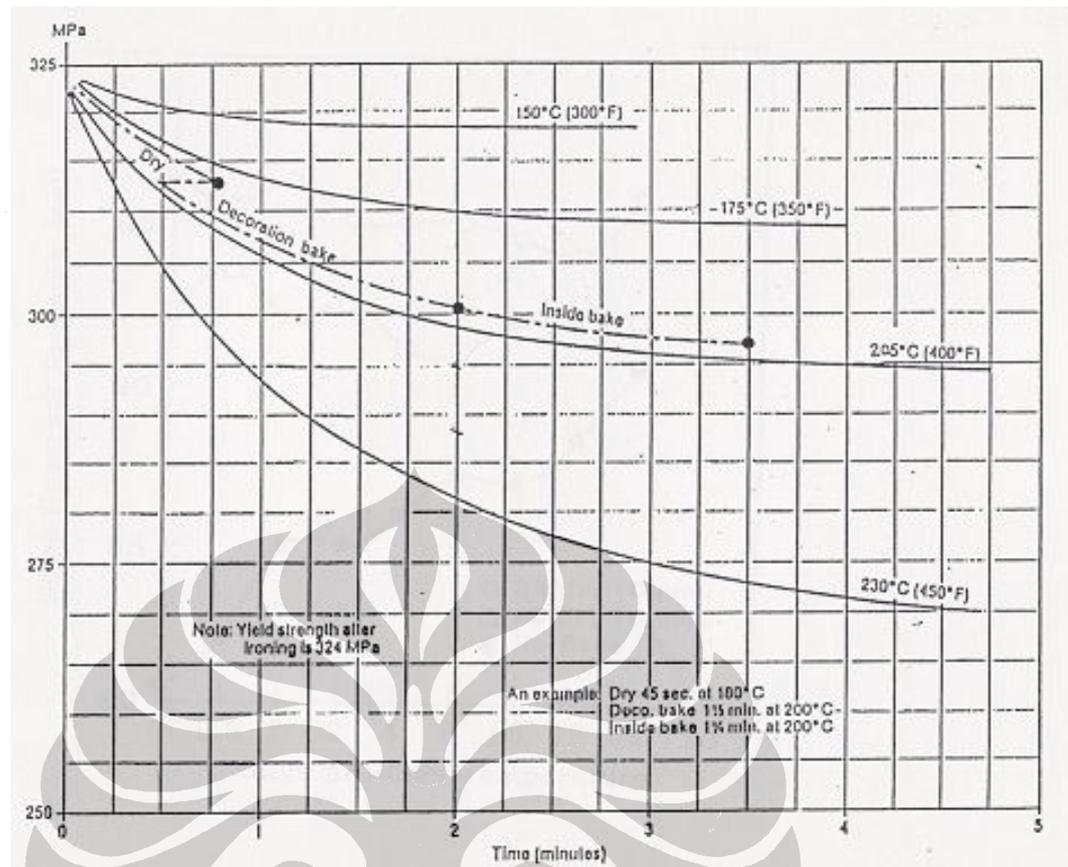
Seri	Unsur Padu Utama
1xx.x	Aluminium minimum 99,0%.
2xx.x	Copper (4,0% - 4,6%)
3xx.x	Silicon (5,0% - 17,0%) dengan ditambahkan copper dan/atau magnesium
4xx.x	Silicon (5,0% - 12,0%)
5xx.x	Magnesium (4,0% - 10,0%)
7xx.x	Zinc (6,2% - 7,5%)

Tabel 2.4 adalah merupakan ciri-ciri sifat mekanis secara umum dari paduan aluminium seri 3xxx yang digunakan sebagai bahan baku kemasan kaleng dengan proses *drawn wall ironing*. Dimana setelah dilakukan pemanasan dengan temperatur 210° C selama 10 menit, mengalami penurunan kekuatan. Yaitu, kekuatan luluh (*yield strength*) turun 9,9% dan kekuatan tarik (*tensile strength*) turun 9,9%, sedangkan *elongation* tidak terjadi perubahan.

Tabel 2.4 Sifat Mekanis Paduan Aluminium Untuk Badan Kaleng (Alcoa 1995).

Seri Paduan	Sifat Mekanis					
	Sebelum Pemanasan			Setelah Pemanasan 210° C selama 10 menit		
	Tensile Strength (Mpa)	Yield Strength (Mpa)	Elongation %	Tensile Strength (Mpa)	Yield Strength (Mpa)	Elongation %
AA3004	303	276	5	283	255	5
AA3104	310	283	5	290	262	5
AA3204	317	290	5	296	268	5

Gambar 2.1 menunjukkan efek pemanasan selama proses produksi kemasan kaleng terhadap kekuatan luluh (*yield strength*) paduan aluminium AA3004, dimana setelah pemanasan, *yield strength* menurun, hal ini merupakan ciri dari material yang dikuatkan dengan proses *strain hardening*.



Gambar 2.1 Grafik Efek Pemanasan Selama Proses Produksi Kemasan Kaleng Terhadap *Yield Strength* Paduan Aluminium AA3004 (Alcoa 1995)

#### 2.1.4 Penguatan Aluminium

Pada umumnya tingkat kekuatan logam ditentukan oleh kemampuan atom-atom dalam kristal mengalami pergeseran (dislokasi) ketika diberikan beban secara plastis. Semakin besar energi yang dibutuhkan untuk melakukan pergeseran atom-atom, berarti semakin kuat logam tersebut. Terbentuknya dislokasi tidak hanya ditentukan oleh kerapatan atom-atom, akan tetapi ditentukan juga oleh faktor rintangan (*barrier*) yang terjadi dalam kristal. Semakin besar rintangan, maka semakin besar energi yang dibutuhkan untuk menggerakkan dislokasi, yang berarti semakin kuat logam tersebut (Adnyana, 1994).

Penguatan aluminium bisa dilakukan dengan proses pemaduan dengan elemen-elemen lain (*solid solution hardening*), penguatan dari batas kristal (*grain boundary hardening*), penguatan karena efek pengerjaan dingin (*cold work*), dan penguatan dengan pembentukan partikel halus dalam kristal (*precipitation hardening*).

#### 2.1.4.1 Penguatan Aluminium Karena Pemaduan (*Solid Solution Hardening*)

Logam aluminium murni mempunyai kekuatan yang rendah, untuk menambah kekuatan maka perlu ditambahkan elemen-elemen padu kedalam logam aluminium tersebut agar kekuatannya dapat ditingkatkan. Elemen-elemen padu tersebut dapat menambah efek rintangan terhadap pergeseran atom-atom dalam kristal. Apabila atom terlarut (*solute*) kira-kira sama besarnya dengan atom pelarut (*solvent*) yang dalam hal ini aluminium maka atom terlarut akan menduduki tempat kisi (*lattice point*) dalam kisi kristal atom aluminium. Hal ini disebut larutan padat substitusi (*substitutional solid solution*). Akan tetapi apabila atom terlarut jauh lebih kecil dari atom pelarut, maka atom terlarut menduduki posisi sisipan (*interstitial solid solution*) dalam kisi pelarut. Hasil penambahan unsur terlarut pada umumnya adalah meningkatkan tegangan luluh, karena atom terlarut memberikan tahanan yang lebih besar terhadap gerakan dislokasi dari pada terhadap penguncian statis.

#### 2.1.4.2 Penguatan Aluminium Akibat Batas Kristal (*Grain Boundary Hardening*)

Batas kristal atau batas butir dari struktur logam merupakan daerah pertemuan antara kristal, sehingga pada daerah tersebut susunan atom-atomnya menjadi tidak teratur (Adnyana, 1994). Akibatnya atom-atom pada batas kristal mempunyai mobilitas atau tingkat energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan atom-atom didalam kristalnya. Karena itu apabila terjadi deformasi plastis maka dislokasi pada umumnya terjadi dari batas kristal dan kemudian bergerak didalam dan berhenti pada batas kristal berikutnya. Hal ini berarti disamping sebagai tempat awal terjadinya dislokasi, batas kristal juga berlaku sebagai penghalang dislokasi. Jadi untuk logam yang mempunyai kristal tunggal, tidak memberikan halangan yang berarti terhadap pergerakan dislokasi, sehingga kekuatannya rendah. Karena itu agar aluminium mempunyai kekuatan yang lebih besar maka perlu dilakukan penambahan elemen-elemen lain yang memungkinkan terbentuknya kristal majemuk. Pada logam dengan kristal yang besar, jumlah batas kristal (batas butir) tidak sebanyak jika dibandingkan logam dengan kristal yang kecil (butirannya halus), yang berarti semakin banyak batas kristal (kristal

nya semakin halus) maka semakin besar tingkat rintangan yang terjadi terhadap gerakan dislokasi, yang berarti semakin kuat logam tersebut (Adnyana, 1994).

#### 2.1.4.3 Penguatan Aluminium Karena Efek Pengerjaan Dingin (*Strain Hardening*)

Untuk meningkatkan kekuatan lembaran aluminium, setelah proses pengerolan panas (*hot rolling*) lalu dilanjutkan dengan proses pengerolan dingin (*cold rolling*). Hasil pengerolan panas belum memberikan kekuatan yang tinggi terhadap pelat, tetapi setelah dilakukan pengerolan dingin maka lembaran/pelat tersebut akan mengalami peningkatan kekuatan (Adnyana, 1994). Efek pengerolan dingin ini sering disebut sebagai efek *strain hardening* atau efek pengerasan akibat regangan. Mekanisme penguatan ini terjadi karena peningkatan kerapatan dislokasi dalam kristal logam dimana dislokasi yang telah terbentuk tersebut dapat berfungsi sebagai penghalang terhadap gerakan dislokasi pada deformasi berikutnya. Pada pengerjaan dingin kondisi energi intern logam lebih tinggi dibandingkan dengan logam yang tidak terdeformasi. Walaupun struktur sel dislokasi hasil pengerjaan dingin stabil secara mekanis, namun secara termodinamis struktur sel ini tidak stabil. Oleh karena itu, dengan meningkatnya temperatur, maka keadaan pengerjaan dingin menjadi semakin tidak stabil. Akibatnya logam menjadi lunak dan kembali ke kondisi bebas regangan.

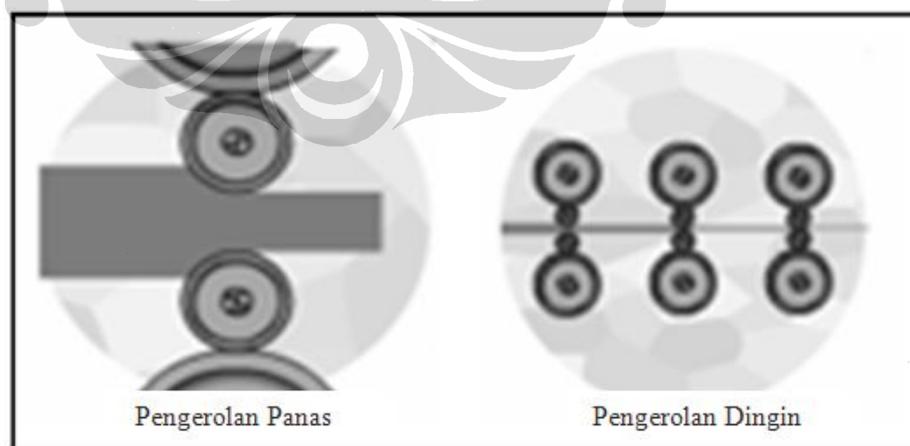
#### 2.1.4.4 Penguatan Aluminium Dengan Pembentukan Partikel Halus Dalam Kristal (*Precipitation Hardening*)

Dengan pengaturan komposisi kimia dan proses pengerjaan/perlakuan panas, paduan logam dapat memberikan struktur yang mengandung partikel-partikel halus didalam kristal. Pembentukan partikel halus tersebut dapat dicapai melalui perubahan tingkat kelarutan dari suatu unsur atau senyawa dari suatu paduan atau menambahkan partikel-partikel yang keras seperti oksida atau karbida kedalam logam (Adnyana, 1994). Cara ini menghasilkan *precipitation hardening* atau *age hardening* dan *dispersion hardening*. Pengerasan presipitasi atau endapan (*precipitation hardening*) dihasilkan dengan perlakuan pelarutan dan pencelupan suatu paduan. Agar terjadi pengerasan endapan, fasa kedua harus dapat dilarutkan pada temperatur tinggi, tetapi harus memperlihatkan kemampuan

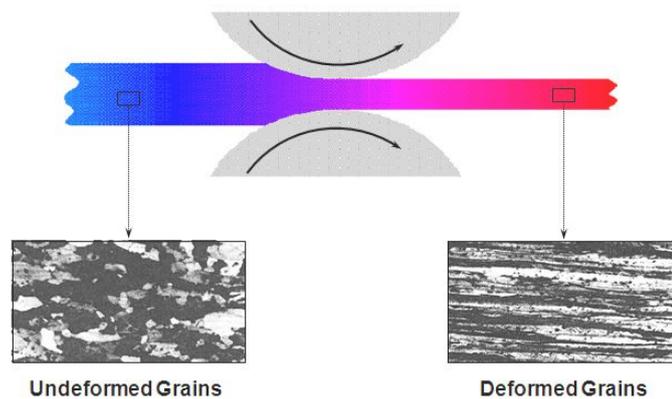
larut yang berkurang dengan turunnya temperatur. Sebaliknya, fasa kedua dalam sistem pengerasan dispersi memiliki kemampuan larut yang sangat kecil di dalam matriksnya.

#### 2.1.5 Proses Pengerolan Aluminium Untuk Bahan Baku Badan Kaleng

Lembaran aluminium untuk badan kaleng berasal dari penipisan balok aluminium (*slab*) yang berukuran sekitar 500 mm x 1600 mm x 4500 mm dengan cara pengerolan panas sampai dengan 2,3 mm. Selanjutnya diteruskan dengan pengerolan dingin sampai pada ketebalan yang diinginkan. Rasio pengerolan panas atau pengerolan dingin disesuaikan pada kekerasan yang ingin dicapai tergantung pada sifat-sifat yang diperlukan sesuai peruntukannya. Sebelum pengerolan panas, *slab* dipanaskan terlebih dahulu dalam suatu ruangan dengan temperatur 600° C selama 12 – 48 jam, tujuannya adalah untuk memodifikasi struktur mikro dan memudahkan dilakukan pengerolan. Setelah mencapai ketebalan yang diinginkan lalu dilapisi dengan pelumas pada kedua sisinya untuk menghindari oksidasi dan memudahkan proses pembentukan badan kaleng dengan proses *drawn wall ironing*. Adapun proses pengerolannya dapat dilihat pada Gambar 2.2 dan bentuk struktur mikro lembaran berubah setelah pengerolan dingin karena terdeformasi (gambar 2.3).



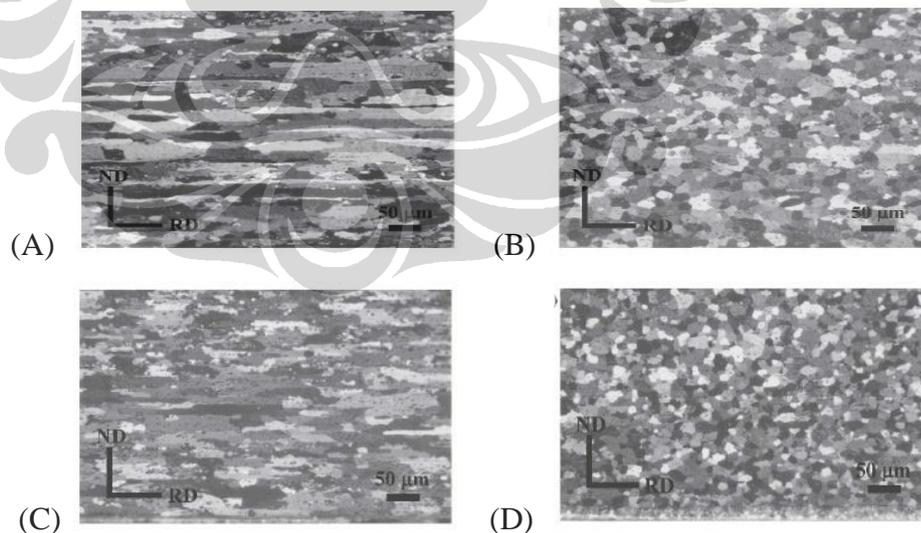
Gambar 2.2 Sketsa Proses Penipisan Aluminium (Sanders, 2001)



Gambar 2.3 Sketsa Perubahan Bentuk Batas Butir (*grains*) Setelah pengerolan Dingin (Alcoa, 2000)

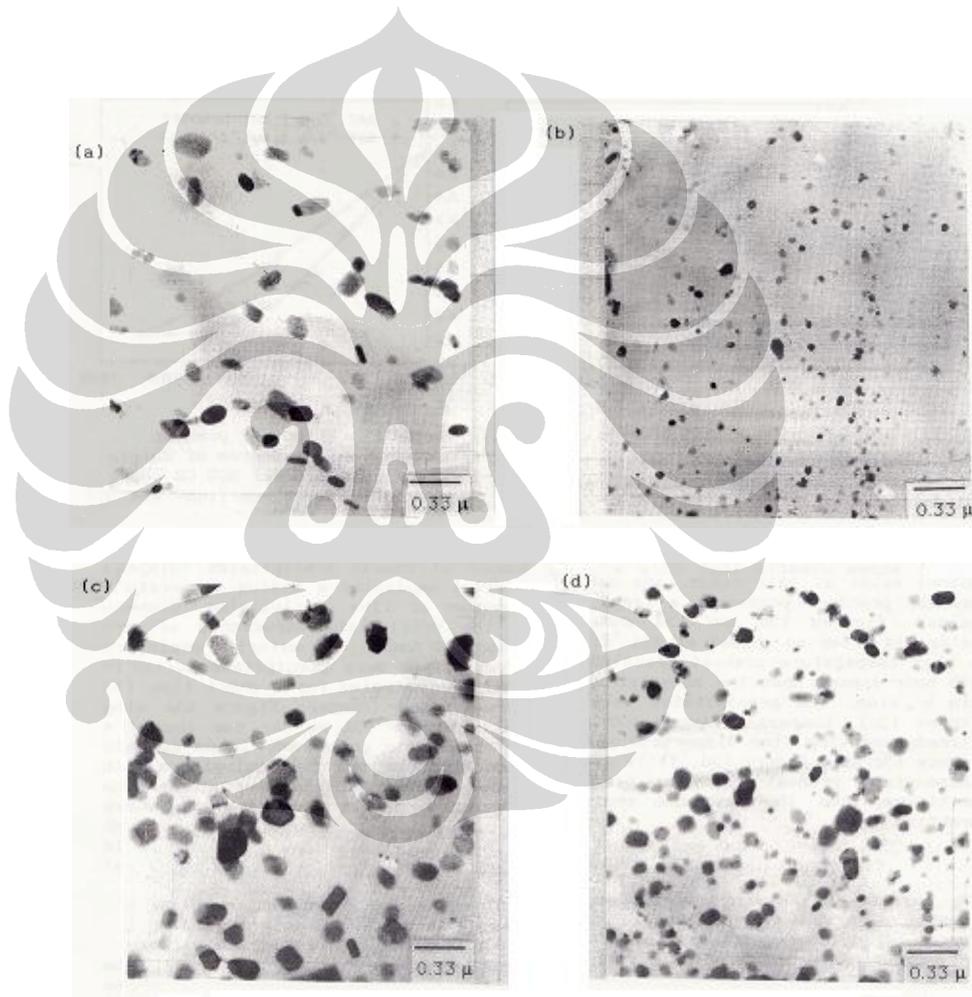
#### 2.1.6 Bentuk Struktur Mikro Paduan Al – Mn - Mg

Gambar 2.4 memperlihatkan struktur mikro paduan aluminium seri 3xxx (Al – Mn – Mg) setelah pengerolan dingin 70% dan 90% dengan perlakuan panas dan tanpa perlakuan panas yang dilanjutkan dengan aniling 450° C selama 1800 detik. Dimana terjadi deformasi yang berbeda, dengan perlakuan panas partikel-partikel menjadi lebih halus dibandingkan dengan tanpa perlakuan panas.



Gambar 2.4 Struktur Mikro Penampang Melintang Lembaran Paduan Al-Mn-Mg (a) Hasil Pengerolan Dingin 70% Dilanjutkan Aniling 450° C, 1800 detik, (b) *Hot Treatment* dan Pengerolan Dingin 70% Dilanjutkan Aniling 1800 detik, (c) Pengerolan Dingin 90% Dilanjutkan Aniling 450° C, (d) *Hot Treatment* dan Pengerolan Dingin 90% Dilanjutkan Aniling 450° C, 1800 detik (Jiantao, 2006)

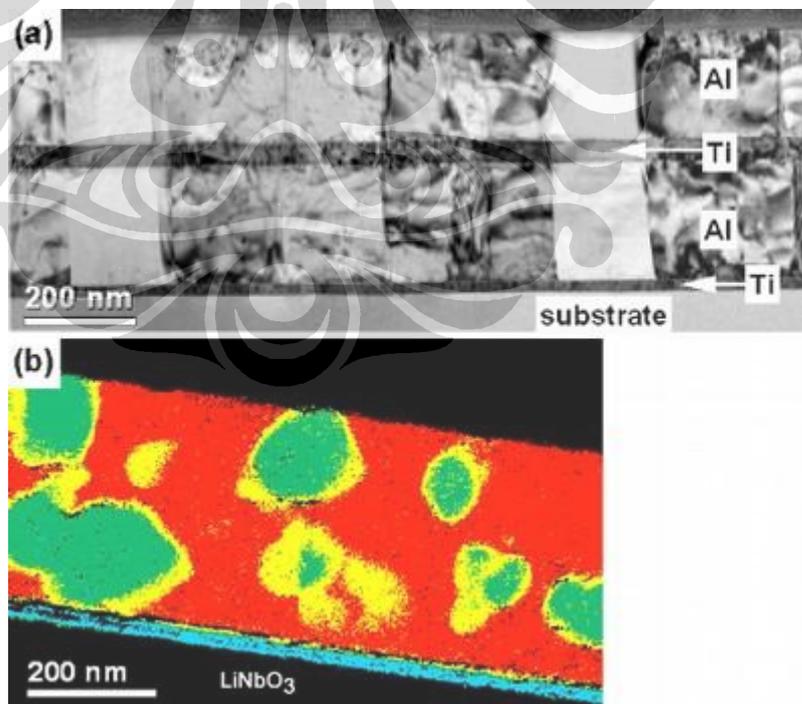
Gambar 2.5 memperlihatkan struktur presipitasi lembaran paduan aluminium AA3004 dengan penipisan 80%, dimana perlakuan panas berpengaruh terhadap perubahan presipitasi. Setelah dilakukan pemanasan terjadi perubahan presipitasi, baik dalam hal ukuran, jumlah maupun distribusinya. Dengan pemanasan pada temperatur  $607^{\circ}\text{C}$  selama 6 jam bentuk presipitasi lebih besar dengan jumlah yang relatif lebih sedikit dibandingkan dengan pemanasan  $440^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam. Hal ini berarti semakin tinggi temperatur dan semakin lama waktu pemanasan mengakibatkan ukuran presipitasi semakin besar.



Gambar 2.5 Struktur Presipitasi Lembaran Paduan Aluminium AA3004 Dengan Penipisan 80% : (a) dan (c) Sampel Setelah Pemanasan  $607^{\circ}\text{C}$  Selama 6 Jam, (b) dan (d) Sampel Setelah Pemanasan  $440^{\circ}\text{C}$  Selama 1 Jam (Li *et al.*, 1993)

### 2.1.7 Bentuk Struktur Mikro Paduan Al – Ti

Penelitian tentang pengaruh perlakuan panas (*heat treatment*) pada Al – Ti telah dilakukan oleh M. Hofmann, T. Gemming, S. Menzel, K. Wetzig dengan menggunakan *transmission electron microscope (TEM)*, dimana tidak ditemukan reaksi antara aluminium dan titanium sebelum dilakukan pemanasan (Gambar 2.6). Akan tetapi setelah pemanasan  $450^{\circ}\text{C}$  selama 5 jam ditemukan terjadinya logam titanium larut secara sempurna pada aluminium. Dengan larutnya titanium tersebut terjadi transformasi struktur mikro dari butiran-butiran (*grains*) yang berbentuk persegi (*rectangular*) menjadi bulat (*globular*) dari fasa intermetalik (*intermetallic phase*)  $\text{Al}_3\text{Ti}$  ke dalam matrik aluminium. Dimana dapat dilihat pada sekeliling batas butir  $\text{Al}_3\text{Ti}$  yang berwarna hijau terdapat warna kuning yang mengindikasikan lebih tingginya kandungan aluminium dan melahirkan batas-batas butir. Dapat dilihat pula bahwa dengan terbentuknya fasa intermetalik  $\text{Al}_3\text{Ti}$  langsung dari deposit lapisan aluminium di atas dan titanium di bawahnya (Zeren dan Karakulak, 2009).



Gambar 2.6 Hasil Analisis TEM Terhadap Paduan Al-Ti (Zeren dan Karakulak, 2009)

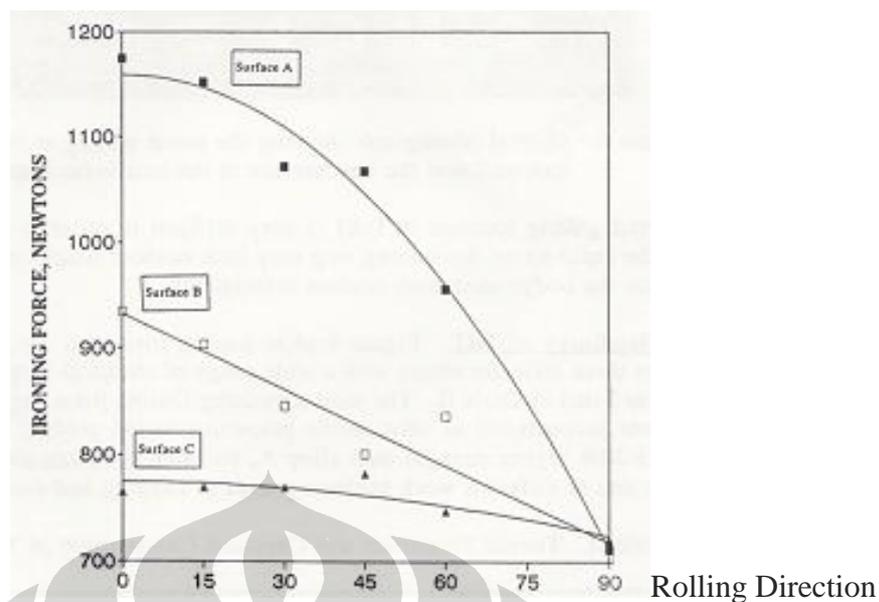
### 2.1.8 Bentuk Permukaan Lembaran Paduan Aluminium AA3104

Untuk memperbaiki pelumasan pada permukaan aluminium, bentuk struktur mikro yang diinginkan bisa dicapai dengan pengerolan akhir menggunakan bentuk permukaan yang sesuai, misalnya permukaan yang berbentuk titik-titik (*stochastic surfaces*), atau permukaan rata (*mill finish surfaces*). Ciri khas bentuk permukaan lembaran aluminium untuk badan kaleng dengan proses *drawn wall ironing* ditunjukkan pada Gambar 2.7, yaitu berbentuk *mill finish* yang membentuk alur mengikuti arah pengerolan (Sun, 1993).

Gambar 2.8 memperlihatkan pengaruh kekasaran permukaan lembaran aluminium terhadap tenaga yang dibutuhkan untuk proses *drawn wall ironing*. Dimana, semakin tinggi tingkat kekasaran permukaan lembaran aluminium dibutuhkan tenaga yang lebih tinggi (Sun, 1993). Jadi bentuk permukaan lembaran harus dikembangkan sehalus mungkin agar tenaga yang dibutuhkan adalah minimum, sehingga tingkat keausan *tooling* bisa dikurangi dan pada akhirnya akan memperbaiki tingkat kegagalan dalam proses.



Gambar 2.7 Ciri Khas Permukaan Lembaran Aluminium Untuk Badan Kaleng (Sun, 1993)



Gambar 2.8 Tenaga Yang Dibutuhkan Pada Proses *Drawn Wall Ironing* Terhadap Kekasaran Permukaan Yang Berbeda, Permukaan a = 3,5  $\mu\text{m}$ , b = 2,5  $\mu\text{m}$  dan c = 1,5  $\mu\text{m}$  (Sun, 1993)

#### 2.1.9 Paduan Aluminium Untuk Badan Kaleng Minuman Dengan Proses *Drawn Wall Ironing*

Paduan Aluminium yang biasa digunakan untuk badan kaleng minuman adalah paduan aluminium AA3104 dengan kandungan unsur seperti yang tertera pada Tabel 2.5. Adapun material yang digunakan dalam penelitian ini adalah berdasarkan paduan aluminium AA3104 dengan penambahan titanium yang bervariasi. Karakteristik unsur-unsur yang dipadukan untuk bahan baku badan kaleng minuman dapat dilihat pada Tabel 2.6. Titanium bersifat membatasi pertumbuhan dari unsur-unsur terlarut pada aluminium dan pembentukan butir baru (Mark dan David, 1999). Dengan demikian, titanium memiliki efek penghalusan butir pada paduan aluminium (Kashyap dan Chandrashekar, 2001).

Gambar 2.9 memperlihatkan diagram fasa Al-Si, Al-Cu, Al-Fe, Al-Mn, Al-Mg, dan Al-Ti. Dimana apabila diperhatikan bahwa untuk komposisi paduan aluminium seperti yang tertera pada Tabel 2.2 setelah ditambahkan titanium dibawah 1 % (dalam % berat), maka temperatur yang dibutuhkan untuk mencair secara sempurna adalah 818°C. Temperatur tertinggi untuk mencair sempurna adalah pada paduan Al-Ti, hal ini sesuai dengan titik lelehnya seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.3. Jadi dengan ditambahkan titanium pada paduan

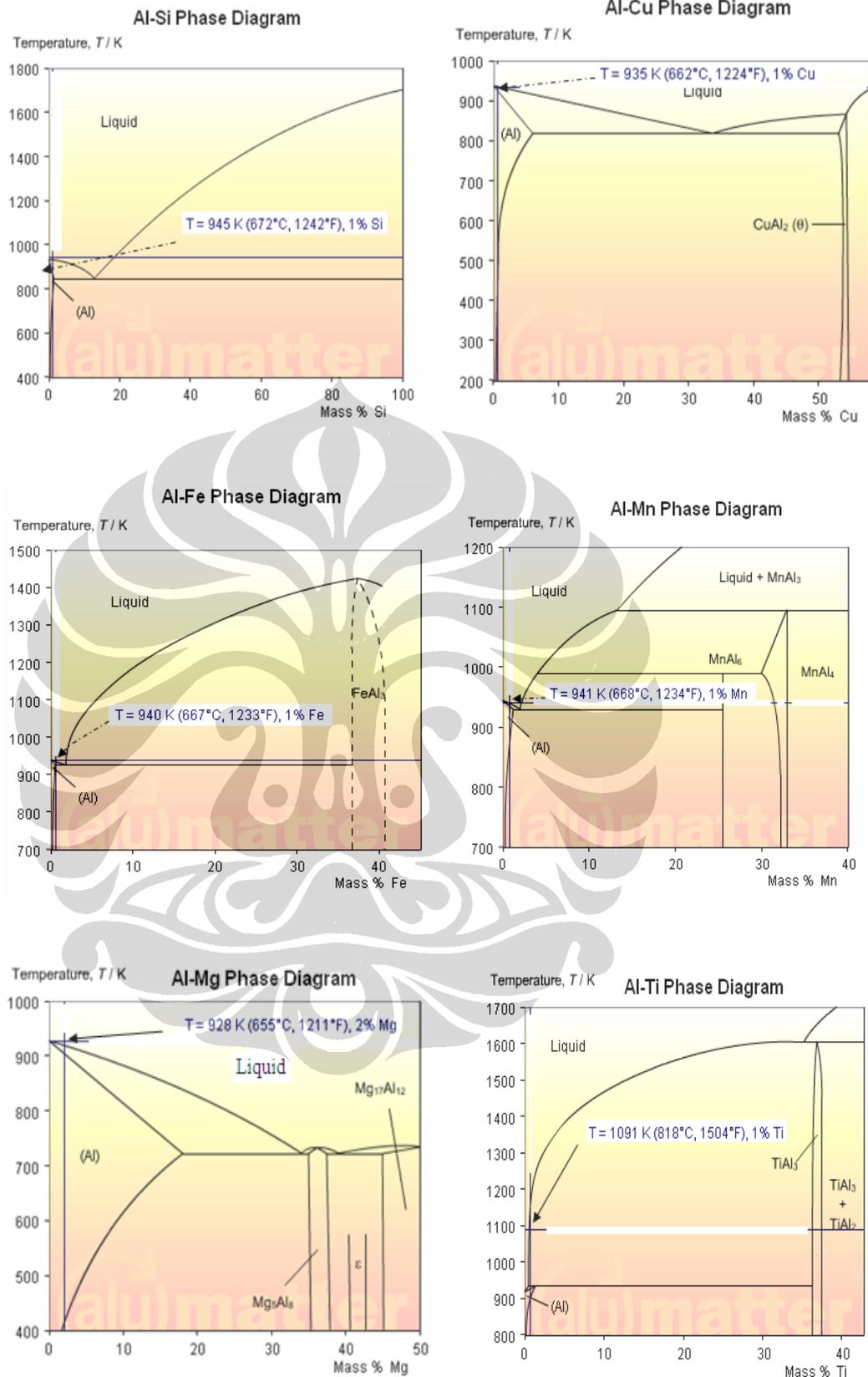
aluminium membutuhkan lebih banyak energi untuk proses peleburannya, akan tetapi dalam penelitian ini diabaikan.

Tabel 2.5 Standar Kandungan Komposisi Unsur-Unsur Paduan Aluminium AA3104 (Alcoa, 2007)

Unsur	AA3104
Si	0,00 – 0,60
Cu	0,05 – 0,25
Fe	0,00 – 0,80
Mn	0,80 – 1,40
Mg	0,80 – 1,30
Cr	0,000 – 0,06
Zn	0,00 – 0,25
Al	Sisanya

Tabel 2.6 Karakteristik Unsur-Unsur Yang Dipadukan Dalam Paduan Aluminium Sebagai Bahan Baku Badan Kaleng Minuman (Callister, 1997)

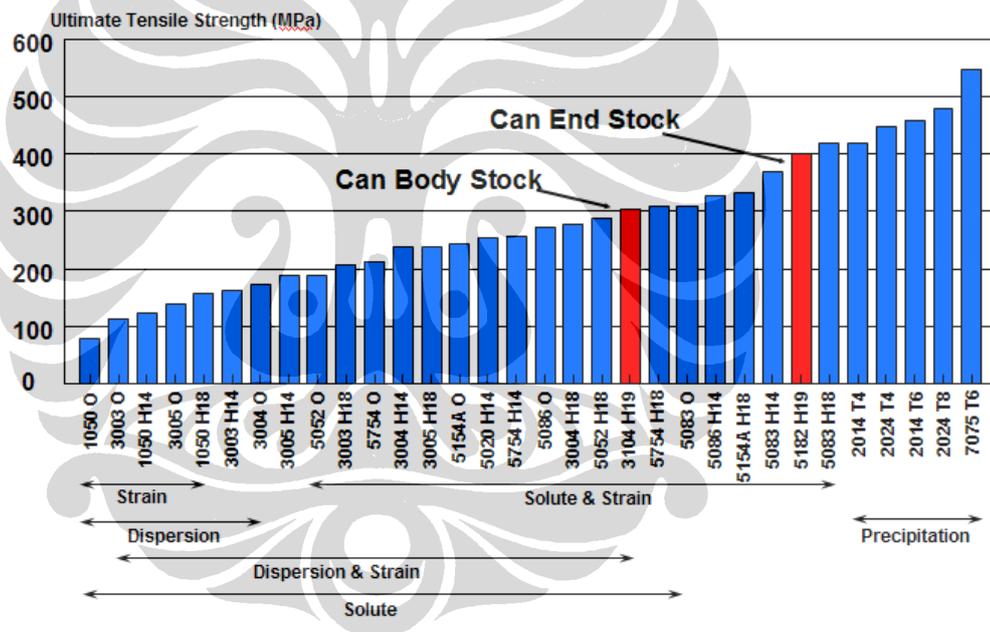
Unsur	No. Atom	Berat Atom	Densiti, 20°C (g/cm <sup>3</sup> )	Struktur Kristal, 20°C	Jari – Jari Atom (nm)	Titik Leleh (°C)
Al	13	26.98	2.71	FCC	0.143	660.4
Si	14	28.09	2.33	Komplek Kubus	0.118	1410
Fe	26	55.85	7.87	BCC	0.124	1538
Cu	29	63.55	8.94	FCC	0.128	1084
Mn	25	54.94	7.44	Kubus	0.112	1244
Mg	12	24.31	1.74	HCP	0.160	649
Zn	30	65.39	7.13	HCP	0.133	420
Ti	22	47.88	4.51	HCP	0.145	1668



Gambar 2.9 Diagram Fasa Al-Si, Al-Cu, Al-Fe, Al-Mn, Al-Mg, dan Al-Ti (Aluminum Matter, 2009)

### 2.1.10 Pengerasan Paduan Aluminium AA3104

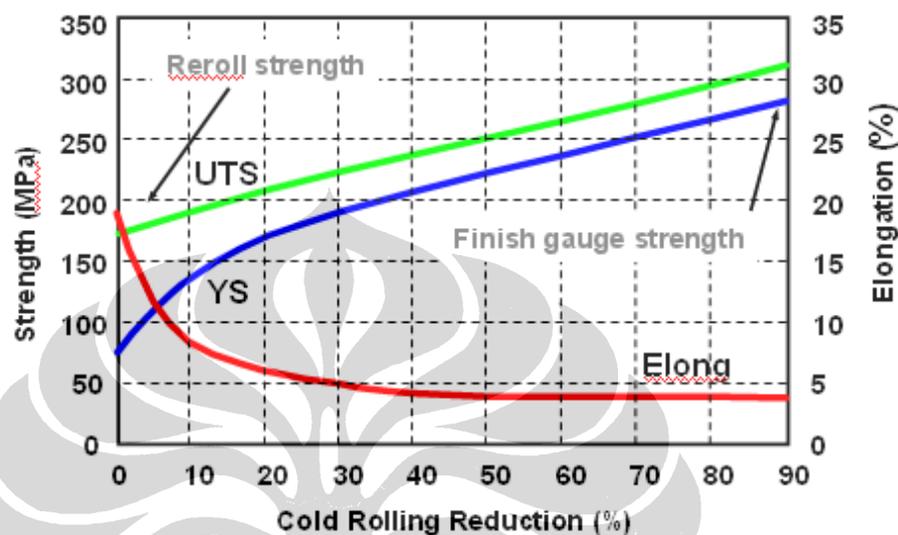
Berdasarkan Gambar 2.10 pengerasan paduan aluminium terjadi dengan beberapa cara, yaitu: untuk mencapai kekuatan tarik sampai dengan 150 MPa bisa dilakukan dengan pengerasan pengerolan dingin (*strain hardening*), sampai 300 MPa dengan pengerolan dingin dan dispersi, sampai 400 MPa dengan penambahan material lain dan pengerolan dingin, dan untuk diatas 400 MPa dilakukan dengan presipitasi. Dalam hal bahan baku aluminium untuk badan kemasan kaleng paduan aluminium AA3104 dengan kekuatan tarik yang diinginkan diatas 300 MPa, maka di sini dilakukan dengan cara pencampuran unsur-unsur lain dan pengerolan dingin (*solute and strain hardening*).



Gambar 2.10 Grafik Kombinasi Mekanisme Pengerasan Paduan Aluminium (Alcan, 2004)

Lembaran aluminium untuk badan kaleng dengan proses *deep drawing* yang dilanjutkan dengan *wall ironing* diperlukan material yang mempunyai sifat mampu bentuk yang baik. Selain itu diperlukan pula material yang memiliki nilai anisotropi mendekati satu untuk menghindari terjadinya pengupingan (*earing*) yang berlebihan. Lembaran aluminium dengan mampu bentuk yang kecil akan mengakibatkan tingginya tingkat kegagalan proses, dan material yang memiliki

pengupingan yang tinggi akan menyebabkan tidak meratanya ketinggian kaleng sehingga tidak tercapainya ketinggian kaleng setelah dipotong pada bagian atasnya.



Gambar 2.11 Grafik Pengaruh Persentase Pengerolan Dingin Terhadap Kekuatan dan Perpanjangan Paduan Aluminium (Alcan, 2004)

Gambar 2.11 memperlihatkan hubungan antara besarnya persentase penipisan selama proses pengerolan dingin terhadap kekuatan (*strength*) yang dapat diukur dengan parameter kekuatan tarik (*Ultimate Tensile Strength – UTS*) dan kekuatan luluh (*Yield Strength – YS*) serta regangan (*elongation*). Semakin besar persentase penipisan pada pengerolan dingin maka semakin besar pula kenaikan kekuatan tarik dan kekuatan luluh, akan tetapi sifat perpanjangannya semakin menurun. Selama pengerolan dingin temperatur bisa mencapai  $180^{\circ}\text{C}$ . Walaupun demikian, proses ini disebut sebagai pengerolan dingin, karena temperatur tersebut masih dibawah suhu rekristalisasi. Suhu rekristalisasi aluminium adalah  $350^{\circ}\text{C}$  (Vlack, 1995).

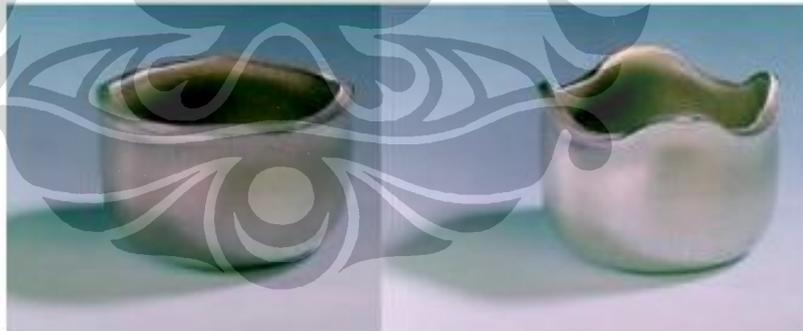
Besarnya penipisan paduan aluminium untuk bahan baku badan kemasan kaleng (*CBS – Can Body Stock*) adalah sekitar 88% sampai mendapatkan ketebalan yang diinginkan, yaitu dari 2,30 mm menjadi 0,270 mm.

Gambar 2.12 menunjukkan urutan proses pembentukan badan kaleng dengan proses *drawn wall ironing*, dimana diperlukan kekerasan dan keuletan

material pada proses tersebut (Marshall, 2002). Gambar 2.13 menunjukkan bentuk cup dengan *earing* nya, dimana diperlukan material dengan nilai anisotropi mendekati 1 agar tidak terjadi *earing* yang berlebihan. *Earing* yang besar akan mengakibatkan terjadinya perbedaan tinggi yang besar pula pada sekeliling badan kaleng setelah dibentuk dengan proses *drawn wall ironing* (Marshall, 2002).



Gambar 2.12 Urutan Proses Pembentukan Kaleng (Marshall, 2002)



Gambar 2.13 Hubungan Anisotropi dan *Earing* (Marshall, 2002)

## 2.2 Sifat-sifat Mekanik Logam Lembaran

### 2.2.1 Mekanisme Deformasi Logam

Perubahan bentuk dapat dipisahkan menjadi dua macam yaitu, deformasi elastis dan deformasi plastis (Adnyana, 1994). Proses pembentukan logam melibatkan deformasi plastis (permanen) yang tersisa pada logam setelah gaya

yang menyebabkannya dihilangkan (Dieter, 1988). Deformasi elastis adalah perubahan bentuk yang terjadi bila ada gaya yang bekerja, serta akan hilang bila bebannya diiadakan. Apabila suatu logam dibebani sampai ke arah plastis, maka perubahan bentuk yang saat itu terjadi adalah gabungan antara deformasi plastis dan deformasi elastis, gabungan ini disebut deformasi total. Apabila beban diiadakan, maka deformasi elastis akan hilang pula, sehingga perubahan bentuk yang ada hanya deformasi plastis saja.

### 2.2.2 Mekanisme Deformasi Secara Mikro

Secara mikro, perubahan bentuk elastis maupun plastis disebabkan oleh bergesernya kedudukan atom-atom dari tempatnya semula. Pada deformasi elastis adanya tegangan akan menggeser atom-atom ketempat kedudukannya yang baru, dan atom-atom tersebut akan kembali ketempatnya semula apabila tegangan diiadakan. Jarak pergeserannya relatif kecil, karena itulah deformasi elastis biasanya juga relatif kecil, yaitu kurang dari 0,5% (Adnyana, 1994).

Pada deformasi plastis, atom-atom yang bergeser menempati kedudukan baru yang stabil. Jadi meskipun beban dihilangkan, atom-atom tersebut tetap berada pada kedudukannya yang baru. Secara mikroskopis hal ini berarti pula bahwa perubahan bentuknya adalah permanen. Tempat kedudukan baru yang stabil tersebut disebabkan karena memang tempat tersebut adalah posisi atom pada sel satuannya.

### 2.2.3 Mekanisme *Slip*

Atom-atom logam tersusun secara teratur mengikuti pola geometris yang tertentu. Pola geometris yang terkecil dan yang sama sekali berulang (*repetitive*) inilah yang disebut sel satuan. Apabila ada tegangan geser yang cukup besar, maka sederetan atom akan bergeser dan berpindah serta menempati posisinya yang baru. Pergeseran atom berarti ada pemutusan ikatan atom, dari sini dapat diperkirakan bahwa bidang yang mudah bergeser adalah yang jaraknya satu sama lain berjauhan. Bidang-bidang atom yang jaraknya berjauhan adalah yang kerapatan atomnya tinggi. Jadi bidang *slip* adalah bidang yang rapat atomnya tinggi. Pada sel satuan fcc seperti halnya aluminium, bidang yang paling rapat

susunan atomnya adalah bidang {111}, dan untuk sel satuan bcc bidang yang paling padat adalah {110}, meskipun bidang ini bukanlah susunan rapat (*closed packed*). Pergeseran atom-atom ini mempunyai arah, yang selanjutnya disebut sebagai arah *slip*. Arah *slip* yang mudah terjadi adalah arah yang padat.

#### 2.2.4 Hubungan Tegangan dan Regangan

Untuk mengetahui batas tegangan maksimum yang boleh diberikan pada proses deformasi, perlu dilakukan proses pengujian tarik. Dari hasil uji tarik maka akan diperoleh kurva tegangan-regangan (*engineering stress-strain curve*) (Dieter, 1988). Parameter-parameter yang diperoleh dari kurva tegangan-regangan, antara lain adalah kekuatan luluh (*yield strength*), kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) dan regangan (*elongation*).

#### 2.2.5 Anisotropi Pada Logam Lembaran

Pada umumnya, lembaran logam bersifat anisotropi, artinya memiliki sifat yang berbeda pada arah yang berbeda (Gambar 2.14). Penyebab sifat anisotropi ini adalah terbentuknya orientasi pilihan (*preferred orientation / crystallographic texture*) akibat suatu proses deformasi. Pada saat pengerolan, kristal logam polikristalin cenderung berputar kearah tertentu. Sifat ini terlihat pada bervariasinya nilai modulus elastis, tegangan luluh, regangan dan berbagai karakteristik lain terhadap arah pengujian (Medraj, 2004).

Lembaran logam memiliki sifat anisotropi pada aliran plastis dari berbagai arah. Sifat ini dapat dibedakan menjadi anisotropi normal (Gambar 2.15) dan anisotropi planar (Gambar 2.16). Anisotropi normal (R) oleh Lankford (Ghosh dkk, 1983) didefinisikan sebagai perbandingan regangan sebenarnya pada arah lebar dan tebal pada daerah regangan merata selama pengujian tarik uniaksial. Sedangkan anisotropi planar ( $\Delta R$ ) adalah perbedaan sifat anisotropi normal terhadap arah orientasi pada bidang lembaran. Gambar 2.17 dan 2.18 menunjukkan pengaruh anisotropi planar terhadap pengupingan yang terjadi pada proses penarikan dalam (*deep drawing*).

$$R = \frac{\varepsilon_w}{\varepsilon_t} = \frac{\ln \frac{w_o}{w_i}}{\ln \frac{t_o}{t_i}} \quad (\text{Persamaan 2.1})$$

dimana  $w_o$ ,  $t_o$ , dan  $l_o$  adalah lebar, tebal, dan panjang sampel mula-mula,  
 $w_t$ ,  $t_t$ , dan  $l_t$  adalah lebar, tebal, dan panjang akhir.

Karena pengukuran pada arah tebal kurang akurat yang dapat disebabkan oleh kekasaran permukaan, maka dengan asumsi volume konstan, nilai  $R$  dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini (Dieter, 1988), dengan asumsi volume konstan:

$$R = \frac{\ln \frac{w_o}{w_t}}{\ln \frac{w_t l_t}{w_o l_o}} \quad (\text{Persamaan 2.2})$$

Pengukuran nilai  $R$  dari suatu lembaran logam dilakukan pada arah  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  dari arah pengerolan. Nilai rata-ratanya :

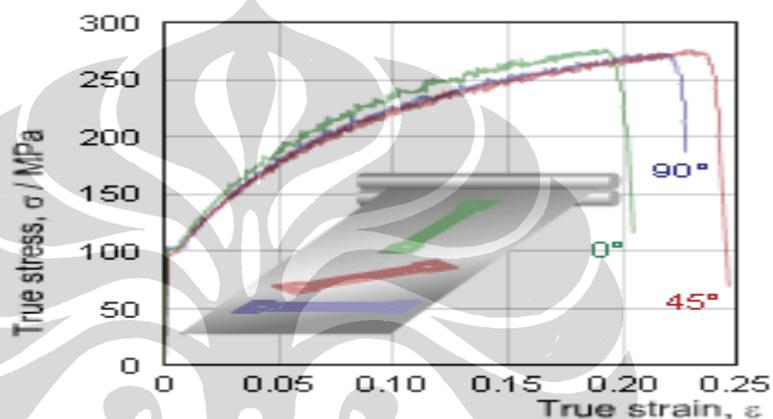
$$\bar{R} = \frac{R_o + 2 R_{45} + R_{90}}{4} \quad (\text{Persamaan 2.3})$$

Sedangkan koefisien anisotropi planar ( $\Delta R$ ) dihitung dengan rumus (Harris, 1983):

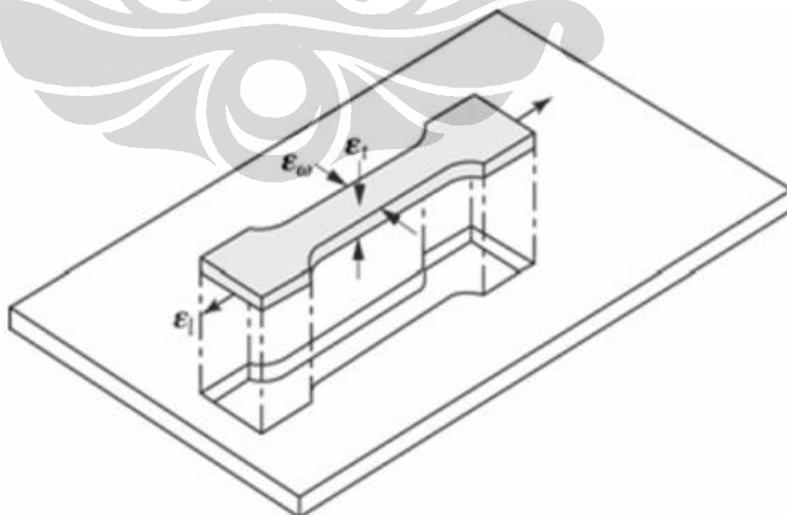
$$\Delta R = \frac{R_o - 2 R_{45} + R_{90}}{2} \quad (\text{Persamaan 2.4})$$

Nilai  $\bar{R}$  merupakan ukuran ketahanan bahan terhadap penipisan. Nilai  $\bar{R}$  berhubungan dengan kinerja penarikan dalam (*deep drawing*) lembaran karena nilai ini merefleksikan perbedaan kemampuan dinding tepi mangkuk (*cup*) menerima beban yang diperlukan untuk menekan lembaran (*blank*) selama proses penarikan dalam (*deep drawing*). Nilai  $\Delta R$  mempengaruhi terjadinya pengupingan (*earing*) dimana jika  $\Delta R > 0$  maka pengupingan terjadi pada arah  $0^\circ$  dan  $90^\circ$ ,

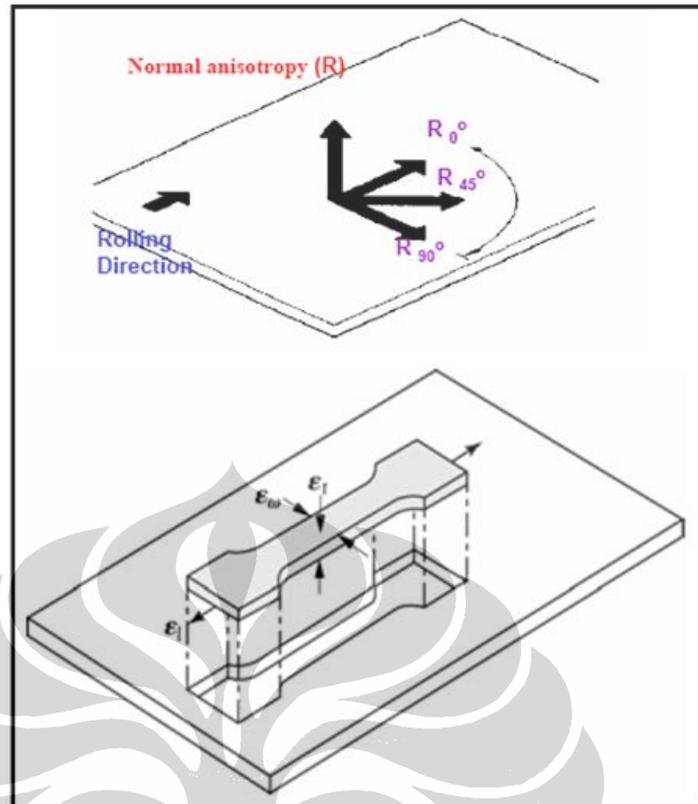
sedangkan jika  $\Delta R < 0$  pengupingan terjadi pada arah  $45^\circ$ . Untuk proses *deep drawing* dibutuhkan bahan yang memiliki harga  $\bar{R} > 1$  dan  $\Delta R$  mendekati 0. Nilai  $\bar{R}$  yang tinggi menunjukkan adanya pengerasan tekstur (*texture hardening*). Logam berstruktur fcc biasanya memiliki nilai R yang mendekati 1, sedangkan logam yang memiliki struktur heksagonal dapat memiliki harga R yang cukup tinggi (Medraj, 2004).



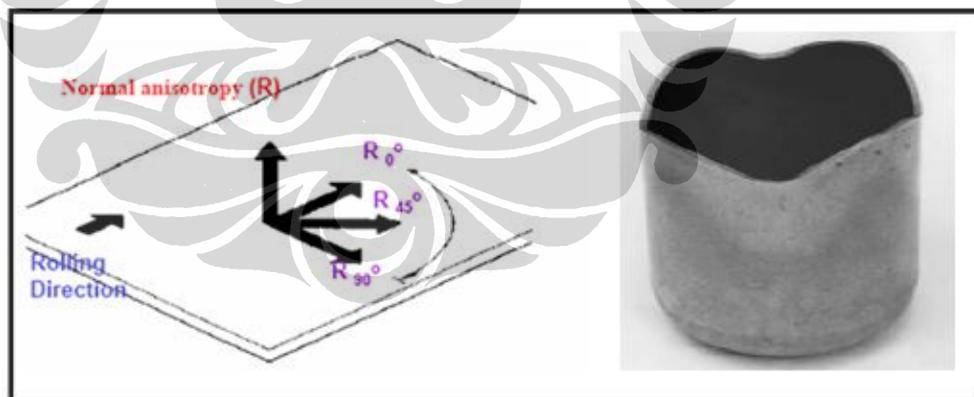
Gambar 2.14 Sifat Mekanik Yang Berbeda Pada Arah Yang Berbeda (Medraj, 2004)



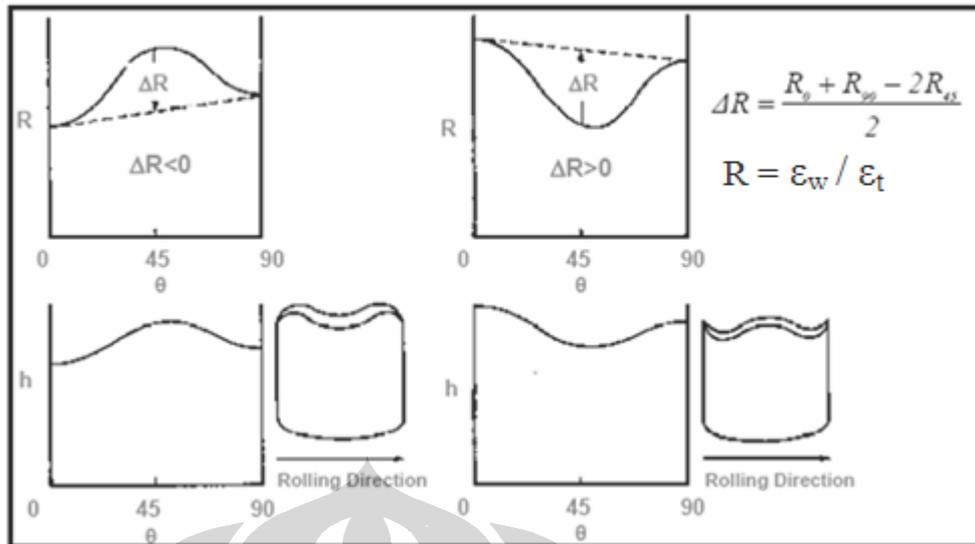
Gambar 2.15 Sketsa Anisotropi Normal (Medraj, 2004)



Gambar 2.16 Sketsa Anisotropi Normal Rata-Rata (Medraj, 2004)



Gambar 2.17 Skematik Anisotropi Planar dan Kecendrungan Pengupingan (Medraj, 2004)



Gambar 2.18 Pengaruh Anisotropi Planar Terhadap Pengupingan (Medraj, 2004)

## 2.2.6 Proses Pembentukan Logam Lembaran

Ada empat jenis proses pembentukan logam lembaran yaitu: *stretching*, *bending*, *deep drawing* dan *wall ironing* (Medraj, 2004).

### 2.2.6.1 Pembentukan Logam Lembaran Dengan *Stretching*

*Stretching* adalah proses pembentukan yang menggunakan gaya tarik utama sedemikian rupa sehingga bahan tertarik pada perkakas atau blok pembentuk. *Spring back* yang terjadi kecil karena deformasi yang terjadi relatif seragam. Pada proses ini, batas pembentukannya adalah terjadinya penyempitan pada lembaran.

### 2.2.6.2 Pembentukan Logam Lembaran Dengan *Bending*

*Bending* adalah proses pembentukan lembaran dengan cara ditekuk. Pada permukaan luar benda kerja akan mengalami tegangan tarik sedangkan permukaan dalam akan mengalami tegangan tekan, dan pada sumbu netralnya tidak mengalami regangan. Mampu bentuk material terhadap *bending* dapat dilihat dari perbandingan jari-jari penekukan terhadap tebal ( $R_b/t$ ). Semakin kecil jari-jari penekukan yang dapat dicapai oleh lembaran tanpa terjadi kegagalan, semakin baik mampu bentuk lembaran. Pada proses *bending* ini rawan terhadap *spring back*.

### 2.2.6.3 Pembentukan Logam Lembaran Dengan Penarikan Dalam (*Deep Drawing*)

*Deep Drawing* adalah proses pembentukan lembaran dengan cara menekan lembaran (*blank*) masuk ke dalam cetakan mengikuti gerakan penekan. Kemampuan bahan untuk diproses *deep drawing* dinyatakan dengan *limiting drawing ratio* ( $LDR = D_{\max}/d$ ), dimana  $D_{\max}$  adalah diameter *blank* maksimum yang dapat dibentuk tanpa gagal menjadi sebuah mangkok, dan  $d$  adalah diameter penekan (*punch*).

Gambar 2.19 memperlihatkan proses *deep drawing* yang dimulai dari pemotongan material menjadi *blank*, lalu dilanjutkan penekanan oleh *punch* sampai menghasilkan bentuk seperti mangkuk (*cup*). Selama penekanan, *blank* ditahan oleh *blank holder* agar tidak terjadi pengerutan (Medraj, 2004). Hasil pembentukan yang berupa mangkuk (*cup*) mempunyai ketebalan yang hampir sama dengan ketebalan lembaran awal. Pada proses ini, lembaran mengalami tiga jenis deformasi yang berbeda, tergantung posisinya. Bagian *blank* yang terletak di bawah penekan akan mengikuti bentuk penekan dan mengalami penipisan karena tegangan tarik biaksial akibat gerakan penekan. Bagian yang terletak di tepi *blank* akan mengalami penarikan arah radial ke arah mulut cetakan dan mengalami pengurangan diameter. Bagian ini mengalami tegangan tarik arah radial dan tegangan tekan pada arah keliling yang akan menyebabkan lembaran bertambah tebal dan mungkin membentuk kerutan (*wrinkling*). Tetapi saat lembaran melalui jari-jari cetakan, terjadi pelengkungan dan pelurusan kembali yang akan menyebabkan penipisan sebagai kompensasi peningkatan ketebalan tadi. Di antara kedua bagian tadi, yaitu dinding mangkuk tidak terjadi pelengkungan dan hanya mengalami tegangan tarik selama proses *deep drawing* (Medraj, 2004).

Secara umum langkah-langkah jalannya proses pembentukan *cup* adalah seperti berikut;

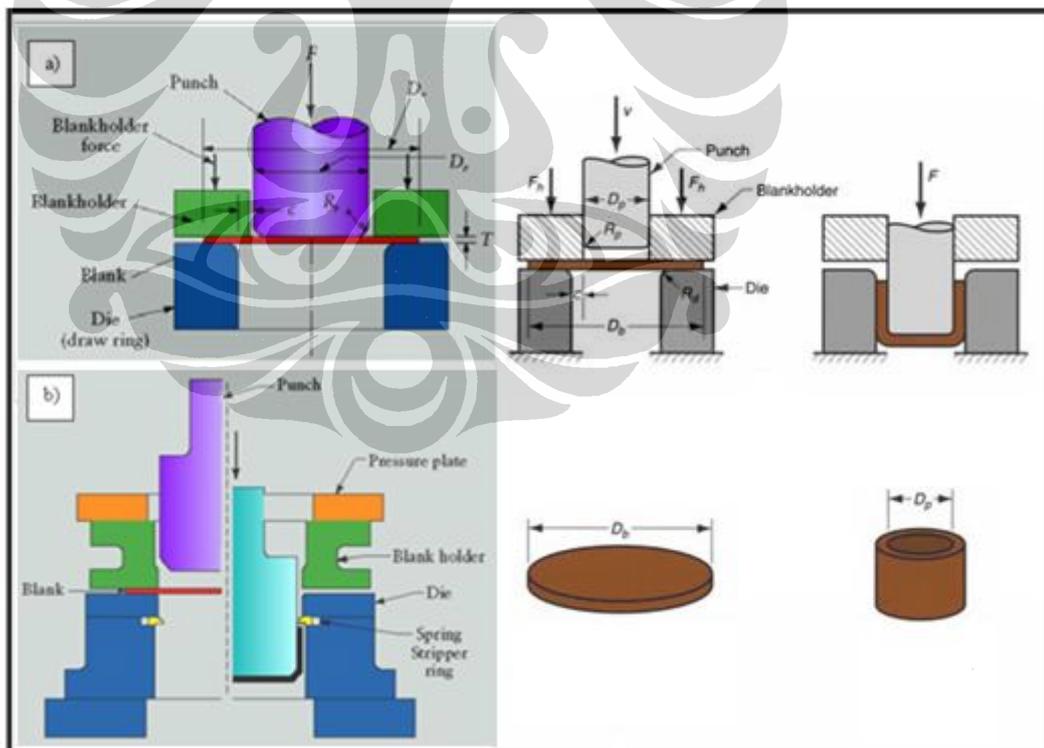
- Pemotongan lembaran aluminium menjadi *blank*.
- *Blank* ditahan oleh *blank holder*.
- Kontak awal antara *punch* dengan lembaran aluminium.
- Penekanan oleh *punch* mengikuti bentuk *die*.

- Pelurusan dinding *cup* yang menimbulkan gesekan dan tekanan pada material aluminium.

- Hasil akhir berupa *cup*.

Parameter-parameter yang mempengaruhi proses *deep drawing* diantaranya adalah (Medraj, 2004);

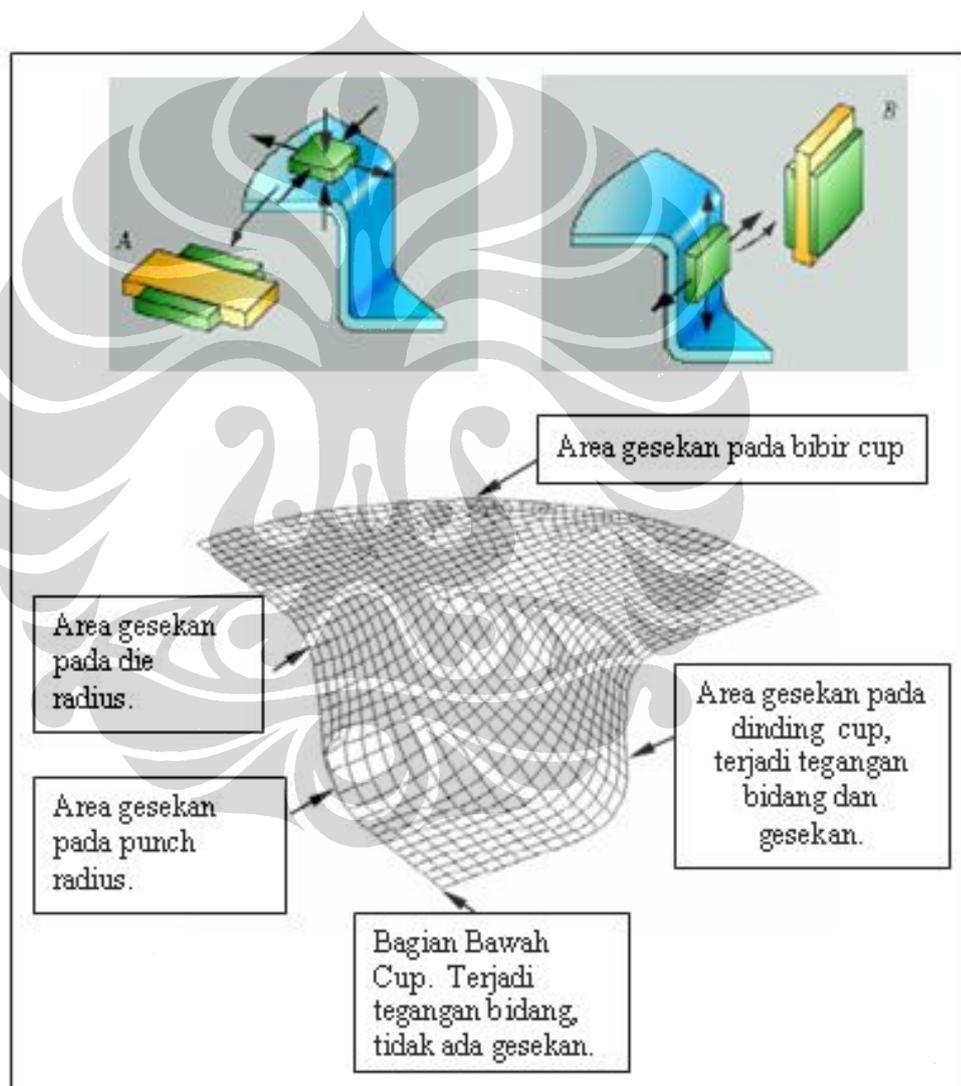
- Sifat mekanik lembaran aluminium.
- Rasio *blank diameter* terhadap *punch diameter*.
- Ketebalan lembaran.
- Jarak antara *punch* dan *die*, ketebalan material ditambah 10%.
- Radius sudut *punch* dan *die*.
- Besarnya tekanan *blank holder*.
- Lubrikasi yang berhubungan dengan gesekan.
- Kecepatan *punch*.



Gambar 2.19 Sketsa Proses *Deep Drawing* (Medraj, 2004)

Skema deformasi dapat dilihat pada Gambar 2.20, dimana terjadi gesekan pada bibir *cup*, *die radius*, dinding dan *punch radius*. Pada bagian bawah tidak terjadi gesekan, hanya terjadi tegangan bidang. Adapun kerusakan yang mungkin terjadi pada waktu proses pembentukan *cup* seperti tersebut diatas adalah disebabkan oleh *die radius* dan *punch radius* yang terlalu kecil.

Selama proses penarikan dalam (*deep drawing*) terjadi tegangan diseluruh dinding *cup* yang bisa mengakibatkan pengerutan pada bibir *cup*.



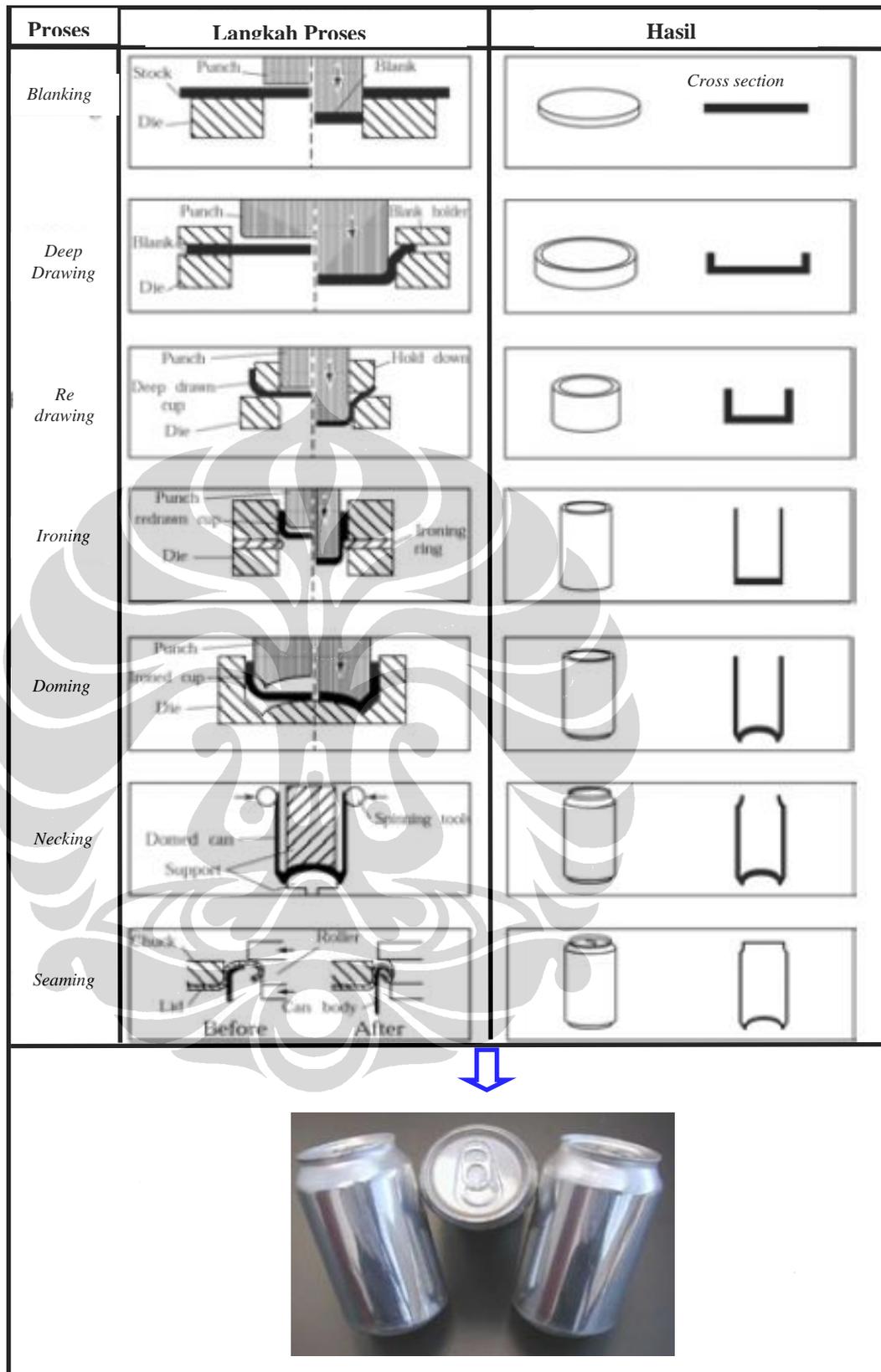
Gambar 2.20 Sketsa Deformasi Yang Terjadi Saat Proses *Deep Drawing* (Medraj, 2004)

#### 2.2.6.4 Pembentukan Logam Lembaran Dengan Penipisan Dinding (*Drawn Wall Ironing*)

Proses *drawn wall ironing* biasanya adalah lanjutan dari *deep drawing*. Pada proses *deep drawing* tidak terjadi penipisan material, hanya terjadi pengecilan diameter dan perpanjangan. Sedangkan pada proses *wall ironing*, selain perpanjangan juga terjadi penipisan pada bagian sekeliling dindingnya. Adapun terjadinya penipisan tersebut diatur oleh jarak antara *punch* dengan *ring*. Untuk menghindari *stress* yang berlebihan agar tidak terjadi kegagalan proses, penipisan dilakukan secara bertahap dengan cara mengatur besarnya diameter *ring*.

Gambar 2.21 memperlihatkan langkah-langkah proses pembentukan kaleng minuman dengan proses *deep drawing* yang dilanjutkan dengan proses *wall ironing* yang disebut *drawn wall ironing (DWI)*. Prosesnya adalah meliputi; pemotongan lembaran menjadi *blank*, pembentukan *cup* dengan proses *deep* seperti yang telah dijelaskan diatas, dilanjutkan *redrawing*, dan *ironing* untuk menipiskan sekeliling dindingnya. Setelah itu dilanjutkan dengan pembentukan cekungan pada bagian bawah kaleng (*dome*). Sedangkan pembentukan leher dan bibir kaleng (*flange*) dilakukan pada proses di mesin lain (*necker-necker* dan *necker flanger*). Tujuan dari flange adalah untuk memudahkan proses penutupan di pelanggan setelah kaleng diisi dengan produk minuman (Medraj, 2004).

Proses penutupan adalah merupakan *assembling* antara badan kaleng dengan tutupnya memakai sistim tekukan ganda (*double seaming*). Oleh karena kaleng diisi dengan cairan minuman yang bertekanan (CO<sub>2</sub>), maka proses penutupan ini sangat penting sekali untuk menghindari kebocoran.



Gambar 2.21 Sketsa Langkah-Langkah Proses Pembentukan Kaleng Minuman Dari Aluminium (Medraj, 2004)

### 2.3 Limiting Drawing Ratio (LDR)

Seperti disebutkan diatas, bahwa dalam pembuatan kaleng minuman, proses pembentukan yang dilakukan adalah *deep drawing* dan dilanjutkan dengan *wall ironing*. Kemampuan suatu material untuk diproses *deep drawing* akan sangat tergantung dari nilai LDR-nya (Hosford dan Caddell, 1983). Parameter-parameter yang mempengaruhi nilai LDR dapat dilihat pada skema Gambar 2.22.

Adapun hal-hal yang perlu diperhatikan saat melakukan percobaan untuk memperoleh nilai LDR adalah sebagai berikut :

#### 1. Tekanan Penjepit (*Blank Holder Pressure*)

Besarnya tekanan yang dibutuhkan untuk menekan *blank* (*blank holder pressure*),  $P_b$  (Hosford dan Caddell, 1983) :

$$P_b = \frac{1}{400} \pi (D^2 - d^2) p^* \quad (\text{Persamaan 2.5})$$

$$P^* = 0,25 \left[ \left( \frac{D}{d} - 1 \right)^2 + \frac{0,5 d}{100 s} \right] \sigma_{UTS} \quad (\text{Persamaan 2.6})$$

dimana  $D$  adalah diameter *blank*,  $d$  diameter penekan (mm),  $s$  tebal lembaran (mm), dan  $\sigma_{UTS}$  kekuatan tarik maksimum ( $\text{kg/mm}^2$ ). Besarnya  $P_b$  harus cukup untuk menahan bahan yang akan masuk ke dalam cetakan tanpa terjadi kerutan (*wrinkling*) pada tepi atas *blank*, tetapi juga harus cukup kecil untuk memungkinkan bahan mengikuti gerakan penekan.

#### 2. Tekanan Penekan (*Punch Pressure*)

Besarnya tekanan yang perlu diberikan untuk proses *deep drawing* (*punch pressure*),  $P_z$  (Hosford dan Caddell, 1983):

$$P_z = n \pi d s \sigma_{UTS} = \pi d_1 t_0 \sigma_f \ln (d_0/d_1) \quad (\text{Persamaan 2.7})$$

dimana  $n$  adalah rasio tegangan pada saat drawing terhadap tegangan tarik bahan,  $d$  diameter penekan (mm),  $s$  tebal lembaran (mm), dan  $\sigma_{UTS}$  kekuatan tarik maksimum ( $\text{kg/mm}^2$ ).

### 3. Jari-jari Cetakan

Jari-jari cetakan yang kecil akan meningkatkan beban karena diperlukan gaya tambahan untuk penekukan. Juga akan terjadi penipisan berlebih di dekat dasar mangkuk. Kedua efek ini mempengaruhi LDR. Besar jari-jari cetakan yang dianjurkan adalah 8 – 10 kali tebal awal bahan ( $t_0$ ) (Hosford dan Caddell, 1983).

### 4. Jari-jari Penekan

Jari-jari penekan hanya akan berpengaruh kecil terhadap beban penarikan, tetapi jari-jari yang kecil menyebabkan penipisan yang berlebihan didasar mangkuk. Jari-jari yang sangat besar ( $\sim 50 t_0$ ) menyebabkan penekukan di daerah atas penekan. Jari-jari penekan yang dianjurkan adalah 6 – 8  $t_0$  (Hosford dan Caddell, 1983). Jika jarak antara *punch* dan *dies* terlalu kecil akan menyebabkan penipisan pada dinding mangkuk. Selain itu diperlukan beban yang lebih besar untuk mengatasi gesekan antara bahan dan cetakan. Pendekatan yang disederhanakan (Hosford dan Caddell, 1983):

$$w = t_0 \left( \frac{D}{d} \right)^{0,5} \quad (\text{Persamaan 2.8})$$

### 5. Tebal Lembaran

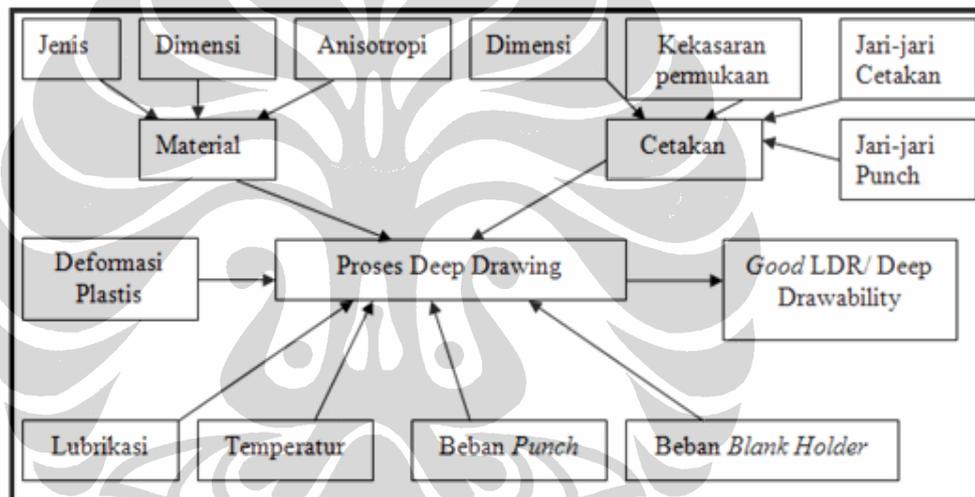
Dengan menurunnya tebal *blank*, maka pada beban penarikan yang sangat tinggi dapat menyebabkan kegagalan. LDR akan menurun dengan menurunnya perbandingan tebal *blank* terhadap diameter penekan. Efek ini dapat diperkecil dengan penambahan pelumasan (Hosford dan Caddell, 1983).

### 6. Pelumas

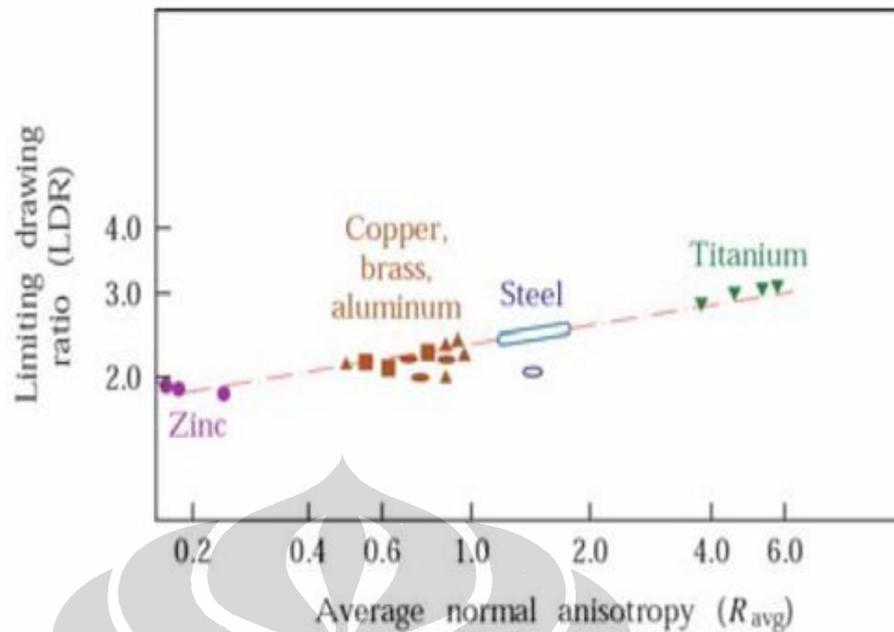
Gesekan pada blank holder dan di atas profil cetakan akan meningkatkan gaya penarikan. Dengan adanya pelumasan maka gesekan yang terjadi pada

permukaan kontak antara logam dan cetakan dapat dikurangi. Adanya gesekan meningkatkan gaya deformasi yang dibutuhkan, yang selanjutnya akan meningkatkan kemungkinan kegagalan. Gabungan antara pelumasan yang baik, cetakan yang halus, dan kehalusan permukaan penekan dapat meningkatkan LDR (Hosford dan Caddell, 1983).

Semakin tinggi nilai LDR maka akan memiliki *deep drawability* yang semakin baik. Pengaruh material terhadap nilai LDR, dapat dilihat pada Gambar 2.23. Semakin tinggi nilai anisotropi normal  $\bar{R}$  (*average strain ratio*), maka nilai LDR semakin tinggi.



Gambar 2.22 Parameter-Parameter Yang Mempengaruhi Proses *Deep Drawing* (Medraj, 2004)



Gambar 2.23 Hubungan Antara  $\bar{R}$  (*Average Strain Ratio*) dengan LDR (*Limiting Draw Ratio*) Untuk Beberapa Lembaran Logam (Dieter, 1988)

Kemampuan bahan untuk diproses *deep drawing* dinyatakan dengan *Limiting Drawing Ratio* (LDR) yaitu perbandingan antara diameter *blank* maksimum yang dapat dibentuk tanpa gagal menjadi sebuah mangkuk,  $D_{maks}$  dengan diameter penekan yang digunakan,  $d$ .

$$LDR = \frac{D_{maks}}{d} \quad (\text{Persamaan 2.9})$$

Nilai LDR sangat tergantung dari jenis bahannya. Bahan yang baik untuk diproses *deep drawing* harus memiliki kekuatan lebih terhadap ketahanan penipisan pada dinding mangkuk dari pada daerah *flange* (yaitu bahan dengan nilai  $\bar{R} > 1$ ).

Secara teoritis hubungan antara *Limiting Drawing Ratio* dan nilai anisotropi  $R$  dapat digunakan dengan asumsi :

- energi yang digunakan seluruhnya untuk mendeformasi *flange*
- material tidak mengalami penguatan ( $n = 0$ )
- kondisi aliran deformasi di *flange* adalah regangan bidang ( $\sigma_3 = 0$ ) dan
- sifat materialnya arah putaran simetris (anisotropi planar dan anisotropi normal).

## 2.4. Analisis Proses Secara Statistik (*Statistical Process Control - SPC*)

*Statistical process control* adalah suatu teknik statistik yang digunakan dalam industri manufaktur untuk mengukur proses produksi dalam rangka memudahkan pengambilan keputusan dan tindakan perbaikan. Pada analisis ini parameter yang diukur adalah kestabilan proses (*process stability*) dan kemampuan proses (*process capability*).

### 2.4.1 Analisis Kestabilan Proses (*Process Stability*)

Analisis kestabilan proses adalah suatu metode untuk mengukur sejauh mana suatu proses produksi dapat memenuhi toleransi yang telah ditentukan agar tidak terjadi penolakan oleh pelanggan. Analisis kestabilan proses dilakukan dengan cara membuat grafik rata-rata ( $X\text{-bar}$  chart) dan grafik perbedaan nilai tertinggi dan terendah ( $R\text{-chart}$ ) (Ishikawa, 1989). Untuk membuat grafik rata-rata perlu menghitung *control limit* (CL), *upper control limit* (UCL) dan *lower control limit* (LCL), dengan persamaan tersebut dibawah ini (Gasversz,1998).

$$CL = \bar{X} \quad (\text{Persamaan 2.10})$$

$$UCL = \bar{X} + A_2\bar{R} \quad (\text{Persamaan 2.11})$$

$$LCL = \bar{X} - A_2\bar{R} \quad (\text{Persamaan 2.12})$$

Untuk membuat grafik R perlu menghitung CL, UCL dan LCL, dengan persamaan tersebut dibawah ini, sedangkan nilai  $A_2$ ,  $D_3$  dan  $D_4$  dapat dilihat pada Lampiran 25.

$$CL = \bar{R} \quad (\text{Persamaan 2.13})$$

$$UCL = D_4\bar{R} \quad (\text{Persamaan 2.14})$$

$$LCL = D_3\bar{R} \quad (\text{Persamaan 2.15})$$

Suatu proses produksi dikatakan stabil apabila grafik  $X\text{-bar}$  dan grafik R mempunyai kriteria seperti berikut (Gasversz,1998):

- Tidak ada nilai yang berada diluar garis batas atas (*UCL – Upper Control Limit*).
- Tidak ada nilai yang berada diluar garis batas bawah (*LCL – Lower Control Limit*).
- Tidak ada kecendrungan keatas.
- Tidak ada kecendrungan kebawah.

#### 2.4.2 Analisis Kemampuan Proses (*Process Capability*)

Analisis kemampuan proses dilakukan dengan menghitung indeks Cpk (*process capability kane*) setelah terlebih dahulu diketahui bahwa proses tersebut adalah stabil. Secara umum kemampuan dan kestabilan proses dipengaruhi oleh 4M + 1E (*Material, Machine, Man, Method* dan *Environment*). Jadi setiap ada perubahan salah satu atau lebih dari 4M + 1E tersebut, perlu dilakukan analisis kemampuan dan kestabilan proses (Gasversz,1998). Dalam hal ini, penelitian diarahkan kepada material.

Indek Cpk dihitung dengan rumus  $(USL - LSL)/3S$  untuk ukuran yang mempunyai standar 2 sisi (*USL* dan *LSL*), dan  $(\bar{X} - LSL)/3S$  untuk standar 1 sisi (minimum saja) atau  $(USL - \bar{X})/3S$  untuk standar 1 sisi (maksimum saja). Suatu proses dikatakan mampu apabila indeks Cpk diatas 1,33.

Dimana : *USL* adalah batas spesifikasi bawah (*Upper Specification Limit*).

*LSL* adalah batas spesifikasi bawah (*Lower Specification Limit*).

*S* adalah standar deviasi (*deviation standard*).

Perubahan material baru bisa dilakukan apabila hasil analisis kestabilan dan kemampuan proses pada waktu produksi dengan menggunakan material tersebut menunjukkan nilai yang stabil (*stable*) dan mampu (*capable*). Apabila tidak, maka harus dilakukan perbaikan terhadap material tersebut dan dilakukan analisis ulang.

*Indeks performansi Kane* (Cpk), merefleksikan kedekatan nilai rata-rata dari proses terhadap salah satu batas spesifikasi atas (*USL*) atau batas spesifikasi bawah (*LSL*). Cpk dihitung dengan persamaan tersebut dibawah ini:

Cpk untuk spesifikasi 2 sisi adalah :

$$Cpk = \min (CPL , CPU). \quad (\text{Persamaan 2.16})$$

$$CPL = (\bar{X} - LSL) / 3 S \quad (\text{Persamaan 2.17})$$

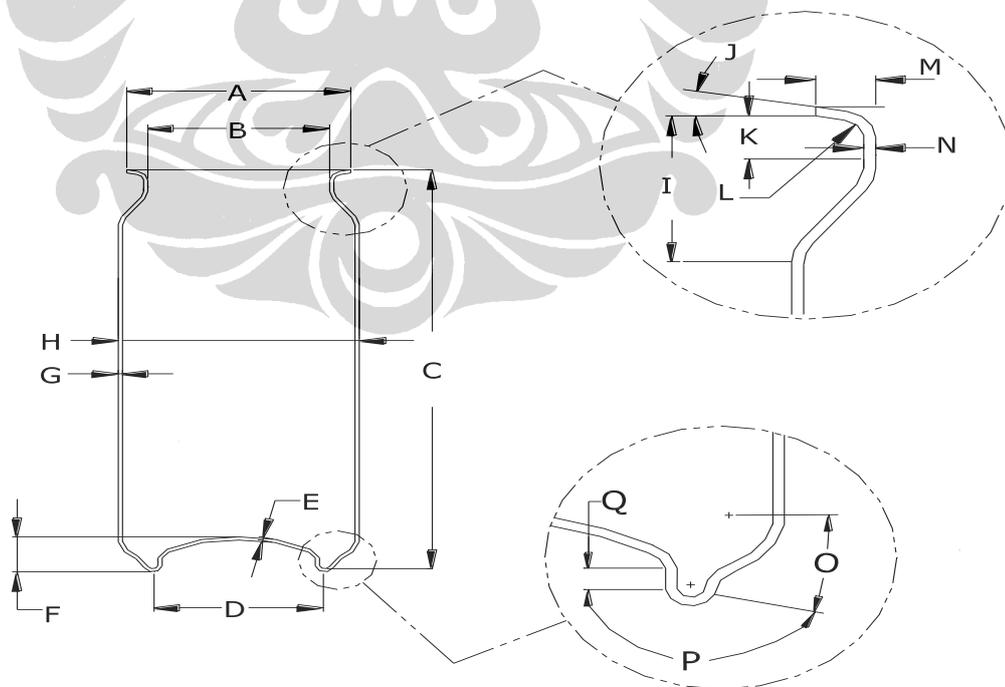
$$CPU = (USL - \bar{X}) / 3S \quad (\text{Persamaan 2.18})$$

Dimana: CPL adalah Indeks kapabilitas bawah, dan CPU adalah Indeks kapabilitas atas. Cpk untuk spesifikasi 1 sisi adalah CPL atau CPU.

Adapun interpretasi untuk Cpk adalah seperti berikut:

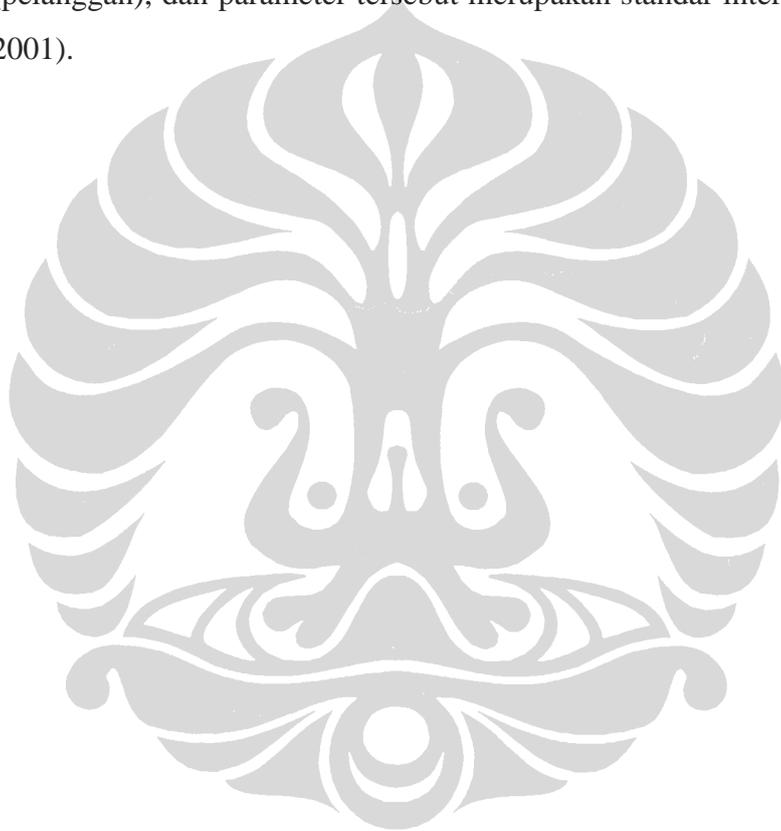
1.  $Cpk > 1,33$  : proses dianggap mampu.
2.  $1 < Cpk < 1,33$  : proses dianggap mampu akan tetapi perlu pengawasan Intensif.
3.  $Cpk < 1$  : proses dianggap tidak mampu.

Indeks Cpk, grafik  $\bar{X}$ -bar dan grafik R bisa dilakukan dengan menggunakan *software computer NWA Quality Analyst 5.1* yang dapat menghitung secara otomatis sesuai dengan rumus tersebut diatas. Gambar 2.24 memperlihatkan ukuran kemasan kaleng 330 ml, dari Gambar tersebut dimensi yang berhubungan secara langsung dengan material adalah, *Neck Plug Diameter (B)*, *Finished Can Height (C)*, *Metal Gauge (E)*, *Dome Depth (F)*, *Thin Wall Thickness (G)*, dan *Neck Thickness (N)* (Coca-Cola, 2001).



Gambar 2.24 Ukuran Kemasan Kaleng 330 ml (Coca-Cola, 2001)

Lampiran 15, memperlihatkan standar dimensi seluruh ukuran kemasan kaleng 330 ml yang harus dipenuhi, baik pada waktu melakukan analisis dalam rangka perubahan material ataupun produksi secara komersial. Disamping itu masih ada parameter lain yang berhubungan sangat erat dengan material yaitu, kekuatan dome menahan tekanan dari dalam (*dome reversal pressure*) dan kekuatan badan kaleng menahan gaya vertikal (*axial load*), Seluruh parameter tersebut merupakan standar yang sudah disepakati kedua belah pihak antara perusahaan pembuat kemasan kaleng (pemasok) dengan perusahaan minuman (pelanggan), dan parameter tersebut merupakan standar internasional (Coca-Cola, 2001).



## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Rangkaian Penelitian

Seperti telah disebutkan sebelumnya bahwa penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh titanium dalam paduan aluminium AA3104 terhadap mampu bentuk dan kekuatan kemasan kaleng dengan proses penarikan dalam dan penipisan pada bagian dinding (*drawn wall ironing*). Untuk mengetahuinya dilakukan serangkaian percobaan dengan tiga komposisi kandungan Ti yang berbeda (dalam % berat), yaitu Ti = 0,00%, Ti = 0,010% dan Ti = 0,013%. Pemilihan titanium tersebut didasari karena titanium adalah merupakan material yang keras dan bersifat memperhalus butiran (Morris, 1993). Dari ketiga komposisi paduan tersebut yang berbeda hanyalah kandungan titaniumnya, sedangkan komposisi elemen-elemen lainnya adalah sama. Adapun untuk mendapatkan sampel percobaan adalah dengan cara bekerja sama dengan perusahaan pengolahan aluminium (*rolling mill*) dan perusahaan yang memproduksi kemasan kaleng. Seluruh rangkaian proses diawasi mulai dari peleburan, penambahan bahan-bahan kimia, penuangan ke dalam cetakan (*casting*) sampai menjadi balok aluminium (*slab*). Selanjutnya pembersihan permukaan (*scalping*), pemanasan (*preheating*), pengerolan panas (*hot rolling*) sampai pada ketebalan 2,3 mm (*hot band*), pengerolan dingin (*cold rolling*) sampai pada ketebalan 0,270 mm. Dilanjutkan dengan pemotongan bagian sisi-sisinya (*slitting*) dan pengepakan (*packing*). Sampel yang sudah berbentuk lembaran lalu dianalisis komposisi kimianya menggunakan spark-OES (*optical emission spectroscopy*), kekasaran permukaan dengan Mitutoyo SJ-301, senyawa yang terbentuk dengan XRD, struktur mikro dengan SEM. Dilakukan pula pengujian tekstur dengan neutron scattering, pengujian tarik dengan servopulser shimadzu, LDR dengan mesin *cupper minster* 160-84 dan dilanjutkan dengan pengujian *drawn wall ironing* dengan mesin *body maker* ragsdel 175 SPM. Setelah menjadi bentuk badan kaleng dilakukan pengujian *dome growth* dan *dome reversal pressure* menggunakan *buckle tester* khunke MK 500, *axial load* dengan *axial load tester* khunke. Untuk mengetahui sifat material setelah perlakuan

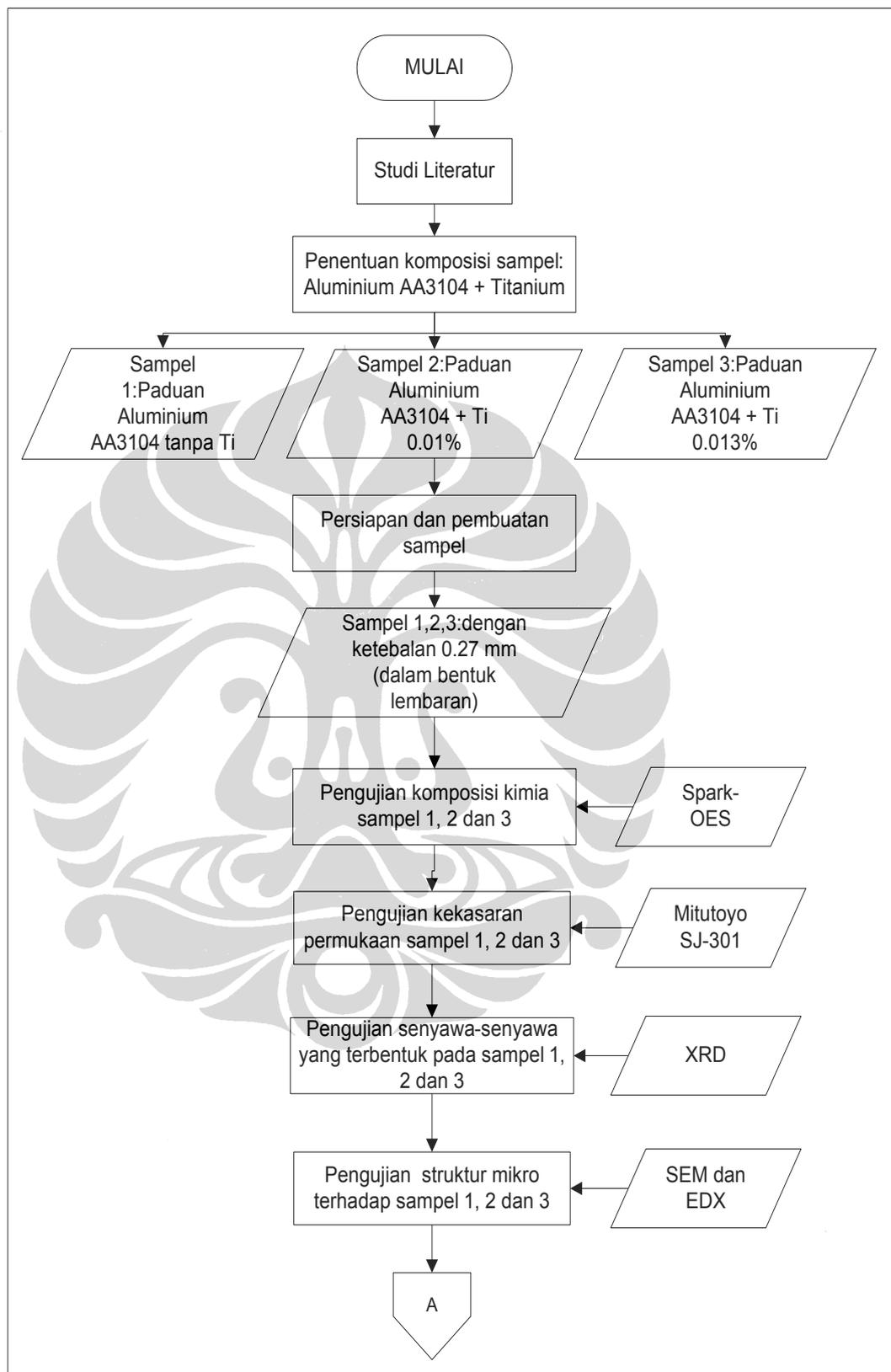
panas, dilakukan simulasi sesuai dengan proses produksi kemasan kaleng. Pemanasan dilakukan pada temperatur  $210^{\circ}$  C selama 10 menit, lalu dilakukan uji tarik untuk material lembaran dan dilakukan uji kekuatan untuk bentuk kaleng.

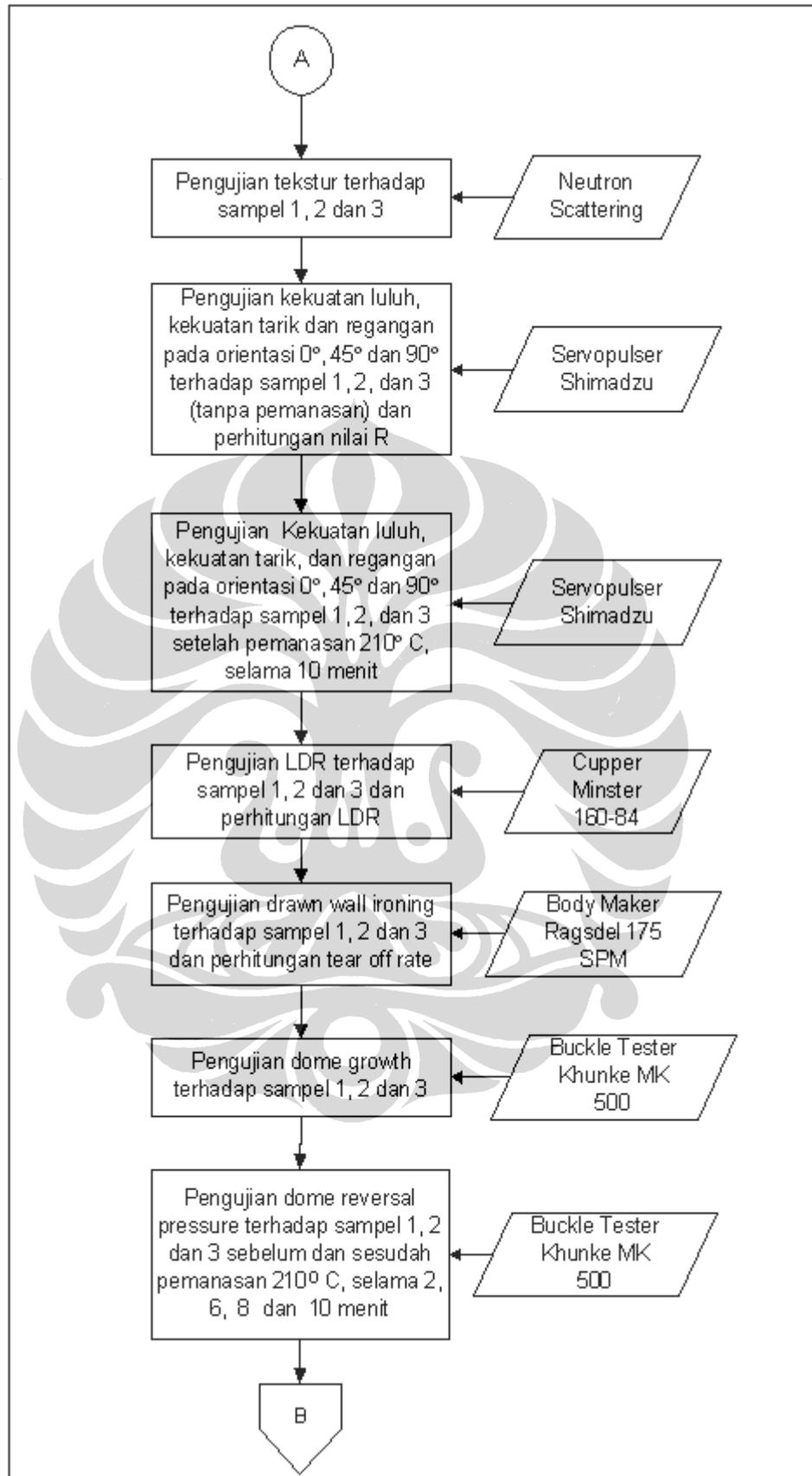
Pengujian dengan perlakuan panas ini selain untuk mengetahui sifat material setelah dipanaskan pada proses normal produksi kaleng, untuk mengeringkan lapisan bagian luar dan dalam, juga untuk mengetahui apabila kaleng tersebut harus dipanaskan ulang karena satu dan lain hal (*rebaking*). Pemanasan dilakukan menggunakan mesin *oven* IBO (*internal bake oven*).

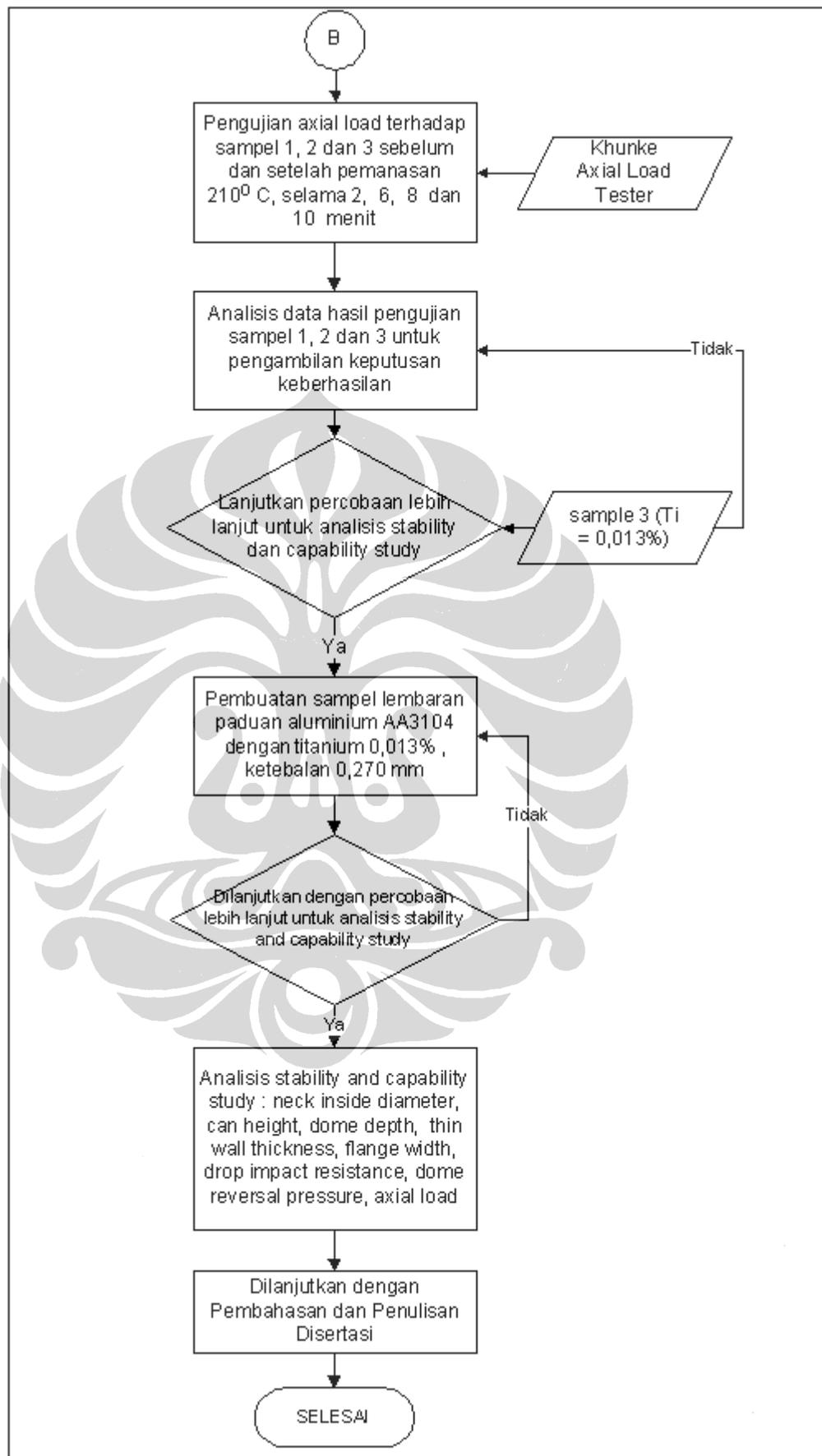
Adapun jalannya penelitian dijabarkan dalam diagram alur seperti yang terdapat pada Tabel 3.1 berikut ini.



Tabel 3.1 Diagram Alir Penelitian







## 3.2 Pengujian Yang Dilakukan

### 3.2.1 Analisis Komposisi Kimia

Analisis komposisi kimia dilakukan dengan menggunakan Spark-OES (*Optical Emission Spectrometer*) di Laboratorium Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Pusat Penelitian Metalurgi. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia dari ketiga jenis sampel yang digunakan dalam penelitian ini. Hasil analisis dari ketiga sampel dibandingkan dengan komposisi kimia yang ditambahkan pada waktu penyiapan sampel.

### 3.2.2 Pengujian Kekasaran Permukaan

Pengujian kekasaran permukaan dilakukan di Laboratorium Puspiptek Serpong, menggunakan *Surface Roughness Meter* Mitutoyo SJ-301. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kekasaran dari ketiga sampel dalam penelitian ini. Hasil dari ketiga sampel dibandingkan, untuk selanjutnya dianalisis lebih lanjut pengaruhnya terhadap kekuatan dan mampu bentuk. Parameter kekasaran yang dipakai dalam pengujian ini adalah nilai Ra (rata-rata semua nilai absolut puncak dan lembah) dan nilai Rz (nilai rata-rata dari 5 titik puncak tertinggi dan 5 lembah terendah).

### 3.2.3 Analisis Senyawa Yang Terbentuk Dengan XRD

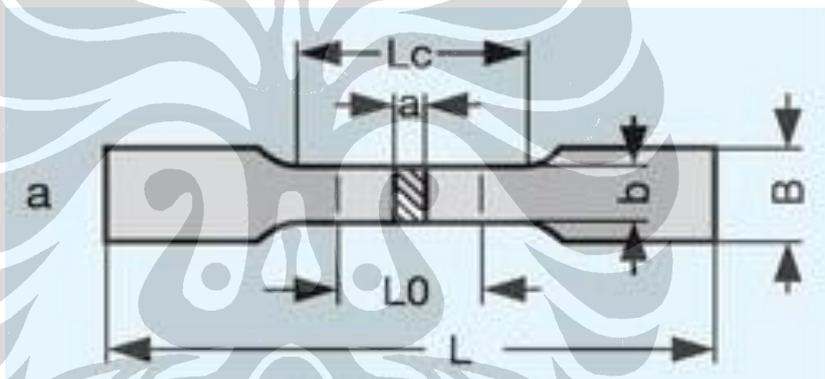
Pengujian dilakukan menggunakan Phillips Analytical X-Ray B.V dengan diffractometer type PW1710 dan *tube anode* Cu. Hasil peak yang timbul di konversikan dengan *software* PCDFWIN untuk menentukan nilai hkl.

### 3.2.4 Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan menggunakan JSM 6510 LA (*Jeol Scanning Microscope*) yang memiliki resolusi sampai 3 nanometer dan kemampuan pembesaran maksimum 300.000 kali, sehingga memungkinkan untuk melihat presipitasi. Persiapan sampel untuk pengujian struktur mikro dilakukan dengan etsa menggunakan *tucker's reagent* selama 30 detik. Untuk mengetahui senyawa dari presipitasi yang terbentuk dilakukan dengan EDX.

### 3.2.5 Pengujian Tarik dan Nilai R

Lembaran aluminium yang telah disiapkan berdasarkan 3 sampel tersebut diatas dilakukan pengujian tarik di Laboratorium Fakultas Teknik Metalurgi Universitas Indonesia dengan standar JIS Z 2201 (13B) *test piece*, seperti dapat dilihat pada Gambar 3.1. Untuk mendapatkan nilai R rata-rata dilakukan pengujian tarik regangan 15% terhadap sampel pada  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ , dan  $90^\circ$  arah *rolling*. Hasil yang didapatkan adalah nilai R rata-rata atau anisotropi normal, yaitu perbandingan antara regangan plastis searah lebar terhadap regangan plastis searah tebal lembaran sebagaimana diberikan pada persamaan 3.1. Nilai R yang besar menunjukkan ketahanan terhadap penipisan yang tinggi dalam arah tebal tegak lurus pada bidang lembaran.



Gambar 3.1 Standar JIS 2201 (13B) (Zwick, 2001)

Tabel 3.2 Standar Untuk Sampel Bentuk Pelat (Zwick, 2001)

Standard	Dimensions, mm						
	a	b	$L_0$	B	$L_c$	L	$\Delta b$
DIN EN 10002, type 1		12,5	50		75	165	0,003
DIN EN 10002, type 2		20	80	30	120	$\geq 250$	0,052
DIN 50 114	$\leq 3$	20	80	30	120	$\geq 250$	
DIN 50 125	3	8	30	12	38	$\geq 115$	
	5	16	50	22	65	$\geq 175$	
	6	20	60	27	80	$\geq 210$	
	8	25	80	33	105	$\geq 260$	
JIS Z 2201 (13A)		20	80	30	120		
JIS Z 2201 (13B)		12,5	50	20	60		
JIS Z 2201/ 5)		25	50	30	60		
JIS Z 2201/1B)		25	200	30	220		
JIS Z 2201/1A)		40	200		220		
ASTM E8		12,5	50	20	60	$\geq 200$	0,05
		40	200	50	225	$\geq 450$	0,1

$$R = \frac{\varepsilon_w}{\varepsilon_h} = \frac{\ln\left(\frac{W_0}{W_{15\%}}\right)}{\ln\left(\frac{W_{15\%}L_{15\%}}{W_0L_0}\right)} \quad (\text{Persamaan 3.1})$$

Dimana :  $W_0$  = lebar awal  
 $W_{15\%}$  = lebar pada regangan 15%  
 $H_0$  = tebal awal  
 $H_{15\%}$  = tebal pada regangan 15%

Karena pengukuran tebal secara langsung akan memberikan kesalahan yang besar, maka pengukuran dilakukan menggunakan lebar dan panjang, sehingga persamaan 3.1 dapat ditulis kembali seperti pada persamaan 3.2 menggunakan volume konstan.

$$R = \frac{\varepsilon_w}{\varepsilon_h} = \frac{\ln\left(\frac{W_0}{W_{15\%}}\right)}{\ln\left(\frac{h_0}{h_{15\%}}\right)} \quad (\text{Persamaan 3.2})$$

Dimana :  $L_0$  = panjang awal  
 $L_{15\%}$  = panjang setelah regangan 15%

Pengukuran lebar dilakukan sebanyak sepuluh kali pada daerah yang berbeda tiap sampel, sedangkan pengukuran panjang hanya satu kali, pengukuran tersebut dilakukan sebelum dan sesudah sampel dilepas dari beban. Karena sebagian besar lembaran aluminium hasil pengerolan memperlihatkan variasi sifat elastis dan sifat plastis terhadap orientasi bidang lembaran, maka biasanya bagi anisotropi normal digunakan parameter R yang merupakan hasil rata-rata R pengukuran terhadap arah pengerolan dengan sudut yang berbeda-beda.

$$\text{Nilai R rata-rata} = (R_0 + 2R_{45} + R_{90})/4$$

Bila nilai  $R = 1$ , material bersifat isotropi yaitu regangan material dalam berbagai arah adalah sama. Untuk material dengan penggunaan proses penarikan

dalam (*deep drawing*) maka material yang sesuai adalah regangan dalam arah lebar harus lebih besar dari arah tebal sehingga nilai  $R$  nya  $> 1$ .

### 3.2.6 Pengujian *Limiting Drawing Ratio (LDR)*

Pengujian *limiting drawing ratio* dilakukan menggunakan mesin Cupper Minster 160 – 84, dengan satu ukuran *blank* yang sama dan 3 macam diameter *punch* yang berbeda seperti dapat dilihat pada Tabel 3.3 tersebut dibawah ini.

Tabel 3.3 Data *Blank Diameter* dan *Punch Diameter*

Blank Dia (mm)	Punch Dia (mm)
139,57	86,28
	90,00
	93,00
	96,00

LDR dihitung dengan membandingkan antara *blank diameter* dengan *punch diameter* dan untuk mengetahui hubungannya dengan *tear off rate* maka pengujian dilanjutkan dengan pembentukan pada mesin *body maker*.

### 3.2.7 Pengujian Kegagalan Proses (*Tear Off Rate*) Dengan *Drawn Wall Ironing*

Untuk mengetahui sifat mampu bentuk material (*formability*) maka dilakukan pengujian *drawn wall ironing* menggunakan mesin *body maker* ragsdel dengan kecepatan 175 *sroke/menit*. Lalu dihitung jumlah kegagalan yang terjadi pada proses tersebut dan dikonversikan dalam per sejuta.

Jalannya proses percobaan adalah sebagai berikut, gulungan aluminium diletakkan pada mesin pembuka gulungan coil (*uncoiler*) yang ditarik oleh *feed roll* menuju ke mesin pembuat *cup* (*cupper*). Pembentukan pada mesin *cupper* disimulasikan dengan menggunakan 3 macam diameter *punch* yang berbeda, lalu dihitung LDR nya pada masing-masing ukuran *punch* tersebut. Hasil proses yang sudah dalam bentuk *cup* lalu diteruskan dengan proses selanjutnya yaitu pembentukan badan kaleng dengan proses *drawn wall ironing* pada mesin *body maker*. Pada pengujian ini digunakan pelumas dan cairan pendingin (*coolant*)

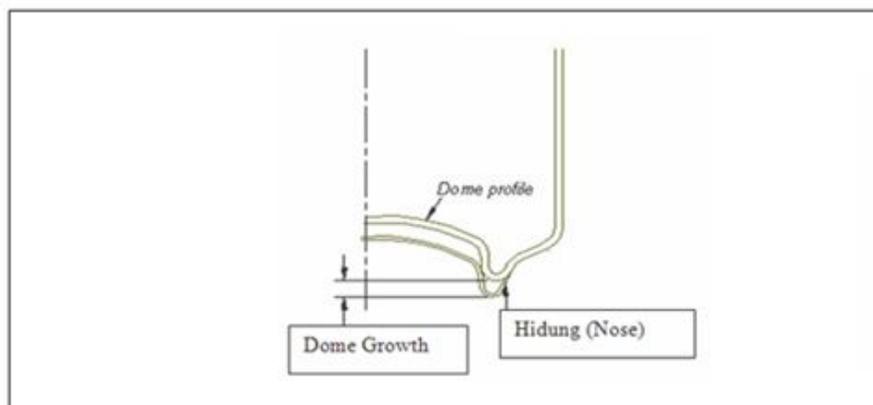
yang sama pada ketiga sampel. *Coolant* yang digunakan adalah DTI 361 produk dari Henkel dengan konsentrasi 3%, dan temperatur 45° C. Hasil pembentukan lalu diamati dan dihitung jumlah kegagalannya dan dibandingkan dari ketiga sampel tersebut untuk mengetahui yang terbaik. Pengujian ini adalah sebagai perbandingan terhadap hasil pengujian tarik yang terdiri dari kekuatan luluh (*yield strength*), kekuatan tarik (*tensile strength*) dan regangan (*elongation*). Material dengan *yield strength* dan *tensile strength* yang tinggi biasanya mempunyai nilai kegagalan yang lebih tinggi, dan material dengan nilai *elongation* yang tinggi akan menghasilkan kegagalan yang lebih rendah. Dalam penelitian ini material yang ingin ditemukan adalah yang memiliki kekuatan tinggi akan tetapi *formability* nya juga baik.

### 3.2.8 Pengujian Kekuatan Kaleng

Ada tiga macam kekuatan kaleng yang harus diuji sehubungan dengan perubahan material yaitu: pertumbuhan permukaan bagian bawah kaleng (*dome growth*), deformasi secara total bagian bawah kaleng (*dome reversal pressure – DRP*) dan kekuatan badan kaleng menahan gaya vertikal (*axial load*).

#### 3.2.8.1 Pengujian *Dome Growth*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan bagian bawah kaleng yang berbentuk cekung dengan kedalaman sesuai dengan standar yang telah ditentukan (*dome*), menahan tekanan dari dalam yang disebut *dome growth*. Pengujian ini adalah sebagai simulasi untuk mengetahui sejauh mana kekuatan bagian *dome* menahan tekanan dari dalam setelah diisi produk minuman berkarbonasi (CO<sub>2</sub>). Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat ukur *buckle tester* Khunke MK 500 buatan Khunke Jerman. Pada pengujian ini kaleng diberikan tekanan dari bagian dalam kaleng, lalu di ukur dengan *dial indicator* tingginya perubahan pada *dome* (*deformasi*) tersebut. Data hasil pengukuran di plot dalam sebuah grafik. Gambar 3.2 adalah merupakan sketsa *dome growth* yang terjadi setelah diberikan tekanan dari bagian dalam.



Gambar 3.2 Sketsa *Dome Growth*

Pertumbuhan *dome* (*dome growth*) ini adalah suatu proses deformasi plastis dari aluminium, dimana secara mikroskopik terjadi pergeseran struktur bidang kristal. Pergeseran ini terjadi karena adanya gaya yang mengakibatkan *tensile stress* sampai di atas batas kritis *yield stress* (Sanders, 2001).

Jalannya pengujian adalah, kaleng diletakkan pada posisi *mandrel* alat ukur yang bekerja secara otomatis apabila ditekan tombol “test”. Pertumbuhan atau pergerakan naiknya permukaan *dome* diamati dan diukur sejalan dengan diberikannya tekanan angin kedalam kaleng tersebut. Hasil dari ketiga sampel lalu dibandingkan, sedangkan kekuatan yang diinginkan adalah *dome reversal pressure* harus di atas 90 PSI (620,53 kilopascal). Semakin rendah *dome growth* terhadap besarnya tekanan yang diberikan menunjukkan semakin kuat material yang digunakan yang berarti semakin baik. *Dome growth* adalah gejala awal proses terjadinya *dome reversal pressure*.

### 3.2.8.2 Pengujian Kekuatan Total Bagian Bawah Kaleng (*Dome Reversal Pressure – DRP*)

Sebagaimana halnya *dome growth*, pengujian kekuatan total bagian bawah kaleng juga dilakukan dengan menggunakan *buckle tester* Khunke MK 500. Kekuatan bagian bawah kaleng secara total adalah terjadinya *deformasi* plastis setelah kaleng diberikan tekanan dari dalam. Pengujian dilakukan menggunakan *Buckle tester Khunke MK 500* yang dapat bekerja secara otomatis dan langsung berhenti setelah terjadinya *buckle*. Kekuatan ini sangat penting dalam

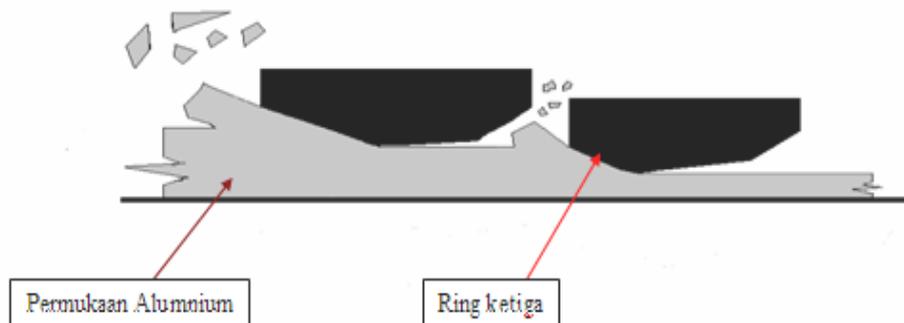
hubungannya dengan penurunan ketebalan material yang digunakan. Bentuk akhir dari hasil pengujian DRP adalah bentuk *dome* yang menonjol keluar akibat dari deformasi plastis. Hasil pengujian lalu dibandingkan dengan ke tiga macam sampel dan standar yang harus dicapai yaitu minimum 620,53 kilopascal. Seperti halnya *dome growth*, *buckle* juga diakibatkan terjadinya pergeseran bidang struktur kristal akibat terjadinya stress yang berlebihan.

### 3.2.8.3 Pengujian Kekuatan Badan Kaleng Menahan Gaya Vertikal (*Axial Load*)

Kerusakan *Axial load* terjadi karena adanya deformasi plastis akibat gaya vertikal yang diberikan. Pengujian ini dilakukan sebagai simulasi terhadap proses pemasangan tutup di pelanggan pada waktu kaleng diisi dengan produk minuman, dimana dilakukan penekanan secara vertikal agar terbentuknya lipatan antara badan kaleng dengan tutupnya, yang disebut lipatan ganda (*double seaming*). Adapun tekanan yang diberikan pada proses ini adalah 45 ~ 58 kg. Dengan demikian kekuatan badan kaleng menahan gaya vertikal sangat penting diperhatikan sehubungan dengan dilakukannya perubahan material yang digunakan. Pengukuran *axial load* dilakukan menggunakan *Khunke Axial Load Tester*. Badan kaleng dengan kekuatan menahan *axial load* yang rendah akan mengakibatkan kerusakan pada proses penutupan yang disebut *collapse*. Hasil pengukuran dari ketiga sample lalu dibandingkan satu sama lain dan diolah dengan metoda statistik *NWA Quality Analyst 5,1*.

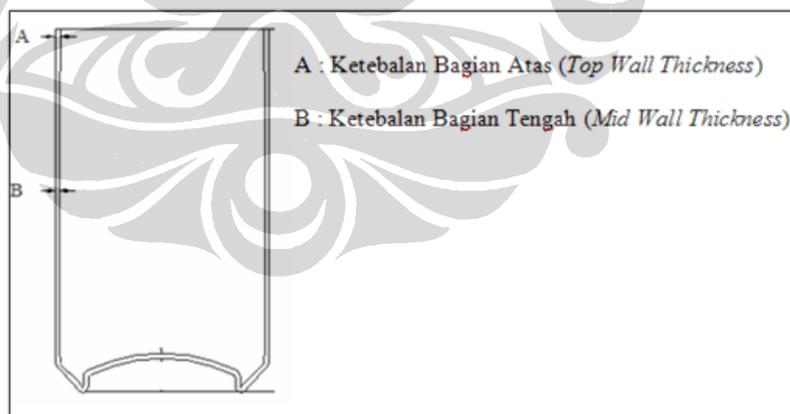
### 2.2.9 Pengujian Ketebalan Badan Kaleng

Sehubungan dengan perubahan material, pengujian ketebalan badan kaleng perlu dilakukan, walaupun ketebalan badan kaleng adalah dibentuk oleh besarnya perbedaan diameter *punch* dengan *ring* ketiga (*gap*). Akan tetapi aliran (*flow*) material pada waktu terjadinya proses penipisan badan kaleng (*wall ironing*) juga dipengaruhi oleh sifat-sifat material yang digunakan. Proses penipisan badan kaleng diperlihatkan pada sketsa Gambar 3.3, dimana terjadi gesekan antara *punch* dengan *ring* yang mengakibatkan terjadinya aliran (*flow*) material sepanjang badan kaleng tersebut.



Gambar 3.3 Sketsa Proses Penipisan Badan Kaleng

Sehubungan dengan proses dan kualitas yang ingin dicapai, ada dua titik penting pada badan kaleng yang perlu dikendalikan ketebalannya, yaitu pada bagian tengah antara jarak dari atas dan bawah dan pada jarak 7 mm dari ujung bagian atas kaleng. Ketebalan pada bagian tengah dinding kaleng perlu dikendalikan karena akan berhubungan dengan kekuatan kaleng menahan gaya vertikal (*axial load*) dan ketebalan dibagian atas berhubungan dengan proses penutupan di pelanggan (*double seaming*). Gambar 3.4 memperlihatkan konstruksi badan kaleng pada posisi ketebalan yang berbeda.

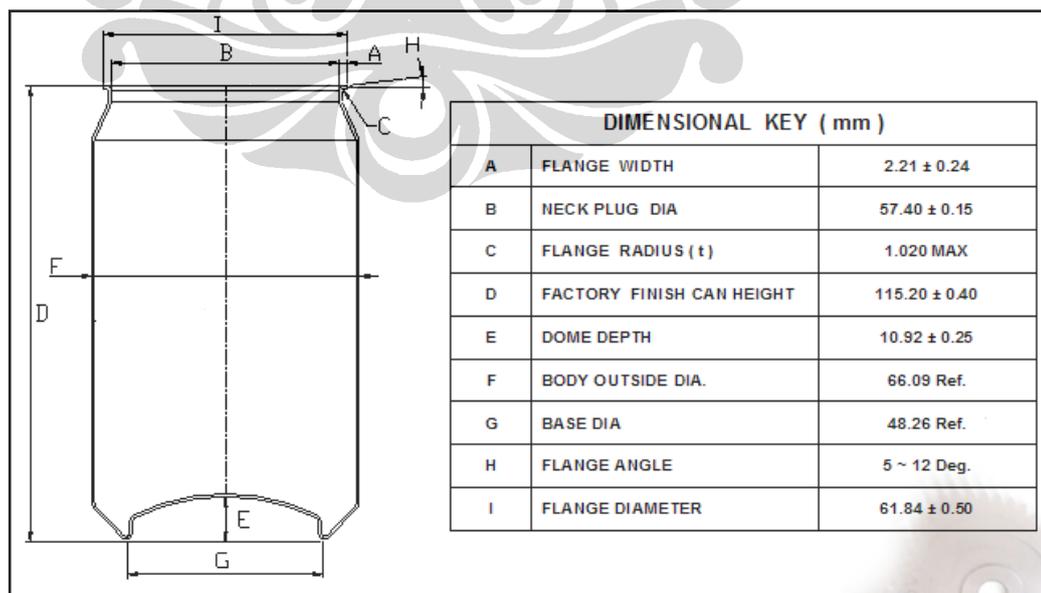


Gambar 3.4 Sketsa Ketebalan Badan Kaleng

Pengukuran ketebalan bagian atas dan tengah badan kaleng dilakukan menggunakan alat ukur *Versatile Front End* buatan *Versatile Australia* yang bekerja secara semi otomatis. Kaleng diletakkan pada *mandrel* yang telah tersedia lalu alat ukur bekerja setelah ditekan tombol test.

### 3.2.10 Pengujian Ketinggian Badan Kaleng (*Finish Can Height*)

Ketinggian badan kaleng mengikuti standar internasional agar antara satu perusahaan kaleng (*can manufacturing*) dengan perusahaan sejenis lainnya membuat kaleng dengan tinggi yang sama, dengan tujuan agar suatu pelanggan dapat melakukan proses penutupan kaleng tanpa melakukan perubahan pada mesin mereka. Mengingat proses pembentukannya maka ketinggian kaleng perlu dilakukan pengujian pada setiap dilakukan penggantian material aluminium. Tinggi badan kaleng berhubungan dengan proses *double seaming* pada waktu penutupan kaleng setelah pengisian, yaitu berpengaruh terhadap panjang pendeknya tekukan badan kaleng (*body hook*) pada *double seaming* yang pada akhirnya berpengaruh terhadap kebocoran. Pengujian tinggi kaleng dilakukan dengan menggunakan *Versatile Back End* buatan Versatile Australia yang bekerja secara semi otomatis. Badan kaleng diletakkan pada lokasi yang telah ditentukan, lalu pengukuran berlangsung setelah ditekan tombol test. Dimensi badan kaleng secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 3.5 dibawah ini, dimana memperlihatkan dimensi kunci yang harus dipenuhi agar bisa diterima oleh pelanggan.



Gambar 3.5 Sketsa Dimensi Kunci Badan Kaleng

### 3.2.11 Pengujian Diameter Dalam Leher Kaleng (*Neck Inside Diameter*)

Seperti halnya ketinggian badan kaleng, diameter leher kaleng bagian dalam juga mempunyai hubungan yang erat terhadap sifat-sifat material yang digunakan. Maka dari itu perlu dilakukan pengujian pada setiap perubahan material yang digunakan, dimensi ini juga berhubungan dengan proses penutupan, karena diameter tutup yang digunakan adalah mempunyai ukuran yang tetap. Dimensi yang berada diluar standar akan mengakibatkan kegagalan proses penutupan dan berpotensi ditolak oleh pelanggan. Pengujian diameter leher kaleng dilakukan menggunakan *Versatile Back End* yang bekerja secara semi otomatis. Dimensi *neck inside diameter* dapat dilihat pada gambar 3.5.

### 3.2.12 Pengujian Lebar Bibir Kaleng (*Flange Width*)

Pembentukan lebar bibir kaleng juga berhubungan dengan sifat-sifat mekanik material yang digunakan. Karena lebar bibir kaleng juga berpengaruh terhadap proses penutupan kaleng setelah diisi oleh pelanggan, maka perlu dilakukan pengujian agar tidak terjadi kegagalan. Dimensi *flange width* dapat dilihat pada Gambar 3.5 tersebut diatas.

## 3.3 Analisis Kelayakan Penggunaan Material Secara Komersial

Sebelum digunakan secara komersial material aluminium yang diperuntukkan sebagai bahan baku badan kaleng perlu dilakukan analisis secara statistik, untuk mendapatkan indeks yang telah ditentukan sebagai acuan. Data hasil pengujian seperti yang telah disebutkan sebelumnya, di olah menggunakan software NWA Quality Analyst 5.1 (*Statistical Process Control – SPC*), dimana hasilnya akan dijadikan untuk interpretasi kestabilan dan kemampuan proses (*stability and capability process*). Kestabilan proses ditentukan dengan cara menghitung dan membuat grafik rata-rata (*X-bar chart*) dan grafik range (*R-chart*), sedangkan kemampuan proses ditentukan dengan menghitung indeks Cpk. Adapun indeks Cpk adalah merupakan suatu nilai yang dipengaruhi oleh mesin, material, metode kerja, orang dan lingkungan.

Suatu material baru bisa digunakan secara komersial apabila dari hasil pengolahan secara statistik terhadap data hasil pengujian dimensinya dapat

memenuhi kriteria yang sesuai dengan permintaan pelanggan yaitu *stable and capable*.

### 3.3.1 Analisis Kestabilan Proses (*Process Stability*)

Analisis kestabilan proses dilakukan dengan menggunakan *software* NWA Quality Analyst 5.1, yaitu dengan memasukkan data hasil pengukuran ke dalam program tersebut, lalu didapat grafik rata-rata dan grafik range. Hasil tersebut lalu diinterpretasikan berdasarkan standar yang telah ditentukan untuk menentukan apakah proses tersebut stabil atau tidak. Grafik rata-rata diperoleh dari hasil perhitungan menggunakan persamaan 2.10, 2.11 dan 2.12. Grafik R diperoleh dari hasil perhitungan menggunakan persamaan 2.13, 2.14 dan 2.15. Hasil grafik rata-rata dan grafik *range* lalu diinterpretasikan dengan ketentuan yang berlaku.

### 3.3.2 Analisis Kemampuan Proses (*Process Capability*)

Analisis kemampuan proses dilakukan menggunakan *software* NWA Quality Analyst 5.1, dengan cara memasukkan data hasil pengukuran ke dalam program komputer tersebut lalu didapatkan indeks Cpk. Perhitungan indeks Cpk dilakukan menggunakan persamaan 2.16, 2.17, dan 2.18, selanjutnya dilakukan interpretasi terhadap standar yang diinginkan.

## BAB 4

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Sehubungan dengan topik penelitian ini, yaitu untuk mengetahui pengaruh titanium dalam paduan Aluminium AA3104 terhadap mampu bentuk pada proses *drawn wall ironing* dan kekuatan kemasan kaleng minuman bertekanan, maka dilakukan penelitian yang berhubungan dengan pokok permasalahan, dan hasilnya seperti dijelaskan berikut ini.

#### 4.1 Hasil Analisis Komposisi Kimia Sampel Lembaran Paduan Aluminium AA3104

Hasil analisis komposisi kimia menggunakan Spark-OES (*Optical Emission Spectrometer*) diperoleh data komposisi kimia seperti yang tercantum pada Tabel 4.1. Analisis kualitatif menggunakan Energy Dispersive X- ray Spectroscopy (EDS), seperti dapat dilihat pada Gambar 4.1, dimana dapat dideteksi elemen titanium pada paduan aluminium yang ditambahkan titanium tersebut.

Dengan demikian, hasil analisis komposisi kimia pada sampel bentuk lembaran sudah sesuai dengan komposisi kimia pada waktu dilakukan peleburan. Sampel dibawah ini adalah berbentuk lembaran Aluminium dengan ketebalan 0.270 mm yang diproses mulai dari peleburan, penambahan bahan-bahan kimia yang dibutuhkan, penuangan (*casting*), pengerolan panas sampai ketebalan 2,3 mm yang dilanjutkan dengan pengerolan dingin sampai pada ketebalan akhir 0.270 mm (Morris, 1992).

Semua percobaan yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan ketiga jenis sampel yang telah dipersiapkan yaitu paduan aluminium AA3104 dengan kandungan Ti = 0,00%, Ti = 0,010% dan Ti = 0,013%. Ketiga sampel diproses dengan cara yang sama, adapun yang berbeda adalah hanya komposisi berat % titanium. Dengan proses yang sama, berarti bisa dipastikan bahwa ketiga sampel mendapat perlakuan sama, sehingga apabila timbul sifat yang berbeda dari setiap sampel berarti perbedaan tersebut dipengaruhi oleh elemen titanium yang ditambahkan kedalamnya.

Tabel 4.1 Hasil Analisis Komposisi Kimia Dalam % Berat Menggunakan Spark-OES (*Optical Emission Spectrometer*)

a) Sampel Dengan Komposisi Ti = 0,00%

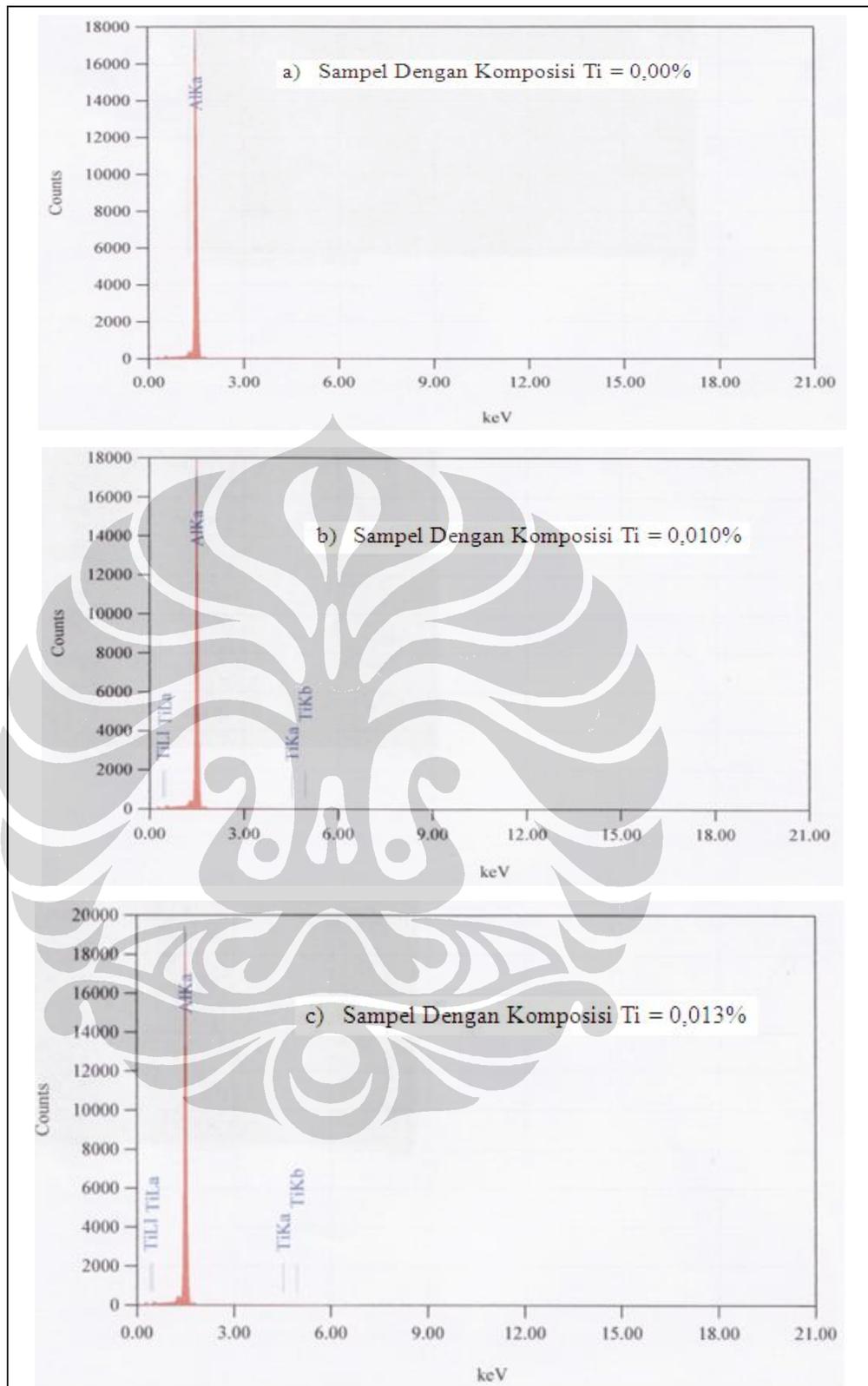
Unsur Element	Kadar/% Content/%	Unsur Element	Kadar/% Content/%
Si	0.13	Cr	0.030
Fe	0.42	Ni	0.016
Cu	0.22	Pb	0.003
Mn	1.00	Sn	0.002
Mg	1.12	V	0.011
Zn	<0.0001	Cd	0.002
Ti	<0.0001	Al	97.04

b) Sampel Dengan Komposisi Ti = 0,010%

Unsur Element	Kadar/% Content/%	Unsur Element	Kadar/% Content/%
Si	0.13	Cr	0.031
Fe	0.42	Ni	0.016
Cu	0.21	Pb	0.002
Mn	1.00	Sn	0.001
Mg	1.12	V	0.011
Zn	<0.0001	Cd	0.001
Ti	0.010	Al	97.05

c) Sampel Dengan Komposisi Ti = 0,013%

Unsur Element	Kadar/% Content/%	Unsur Element	Kadar/% Content/%
Si	0.13	Cr	0.034
Fe	0.42	Ni	0.016
Cu	0.21	Pb	0.003
Mn	1.00	Sn	0.002
Mg	1.12	V	0.012
Zn	<0.0001	Cd	0.002
Ti	0.013	Al	97.04



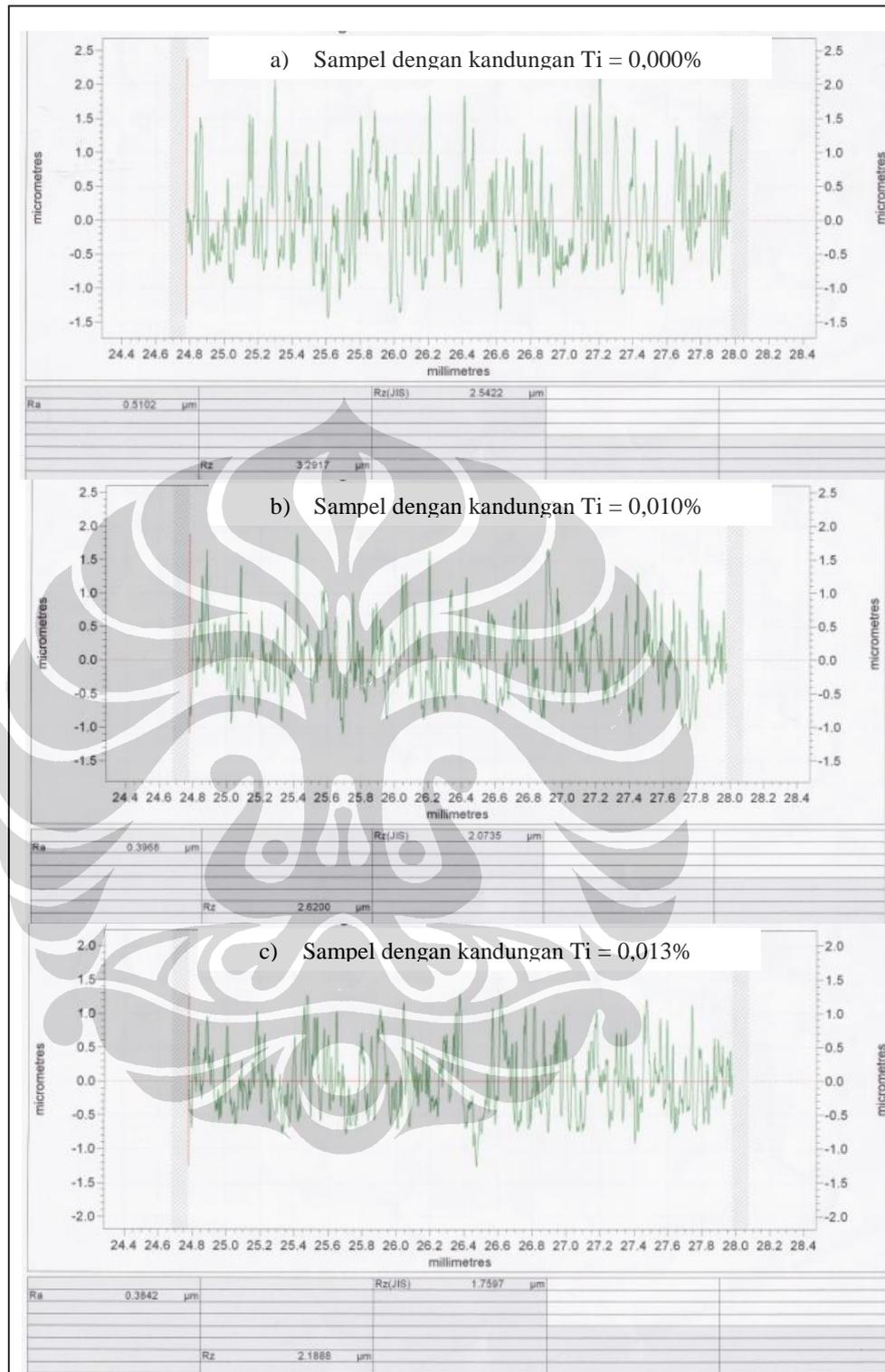
Gambar 4.1 Grafik Hasil Analisis Kualitatif Menggunakan *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) Sampel Dengan Komposisi a) Ti = 0,00%, b) Ti = 0,010% dan c) Ti = 0,013%

#### 4.2 Pengaruh Titanium Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Paduan Aluminium AA31104

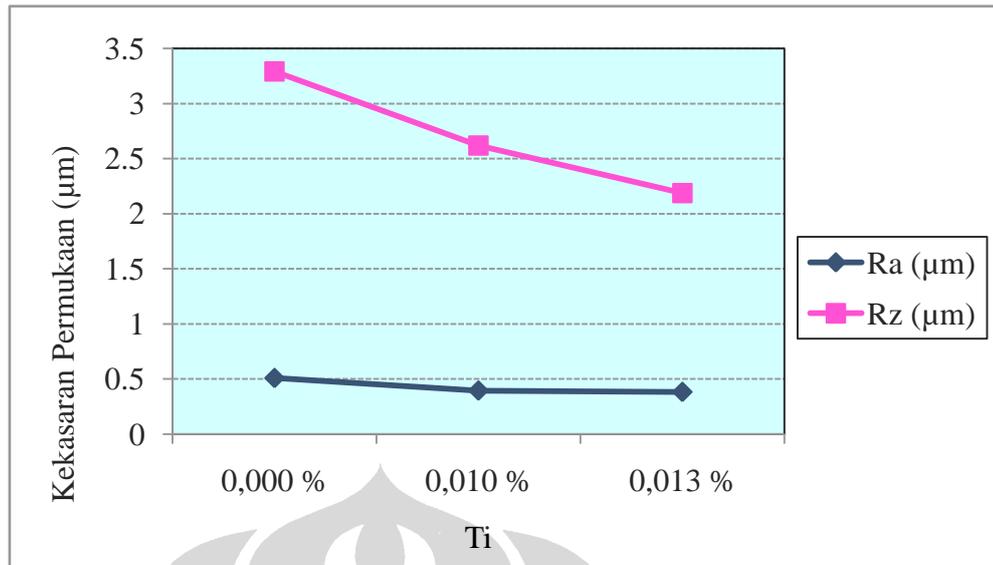
Gambar 4.2 memperlihatkan hasil pengujian kekasaran permukaan lembaran paduan aluminium AA3104 dengan kandungan Ti = 0,00%, Ti = 0,010% dan Ti = 0,013% menggunakan Mitutoyo SJ-31. Pengujian ini menghasilkan data tingkat kekasaran dalam skala Ra dan Rz. Skala Ra merupakan hasil rata-rata dari semua nilai dan skala Rz merupakan hasil rata-rata dari 5 titik puncak tertinggi dan 5 titik terendah. Data dari skala Ra dan Rz tersebut bisa dilihat lebih jelas pada gambar 4.3 yang disajikan dalam bentuk grafik. Pada grafik tersebut dapat dilihat kecenderungan tingkat kekasaran yang semakin menurun dengan semakin meningkatnya komposisi titanium pada paduan aluminium AA3104. Semakin halus tingkat kekasaran permukaan lembaran aluminium berpengaruh terhadap semakin rendahnya tenaga yang dibutuhkan pada proses *drawn wall ironing* (Sun, 1993). Berarti penambahan titanium berpengaruh positif terhadap proses *drawn wall ironing*.

Dengan semakin rendahnya tenaga yang diperlukan tersebut mengindikasikan bahwa material tersebut mempunyai sifat mampu bentuk (*formability*) yang lebih baik. Menurunnya tingkat kekasaran ini disebabkan karena titanium bersifat memperhalus butiran (Morris, 1993).

Tingkat kekasaran permukaan ini akan dianalisis lebih lanjut hubungannya terhadap sifat mampu bentuk pada proses penarikan dalam dan penipisan pada bagian dinding (*drawn wall ironing*), dan kekuatan kaleng (*strength*). Secara logika material dengan tingkat kekasaran yang lebih tinggi akan semakin sukar untuk dibentuk dengan proses *drawn wall ironing*, akan tetapi hal ini perlu dibuktikan dengan pengujian.



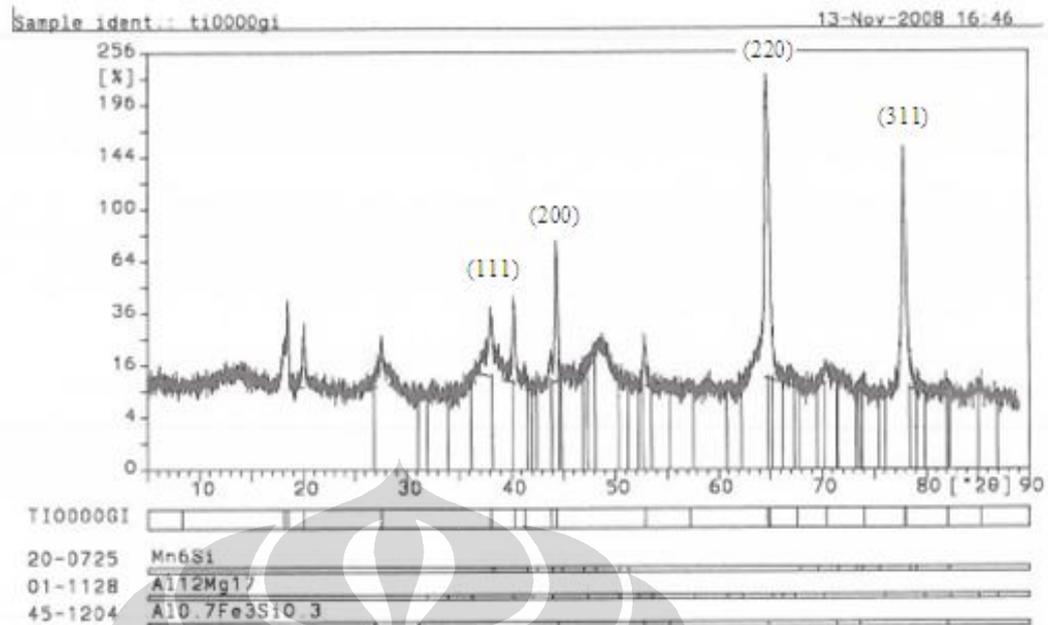
Gambar 4.2 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Lembaran Paduan Aluminium AA3103 Dengan Komposisi a) Ti = 0,00%, b) Ti = 0,010% dan c) Ti = 0,013%



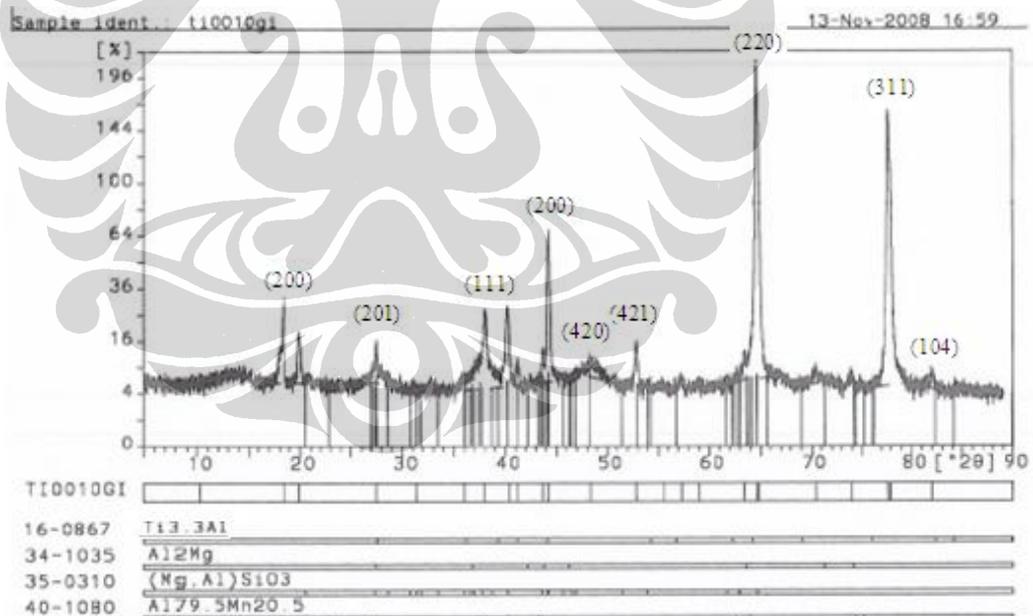
Gambar 4.3 Grafik Kekasaran Permukaan Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Titanium 0,00%, 0,010% dan 0,013% Dalam Skala Ra dan Rz

#### 4.3 Pengaruh Titanium Pada Paduan Aluminium AA3104 Terhadap Terbentuknya Fasa Sekunder

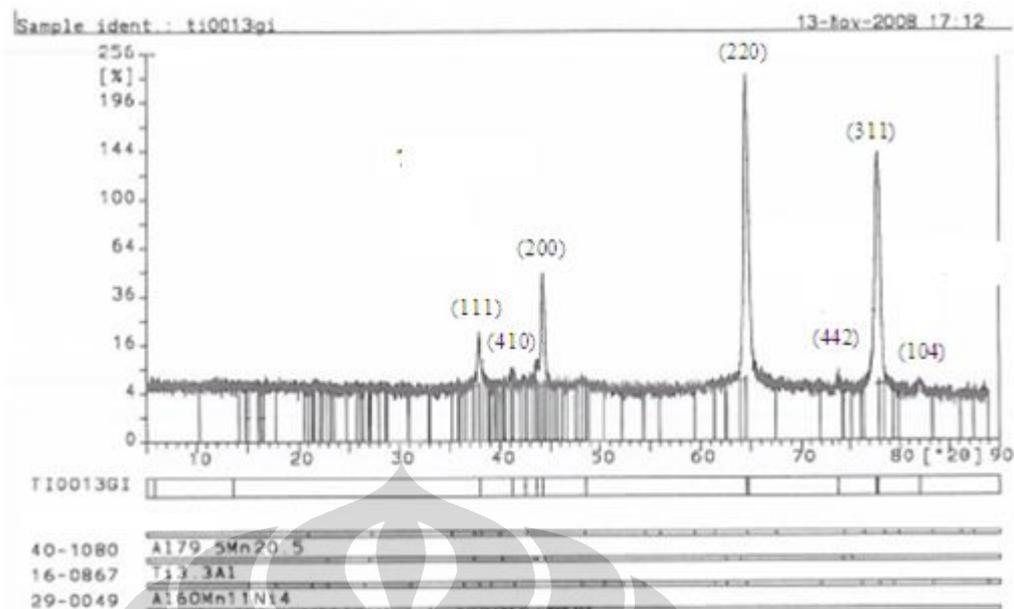
Gambar 4.4, 4.5 dan 4.6, memperlihatkan hasil pengujian XRD terhadap sampel paduan aluminium AA3104 dengan kandungan titanium 0,00%, 0,010% dan 0,013%. Pada pengujian dengan XRD diketahui terdapat sebaran partikel fasa kedua pada ketiga paduan tersebut, akan tetapi sebaran fasa kedua pada sampel dengan kandungan titanium 0,013% (Gambar 4.6) terlihat lebih halus. Fasa sekunder yang halus menjadikan paduan lebih tahan terhadap rekristalisasi dan pertumbuhan butir dibandingkan paduan fasa tunggal (Adnyana, 1994). Fasa kedua tersebut diantaranya adalah merupakan senyawa  $\text{Ti}_3\text{Al}$  yang terbentuk pada lembaran aluminium tersebut. Hasil pengujian ini didukung oleh hasil analisis struktur mikro menggunakan SEM yang menunjukkan semakin banyaknya presipitasi yang terbentuk dan tersebar lebih merata pada paduan aluminium AA3104 yang mengandung titanium 0,013%. Tersebar meratanya senyawa  $\text{Ti}_3\text{Al}$  yang terbentuk ini selanjutnya akan diteliti lebih jauh pengaruhnya terhadap kekuatan luluh (*yield strength*), kekuatan tarik (*tensile strength*), regangan (*elongation*), nilai R, mampu bentuk pada proses *drawn wall ironing* dan kekuatan kemasan kaleng.



Gambar 4.4 Hasil Analisis XRD Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti 0,000%



Gambar 4.5 Hasil Analisis XRD Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti 0,010%



Gambar 4.6 Hasil Analisis XRD Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti 0,013%

#### 4.4 Pengaruh Titanium Pada Paduan Aluminium AA3104 Terhadap Struktur Mikro

Gambar 4.7 memperlihatkan hasil analisis struktur mikro pada permukaan atas lembaran paduan aluminium AA3104 dengan kandungan titanium 0,00%, 0,010% dan 0,013% menggunakan SEM. Dimana tidak dapat dilihat batas butir (*grain*) karena sangat tingginya deformasi pada pembentukan lembaran tersebut yaitu dari 500 mm menjadi 0,270 mm. Adapun presipitasi yang terbentuk pada ketiga jenis sampel tersebut dapat dilihat perbedaannya, baik dalam hal bentuk maupun jumlahnya. Untuk paduan yang mengandung titanium, memiliki presipitasi lebih banyak, baik yang besar maupun yang lebih halus. Presipitasi yang halus tersebar merata pada seluruh permukaan. Apabila luas permukaan presipitasi yang terbentuk dihitung dengan bantuan program autocad, maka diketahui bahwa dengan semakin tingginya kandungan titanium, luas permukaan presipitasi meningkat. Rasio luas permukaan presipitasi terhadap luas total permukaan atas lembaran paduan aluminium dengan kandungan Ti 0,00%, 0,010% dan 0,013% adalah 5,3%, 8,6% dan 10,4%. Presipitasi tersebut berguna sebagai penghambat (*barrier*) terhadap terjadinya deformasi, yang berarti akan menambah kekuatan. Dengan demikian maka dapat dikatakan bahwa unsur

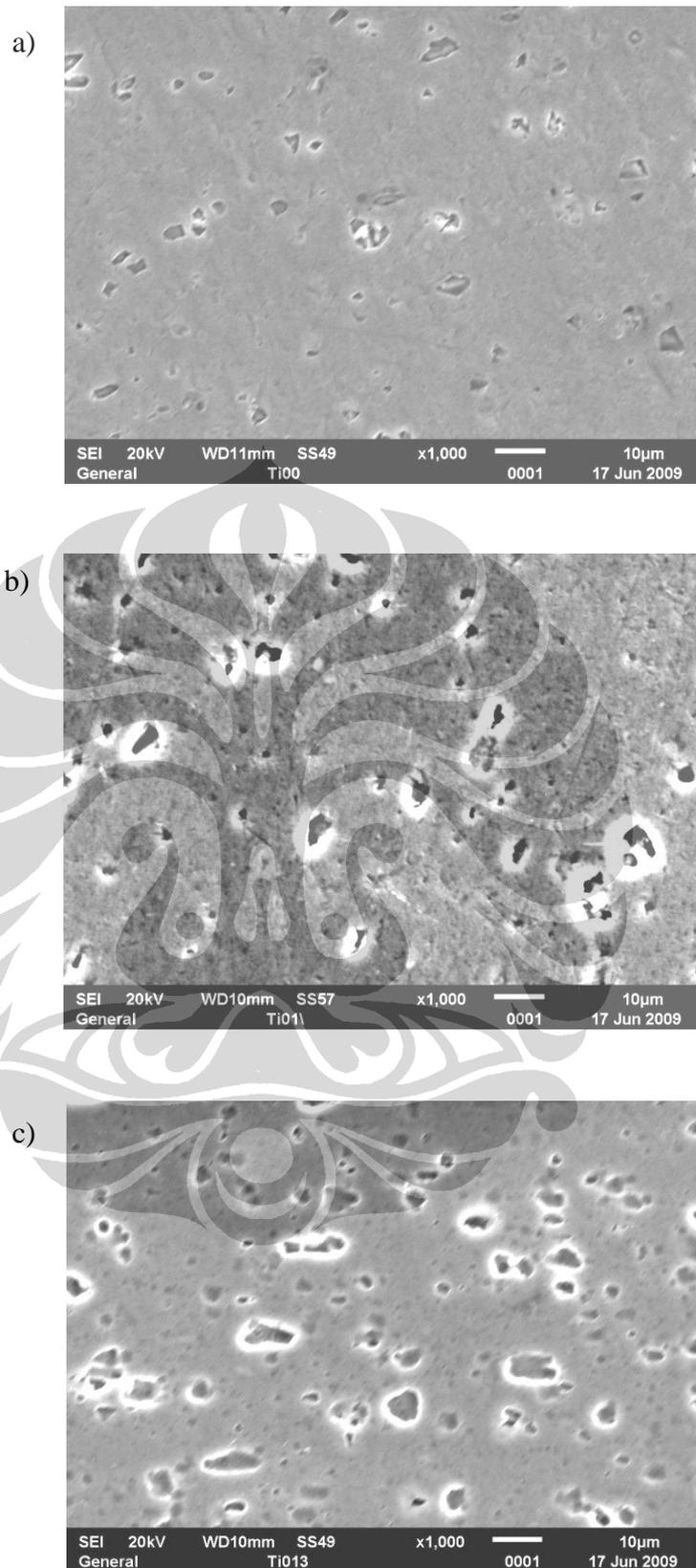
titanium pada paduan aluminium AA3104 dapat menambah kekuatan material tersebut, karena kehadiran titanium memancing terbentuknya presipitasi.

Gambar 4.8 memperlihatkan hasil analisis struktur mikro pada posisi samping lembaran paduan aluminium AA3104 dengan kandungan titanium 0,00%, 0,010% dan 0,013% menggunakan SEM. Seperti halnya apabila dilihat dari posisi atas, pada posisi samping pun tidak dapat dilihat batas butir (*grain*), akan tetapi dari ketiga jenis sampel tersebut dapat dilihat perbedaan jumlah presipitasi yang terbentuk. Apabila dihitung dengan bantuan program autocad, persentase luas presipitasi yang terbentuk terhadap luas total permukaan adalah: sampel dengan titanium 0,00% = 2,69 %, titanium 0,010% = 3,59 % dan titanium 0,013% = 5,56 %. Jadi semakin tingginya kandungan titanium pada paduan aluminium AA3104 semakin luas presipitasi yang terbentuk, yang pada akhirnya dapat menambah kekuatan material.

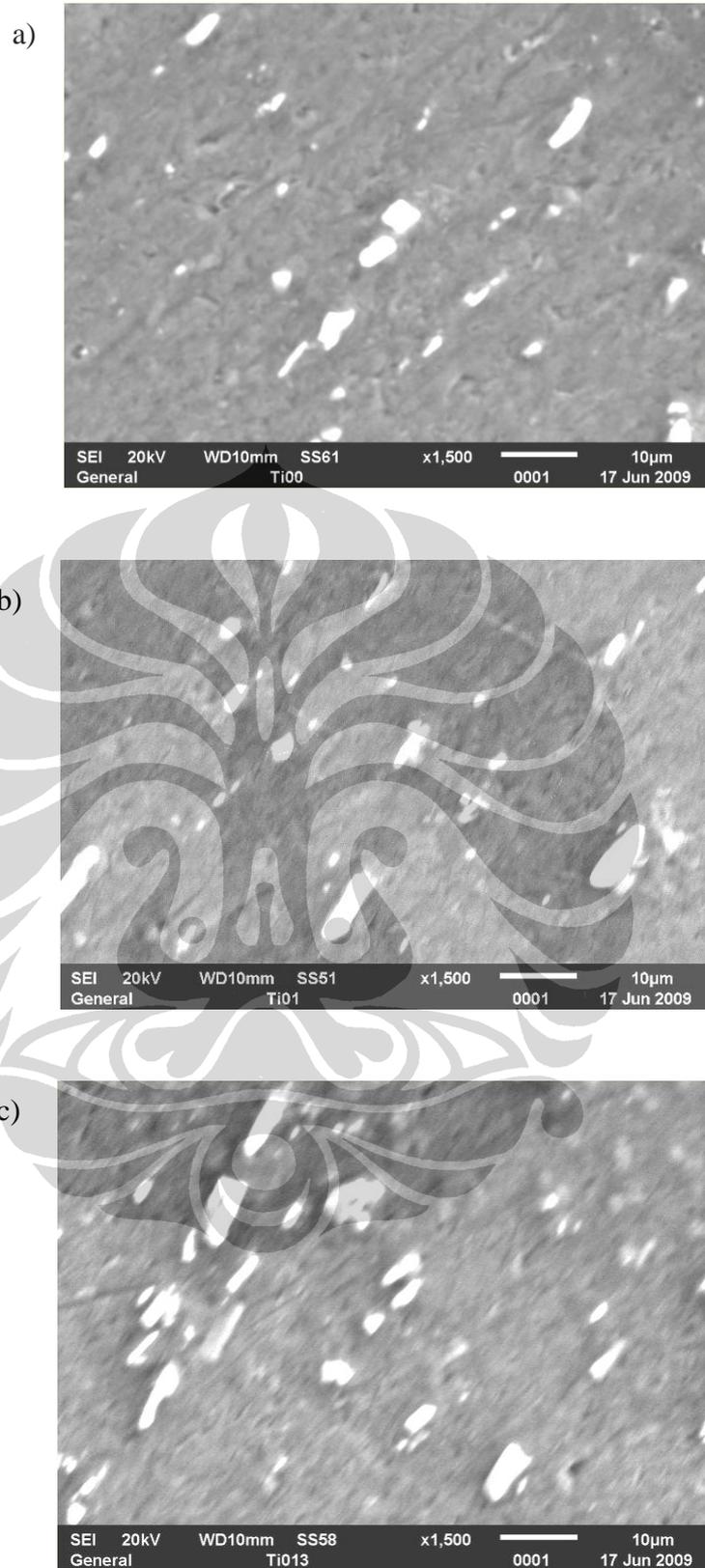
Gambar 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14 memperlihatkan hasil analisis SEM dan EDX pada permukaan atas, paduan aluminium AA3104 yang mengandung titanium 0,00%, 0,010% dan 0,013%. Dimana, tidak terdeteksi adanya unsur titanium pada senyawa yang terbentuk, baik pada area presipitasi maupun area non presipitasi.

Gambar 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20 memperlihatkan hasil analisis pada permukaan samping, paduan aluminium AA3104 yang mengandung titanium 0,00%, 0,010% dan 0,013%. Dimana, seperti halnya pada permukaan atas, pada permukaan samping juga tidak terdeteksi adanya unsur titanium pada senyawa yang terbentuk. Tidak terdeteksinya unsur titanium tersebut bisa disebabkan karena jumlah yang dipadukan sangat kecil.

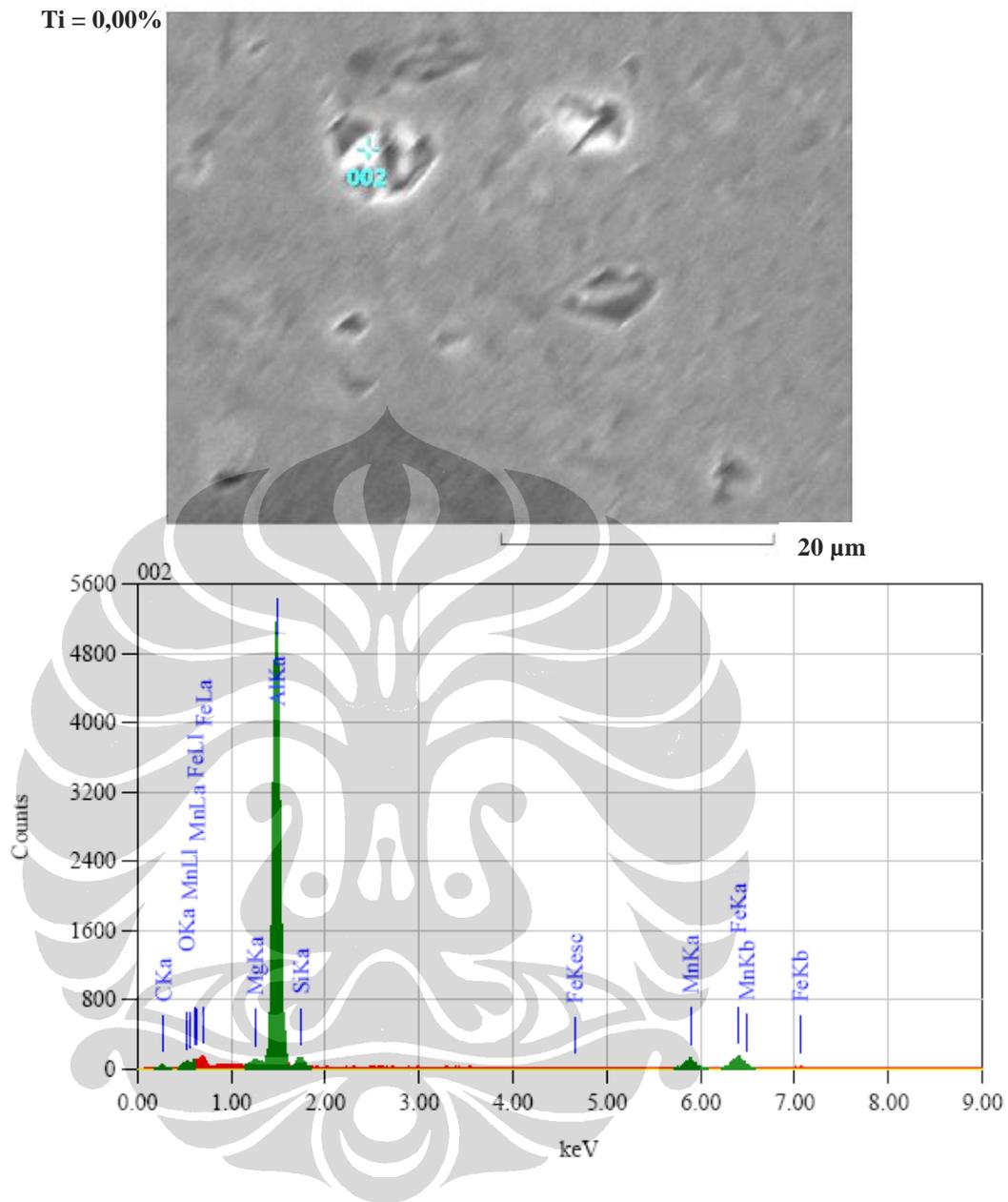
Jadi, dari hasil analisis SEM dan EDX ini bisa ditarik kesimpulan bahwa unsur titanium memancing terbentuknya presipitasi, sementara titanium itu sendiri tidak berada pada presipitasi tersebut.



Gambar 4.7 Struktur Mikro Permukaan Atas Lembaran Paduan Aluminium AA3104 Dengan Komposisi a) Ti = 0,00%, b) Ti = 0,010% dan c) Ti = 0,013%

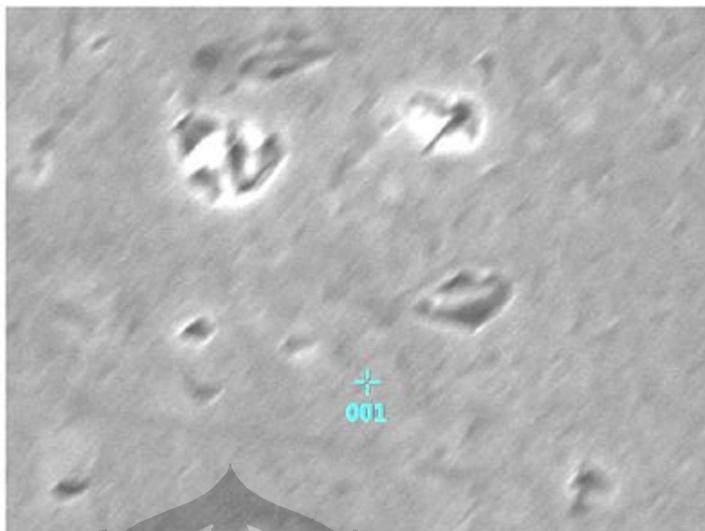


Gambar 4.8 Struktur Mikro Posisi Samping Lembaran Paduan Aluminium AA3104 Dengan Komposisi a) Ti = 0,00%, b) Ti = 0,010% dan c) Ti = 0,013%

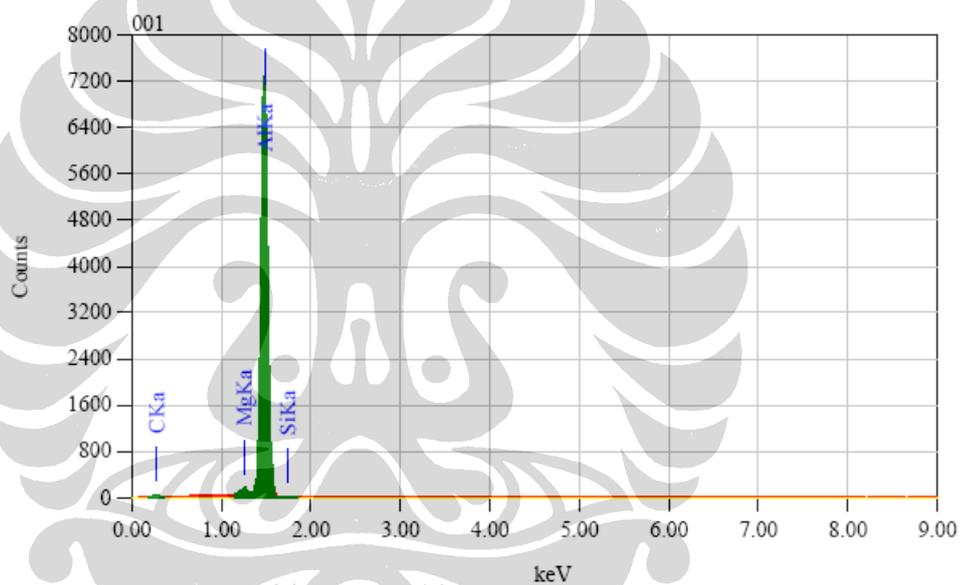


Gambar 4.9 Hasil Analisis EDX Pada Permukaan Atas Area Presipitasi Paduan Aluminium AA3104 Komposisi Titanium 0,00%

Ti = 0,00%



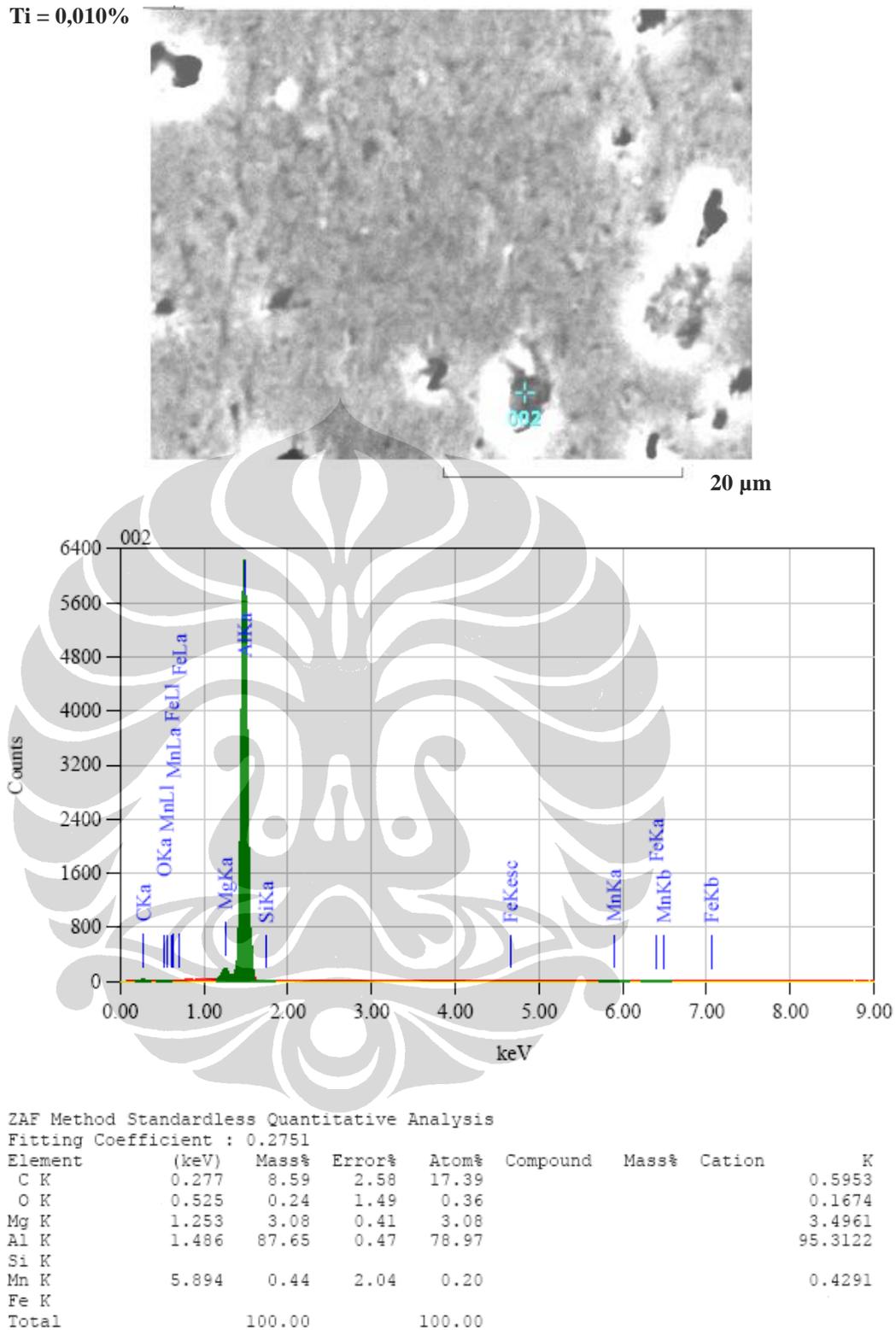
20 μm



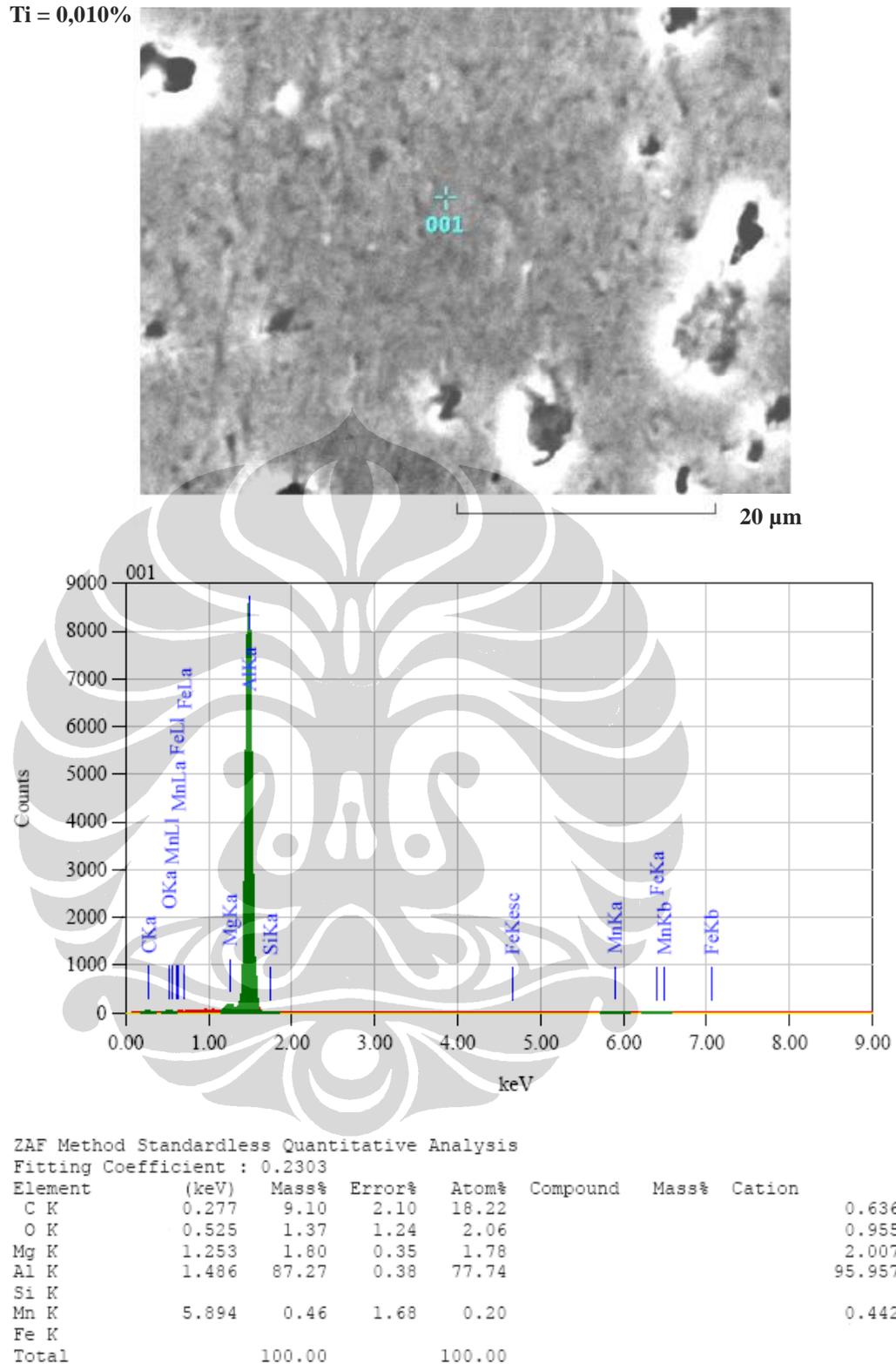
ZAF Method Standardless Quantitative Analysis  
Fitting Coefficient : 0.2927

Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	11.88	2.73	23.20				0.8557
Mg K	1.253	2.11	0.45	2.04				2.4294
Al K	1.486	86.01	0.50	74.77				96.7149
Si K								
Total		100.00		100.00				

Gambar 4.10 Hasil Analisis EDX Pada Permukaan Atas Area Non Presipitasi Paduan Aluminium AA3104 Komposisi Titanium 0,00%

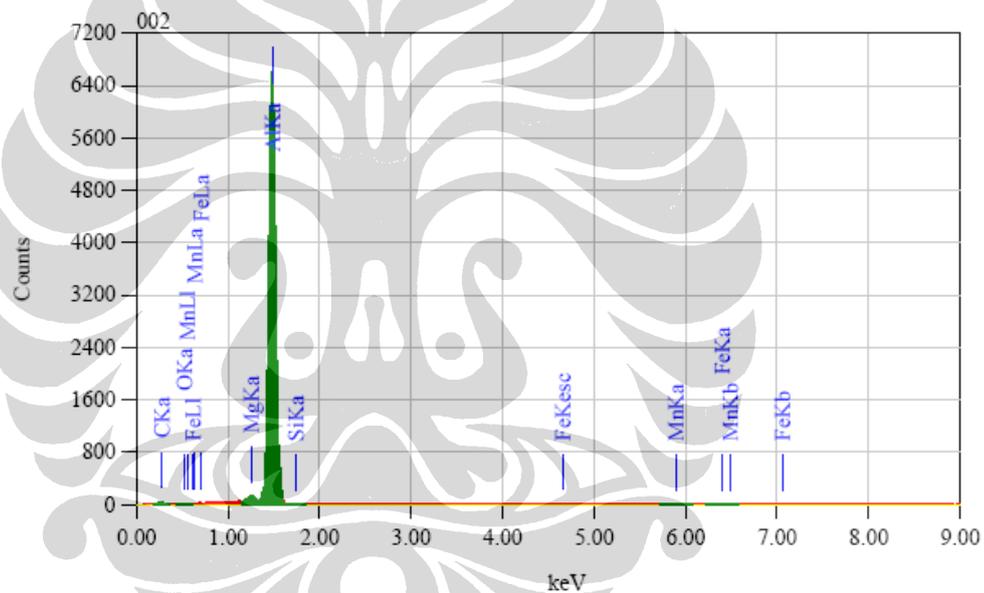
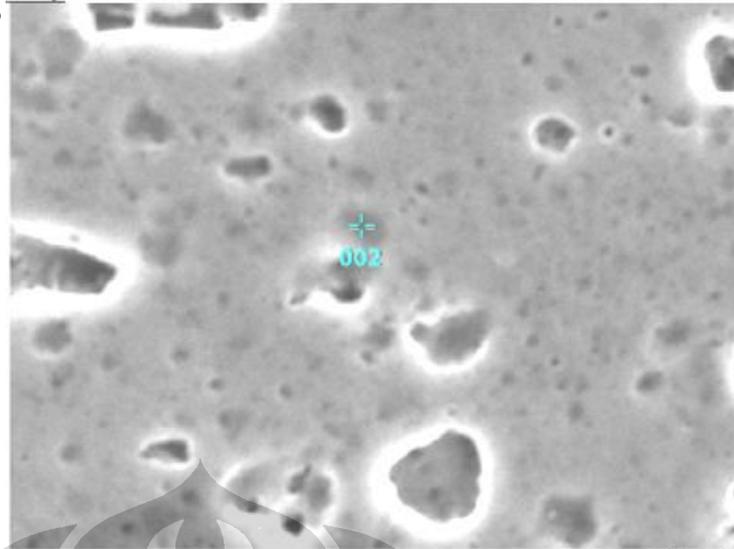


Gambar 4.11 Hasil Analisis EDX Pada Permukaan Atas Area Presipitasi Paduan Aluminium AA3104 Komposisi Titanium 0,010%



Gambar 4.12 Hasil Analisis EDX Pada Permukaan Atas Area Non Presipitasi Paduan Aluminium AA3104 Komposisi Titanium 0,010%

Ti = 0,013%

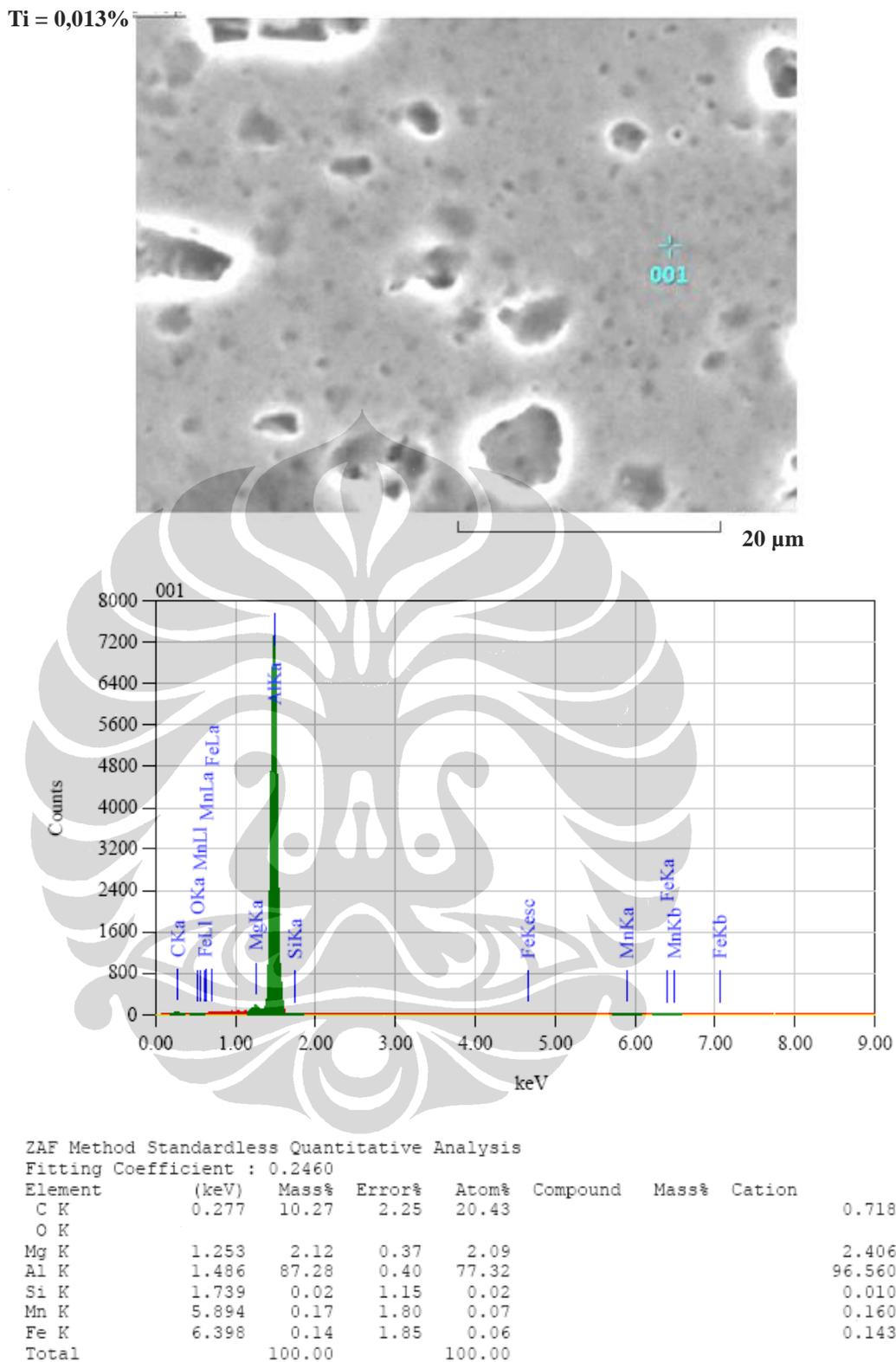


ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

Fitting Coefficient : 0.2374

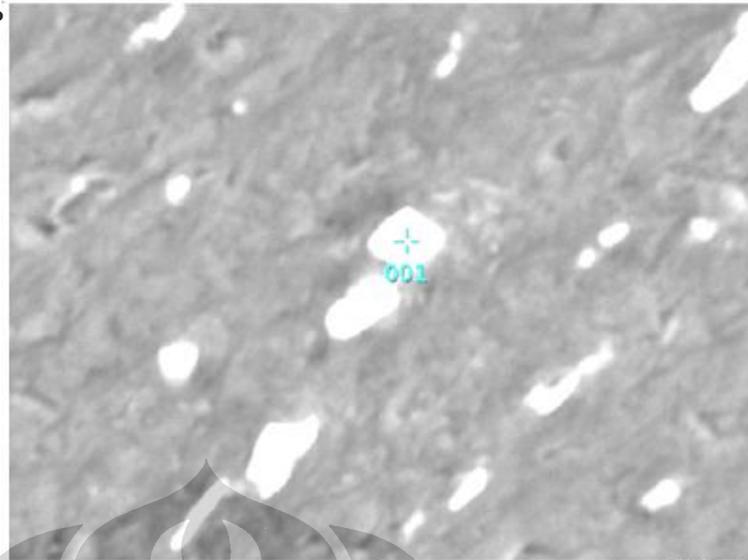
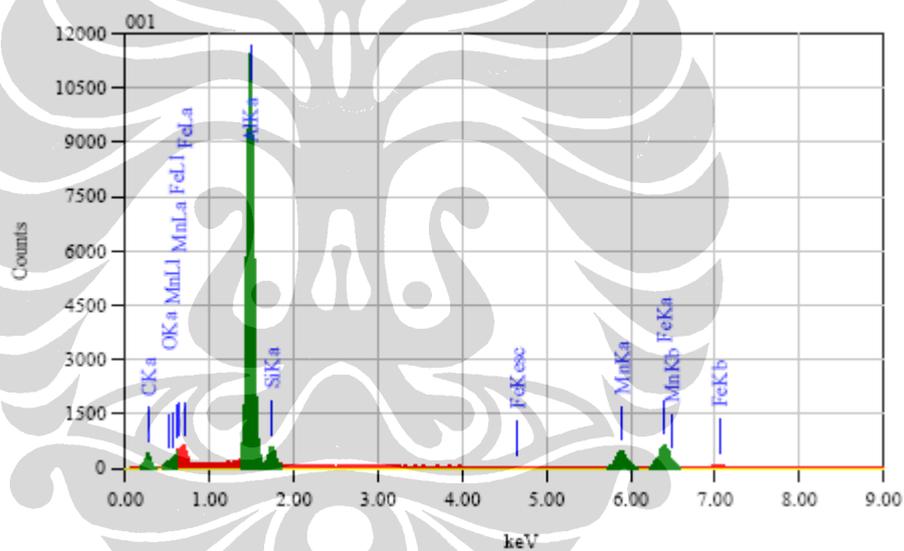
Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	12.13	2.04	23.57				0.8997
O K	0.525	0.72	1.28	1.05				0.4955
Mg K	1.253	1.88	0.35	1.81				2.1589
Al K	1.496	84.84	0.38	73.39				96.0142
Si K								
Mn K	5.894	0.29	1.68	0.12				0.2862
Fe K	6.398	0.14	1.72	0.06				0.1454
Total		100.00		100.00				

Gambar 4.13 Hasil Analisis EDX Pada Permukaan Atas Area Presipitasi Paduan Aluminium AA3104 Komposisi Titanium 0,013%



Gambar 4.14 Hasil Analisis EDX Pada Permukaan Atas Area Non Presipitasi Paduan Aluminium AA3104 Komposisi Titanium 0,013%

Ti = 0,00%

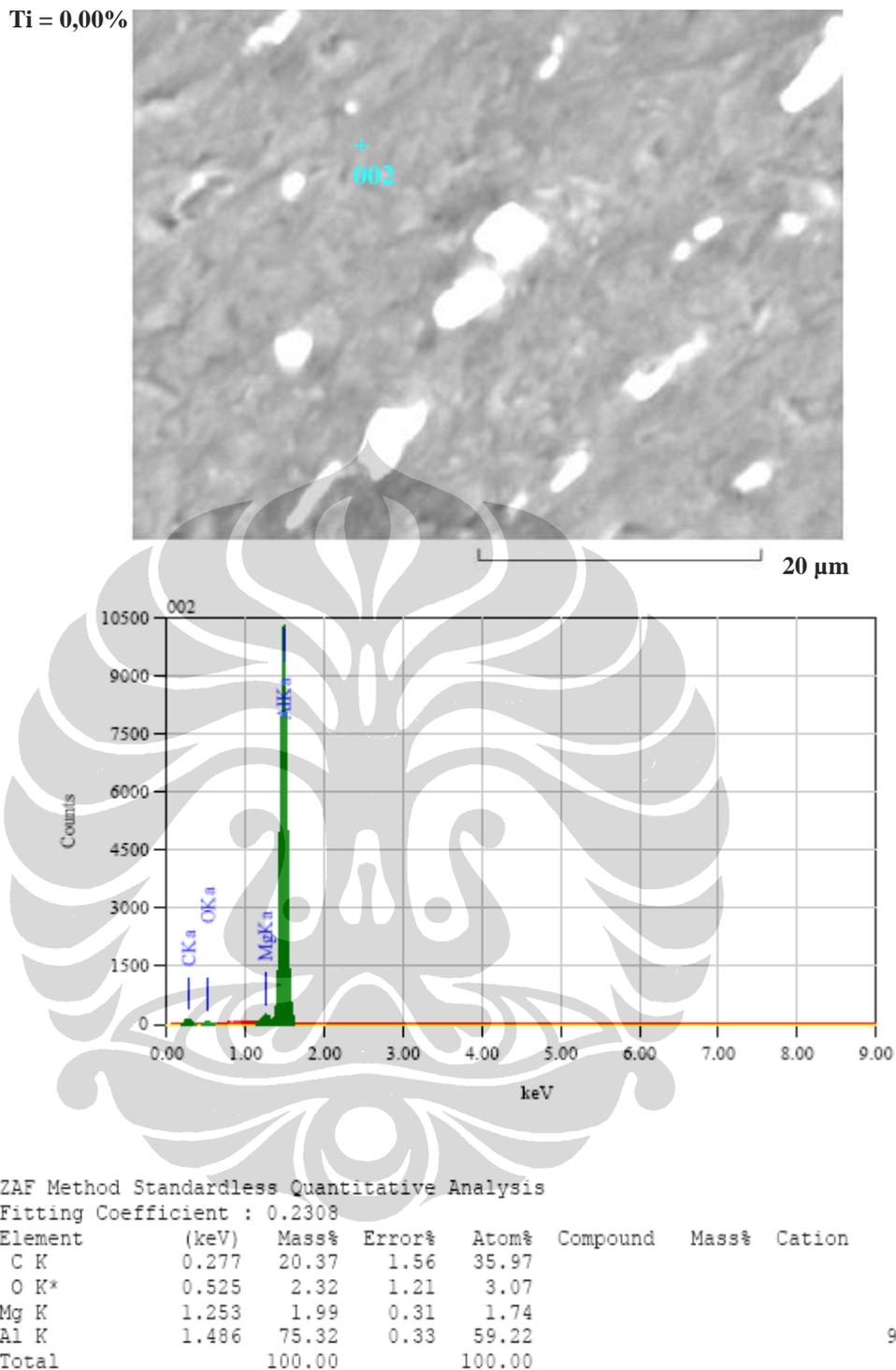
20  $\mu\text{m}$ 

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

Fitting Coefficient : 0.2463

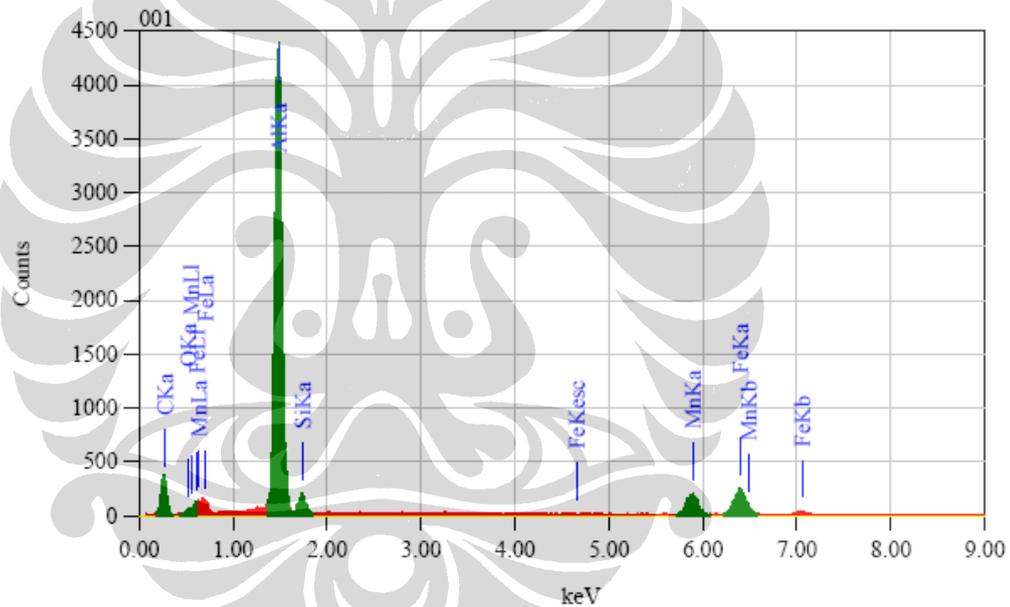
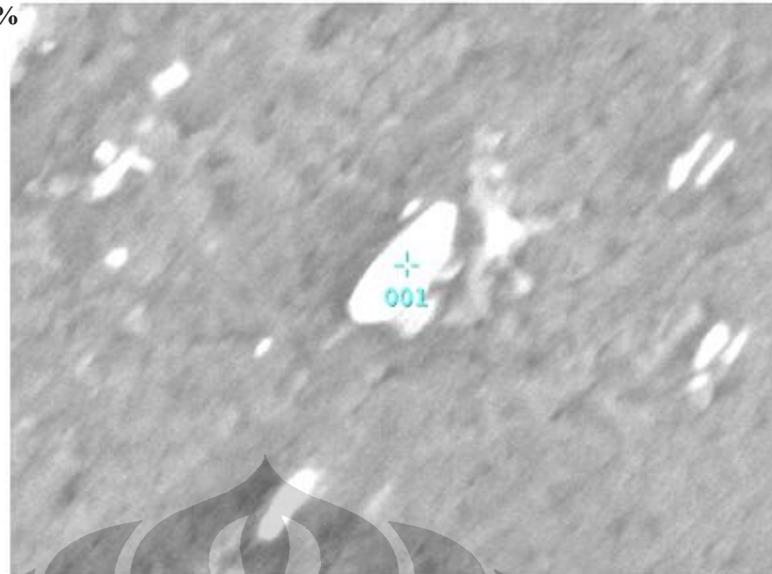
Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
C K*	0.277	24.29	0.68	45.32				3.9228
O K*	0.525	1.53	0.68	2.14				1.4423
Al K*	1.486	49.29	0.25	40.94				60.5270
Si K*	1.739	3.91	0.44	3.12				3.1895
Mn K*	5.894	8.30	0.83	3.38				12.0648
Fe K*	6.398	12.69	0.86	5.09				18.8535
Total		100.00		100.00				

Gambar 4.15 Hasil Analisis EDX Pada Permukaan Sampling Area Presipitasi Paduan Aluminium AA3104 Komposisi Titanium 0,00%



Gambar 4.16 Hasil Analisis EDX Pada Permukaan Samping Area Non Presipitasi Paduan Aluminium AA3104 Komposisi Titanium 0,00%

Ti = 0,010%



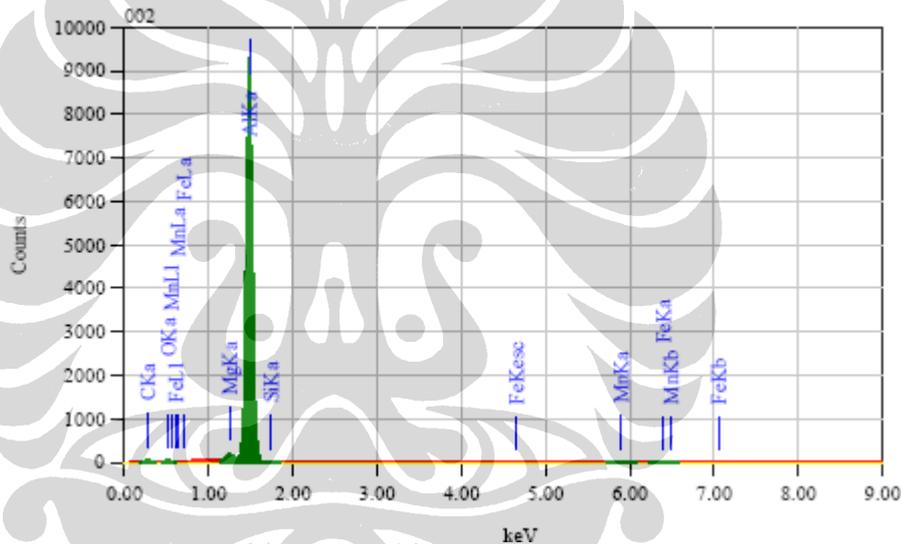
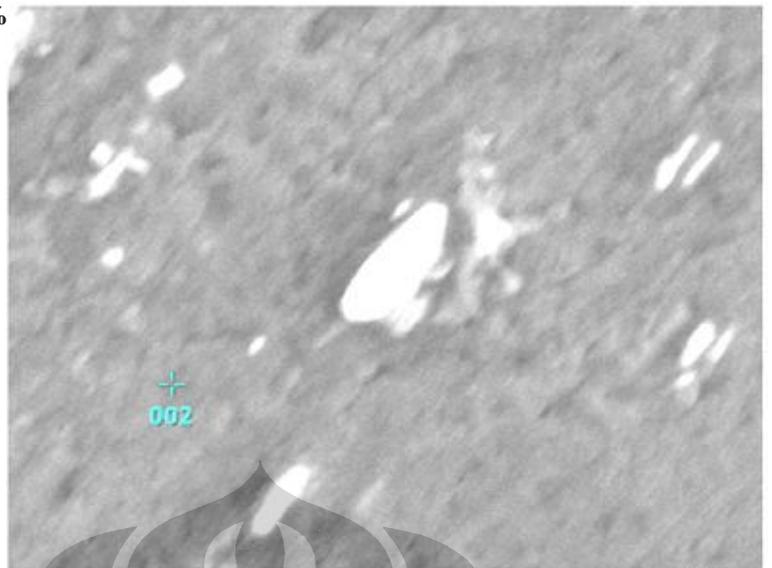
ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

Fitting Coefficient : 0.2561

Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
C K*	0.277	38.12	0.42	61.57				8.7584
O K*	0.525	1.20	0.63	1.45				1.0753
Al K	1.486	40.61	0.19	29.20				57.7947
Si K*	1.739	2.22	0.31	1.53				2.2475
Mn K*	5.894	7.50	0.64	2.65				12.5036
Fe K*	6.398	10.36	0.66	3.60				17.6206
Total		100.00		100.00				

Gambar 4.17 Hasil Analisis EDX Pada Permukaan Samping Area Presipitasi Paduan Aluminium AA3104 Komposisi Titanium 0,010%

Ti = 0,010%

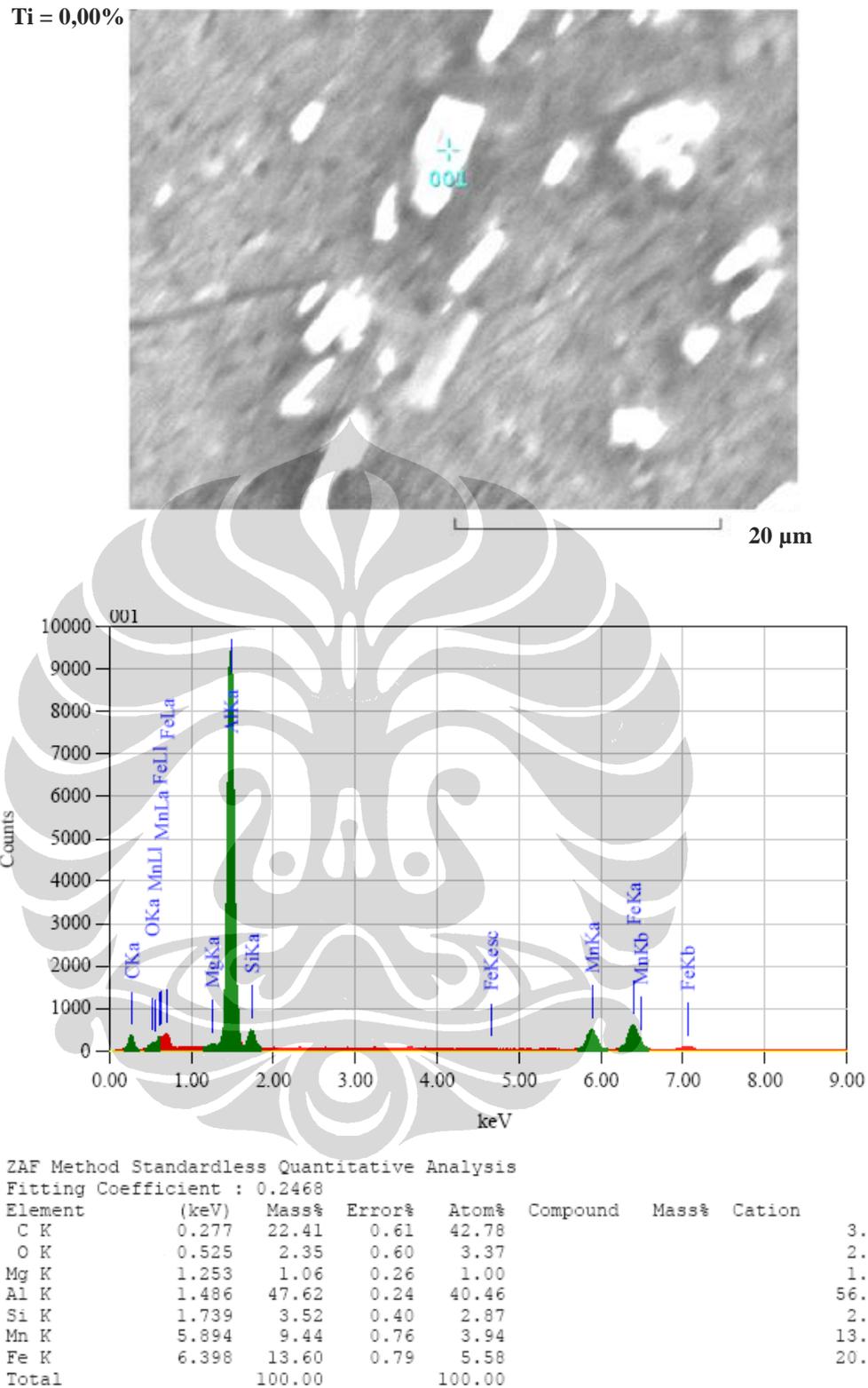


ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

Fitting Coefficient : 0.2390

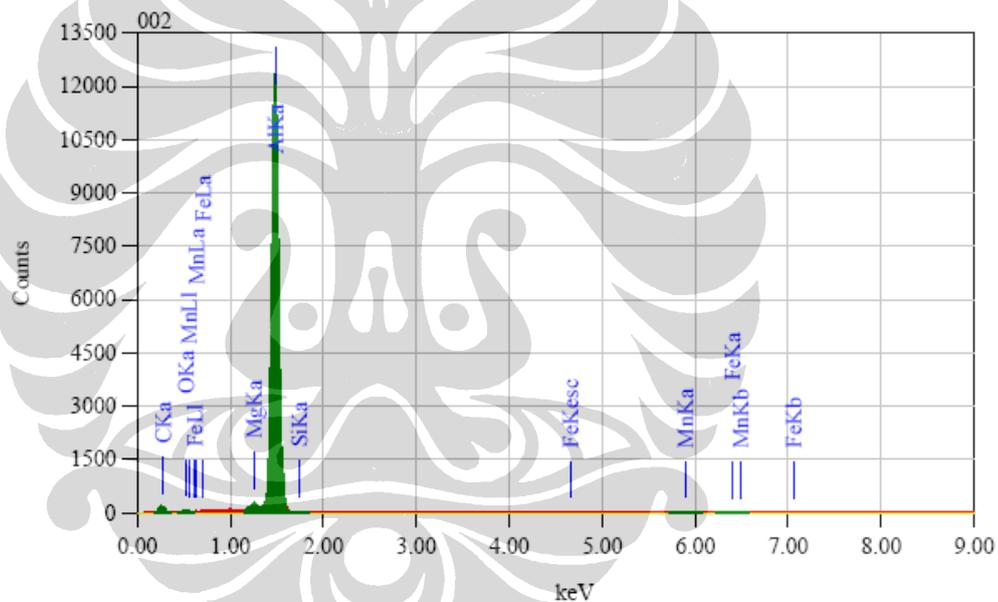
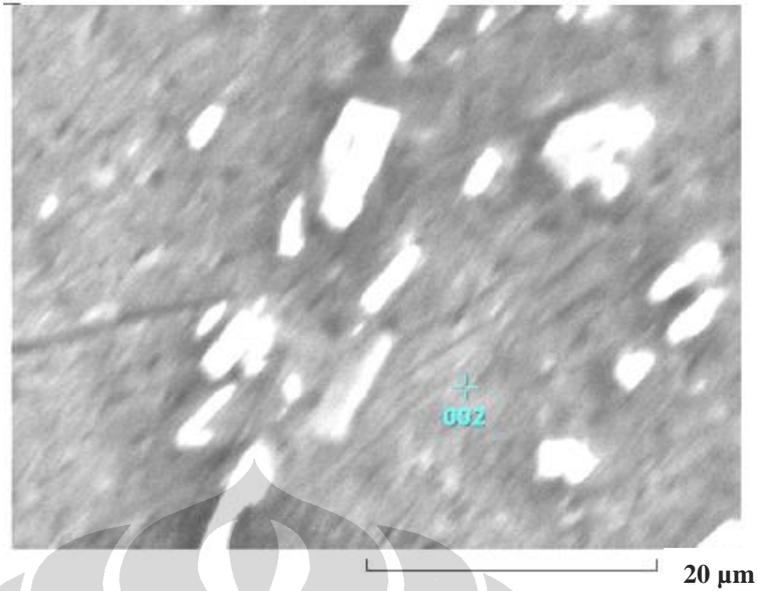
Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	14.95	1.90	27.98				1.2324
O K	0.525	2.09	1.30	2.94				1.4828
Mg K*	1.253	1.98	0.35	1.83				2.3312
Al K	1.486	80.44	0.38	67.03				94.3808
Si K								
Mn K	5.894	0.37	1.64	0.15				0.3939
Fe K	6.398	0.17	1.69	0.07				0.1788
Total		100.00		100.00				

Gambar 4.18 Hasil Analisis EDX Pada Permukaan Samping Area Non Presipitasi Paduan Aluminium AA3104 Komposisi Titanium 0,010%



Gambar 4.19 Hasil Analisis EDX Pada Permukaan Samping Area Presipitasi Paduan Aluminium AA3104 Komposisi Titanium 0,013%

Ti = 0,013%



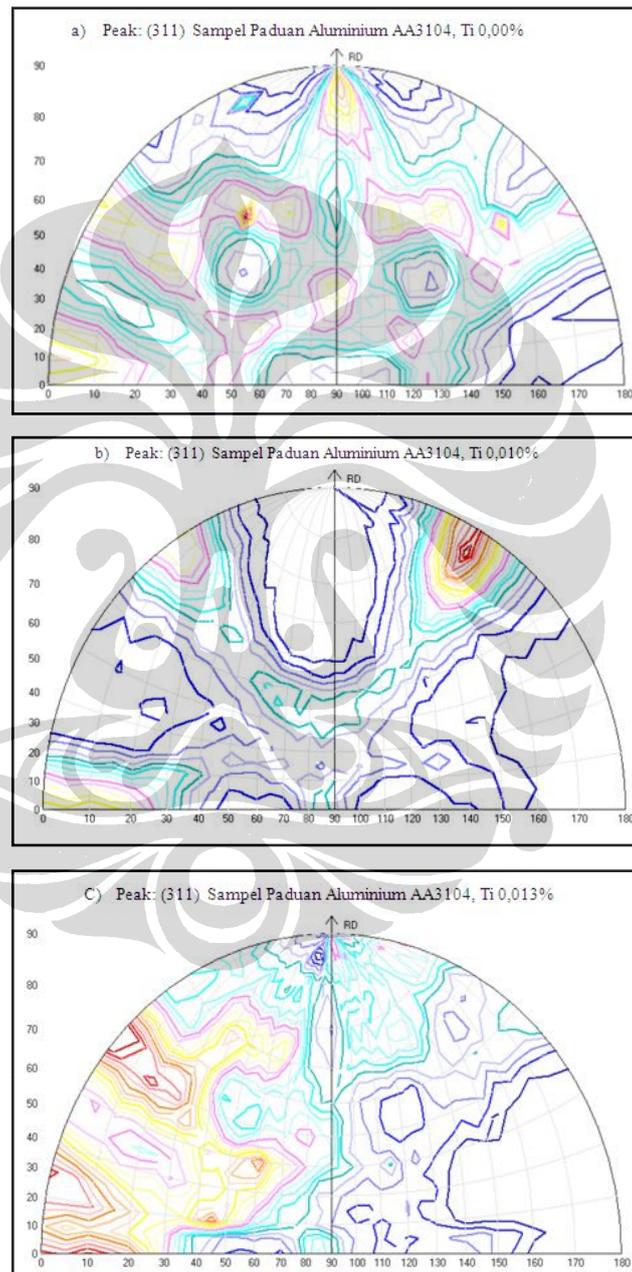
ZAF Method Standardless Quantitative Analysis  
Fitting Coefficient : 0.2359

Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
C	0.277	22.74	1.55	39.45				2.2620
O	0.525	1.66	1.28	2.16				1.1665
Mg	1.253	1.75	0.32	1.50				2.2195
Al	1.486	73.35	0.34	56.66				93.8348
Si	1.739	0.12	0.86	0.09				0.0681
Mn	5.894	0.38	1.47	0.14				0.4417
Fe	6.398	0.01	1.51	0.00				0.0074
Total		100.00		100.00				

Gambar 4.20 Hasil Analisis EDX Pada Permukaan Samping Area Non Presipitasi Paduan Aluminium AA3104 Komposisi Titanium 0,013%

#### 4.5 Pengaruh Titanium Pada Paduan Aluminium AA3104 Terhadap Tekstur

Pengujian tekstur dilakukan menggunakan *neutron scattering FCD/TD* (*Four Circle Diffractometer/Texture Diffractometer*) dengan hasil pengujian seperti dapat dilihat pada Gambar 4.21 dibawah ini.



Gambar 4.21 Tekstur Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti 0,00%, Ti 0,010% dan Ti 0,013% Pada Bidang (311)

Gambar 4.21 memperlihatkan distribusi tekstur dari 3 macam sampel yang diuji, dimana dengan didukung oleh tabel 4.2 dapat dilihat bahwa dengan adanya unsur titanium pada paduan aluminium AA3104 tersebut mengurangi timbulnya fasa kedua pada paduan tersebut.

Tabel 4.2 Distribusi Tekstur Pada Bidang (311) Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti 0,00%, Ti 0,010% dan Ti 0,013%

a) Distribusi Tekstur Pada Bidang (311) Sampel Paduan Aluminium AA3104, Ti 0,00%		
No.	$(\phi, \kappa)$	$I/I_{maks}(\%)$
1.	(0, 5)	70
2.	(50, 50)	100
3.	(90, 85)	75
4.	(157, 40)	65

b) Distribusi Tekstur Pada Bidang (311) Sampel Paduan Aluminium AA3104, Ti 0,010%		
No.	$(\phi, \kappa)$	$I/I_{maks}(\%)$
1.	(0, 0)	65
2.	(0, 50)	65
3.	(160, 60)	100

c) Distribusi Tekstur Pada Bidang (311) Sampel Paduan Aluminium AA3104, Ti 0,013%		
No.	$(\phi, \kappa)$	$I/I_{maks}(\%)$
1.	(0, 0)	95
2.	(0, 25)	95
3.	(0, 45)	100

Distribusi tekstur pada sampel paduan aluminium AA3104 dengan kandungan titanium 0,00% menunjukkan adanya 4 intensitas yang menonjol. Intensitas maksimal berada pada posisi  $\phi = 50^\circ$  dan  $\kappa = 50^\circ$ . Distribusi tekstur pada sampel paduan aluminium AA3104 dengan kandungan titanium 0,010% menunjukkan adanya 3 intensitas yang menonjol. Intensitas maksimal berada pada posisi  $\phi = 160^\circ$  dan  $\kappa = 60^\circ$ . Sedangkan distribusi tekstur pada sampel

dengan kandungan titanium 0,013% menunjukkan adanya 3 intensitas yang menonjol. Intensitas maksimal berada pada posisi  $\phi = 0^\circ$  dan  $\kappa = 45^\circ$ .

#### 4.6 Pengaruh Titanium Pada Paduan Aluminium AA3104 Terhadap Sifat Mekanik Material

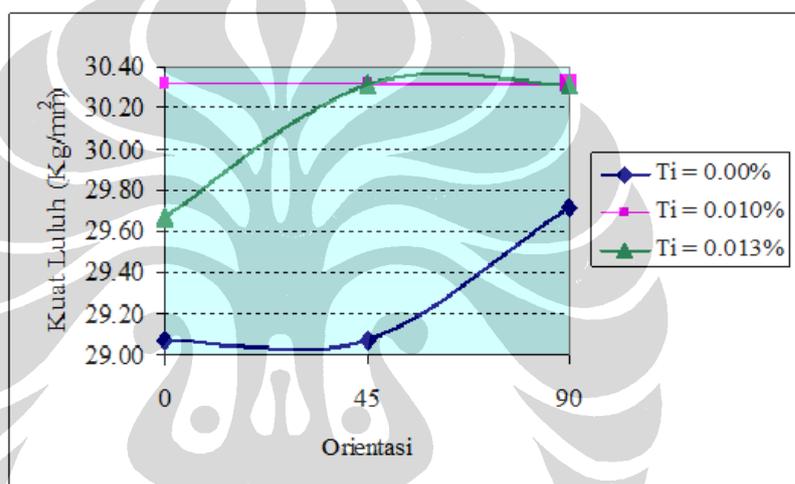
Analisis ini dilakukan untuk mengetahui sampai seberapa jauh pengaruh kandungan titanium pada paduan Aluminium AA3104 terhadap sifat mekanik material tersebut. Untuk itu maka dilakukan analisis uji tarik untuk mendapatkan nilai kekuatan tarik (*tensile strength*), kekuatan luluh (*yield strength*) dan perpanjangan atau regangan (*elongation*) pada 3 macam orientasi yaitu  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  dan  $90^\circ$  dengan 3 buah sampel pada setiap komposisi kimia dan 3 sampel untuk masing-masing orientasi.

##### 4.6.1 Pengaruh Titanium Terhadap Kekuatan Luluh (*Yield Strength*), Kekuatan Tarik dan Regangan Pada Paduan Aluminium AA3104 Yang Mengandung Titanium 0,00%, 0,010% dan 0,013%

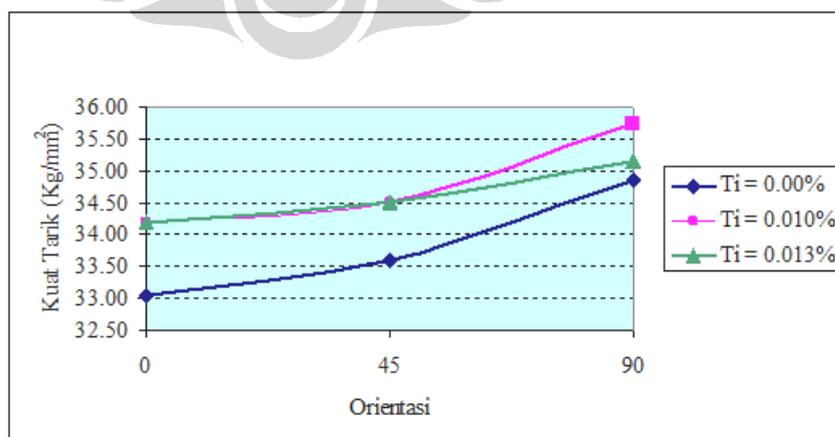
Gambar 4.22 dan 4.23 memperlihatkan pengaruh titanium terhadap kekuatan luluh dan kekuatan tarik dari paduan Aluminium AA3104. Kekuatan luluh paduan aluminium dengan titanium 0,00%, 0,010%, dan 0,013% secara berurutan adalah 29,07 – 29,72 kg/mm<sup>2</sup>, 30,32 kg/mm<sup>2</sup>, dan 29,07 - 30,32 kg/mm<sup>2</sup>. Sedangkan kekuatannya adalah 33,06 – 34,86 kg/mm<sup>2</sup>, 34,19 - 35,75 kg/mm<sup>2</sup>, dan 34,19 - 35,16 kg/mm<sup>2</sup>.

Data tersebut menunjukkan bahwa dengan hadirnya titanium pada paduan aluminium AA3104 menambah kekuatan luluh dan kekuatan tarik. Sesuai dengan hasil analisis XRD, kenaikan ini disebabkan karena titanium membentuk senyawa Ti<sub>3</sub>Al yang merupakan senyawa yang dapat meningkatkan volume fraksi intermetalik (Zeren dan Karakulak, 2009). Kekuatan luluh paduan aluminium AA3104 berhubungan dengan kekuatan kemasan kaleng untuk menahan tekanan dari dalam, terutama pada bagian dasar (*dome*) yang disebut dengan *dome reversal pressure* (DRP) dan kekuatan badan kaleng terhadap gaya vertikal (*axial load*).

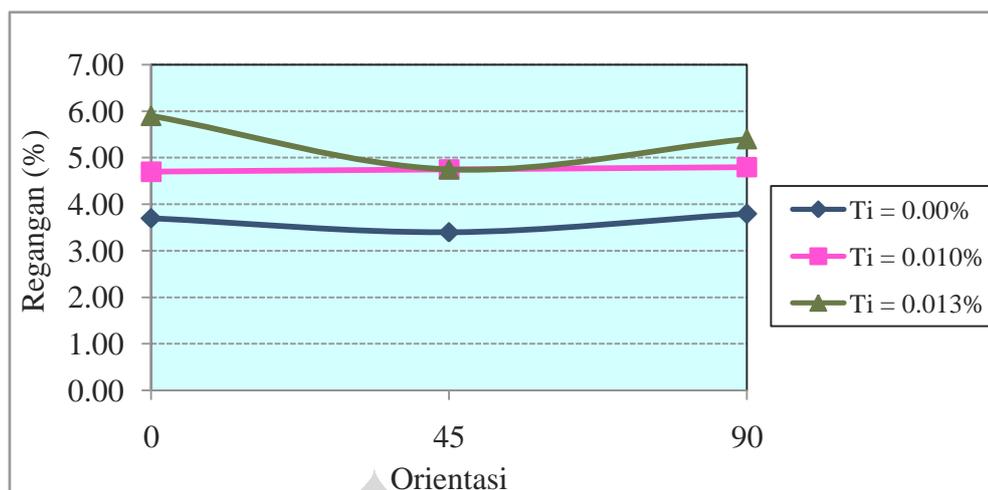
Gambar 4.24 memperlihatkan pengaruh titanium terhadap regangan paduan Aluminium AA3104 yang mengandung titanium 0,00%, 0,010%, dan 0,013%, dimana regangan secara berurutan adalah 3,45 – 3,85 %, 4,63 - 4,87 %, dan 4,73 - 5,93 %. Berdasarkan hal tersebut menunjukkan bahwa penambahan titanium menyebabkan terjadinya kenaikan regangan. Semakin tinggi nilai regangan material akan semakin baik sifat mampu bentuknya. Dimana, material yang digunakan untuk proses *deep drawing* harus memiliki nilai regangan diatas 3% (Ding. S. 1997).



Gambar 4.22 Grafik Kekuatan Luluh Paduan Aluminium AA3104 Pada Orientasi 0°, 45° dan 90° Sebelum Pemanasan



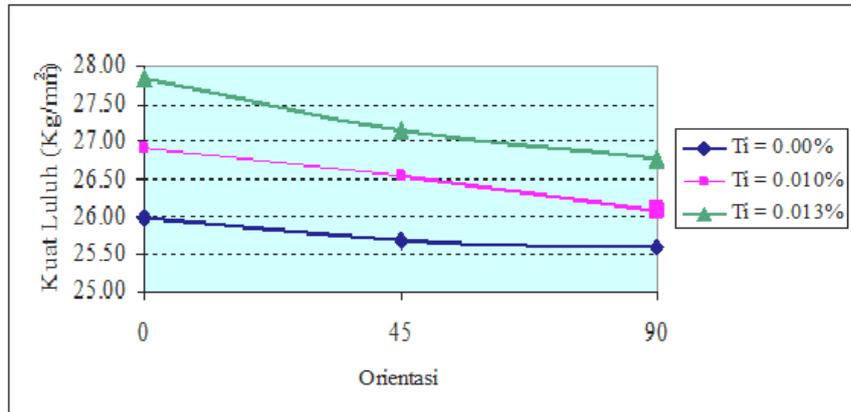
Gambar 4.23 Grafik Kekuatan Tarik Paduan Aluminium AA3104 Pada Orientasi 0°, 45° dan 90° Sebelum Pemanasan



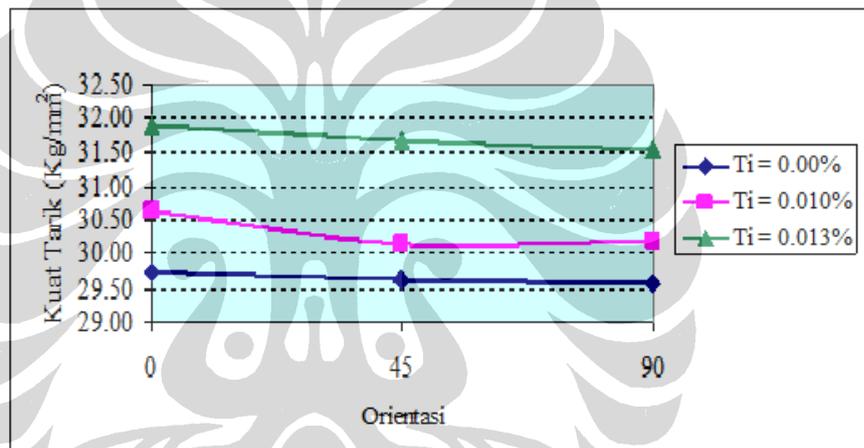
Gambar 4.24 Grafik Regangan Paduan Aluminium AA3104 Pada Orientasi 0°, 45° dan 90°

Disamping itu dianalisis pula kekuatan luluh, kekuatan tarik dan regangan material paduan aluminium AA3104 setelah dilakukan pemanasan dengan temperatur 210° C selama 10 menit. Analisis ini adalah sebagai simulasi yang disesuaikan dengan temperatur proses produksi kemasan kaleng pada waktu pengeringan lapisan bagian dalam dan tinta dekorasi.

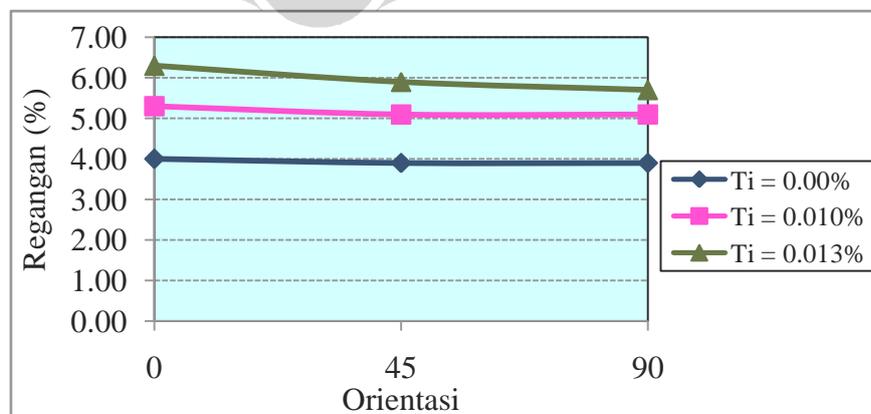
Gambar 4.25, 4.26 dan 4.27 memperlihatkan pengaruh pemanasan terhadap kekuatan luluh, kekuatan tarik dan regangan paduan aluminium AA3104 yang mengandung titanium 0,00%, 0,010% dan 0,013%. Kekuatan luluh dan kekuatan tarik menurun setelah dilakukann pemanasan. Fenomena penurunan kekuatan tarik ini disebabkan karena menurunnya efek *strain hardening* pada material aluminium yang dikuatkan melalui pengerjaan dingin. Sebaliknya, setelah pemanasan terjadi kenaikan regangan (Gambar 4.27), regangan adalah merupakan tingkat keuletan material. Biasanya dengan kenaikan suhu, kekuatan akan turun sedangkan keuletan akan bertambah (Adnyana, 1993).



Gambar 4.25 Grafik Kekuatan Luluh Paduan Aluminium AA3104 Pada Orientasi 0°, 45° dan 90° Setelah Pemanasan 210°C Selama 10 Menit



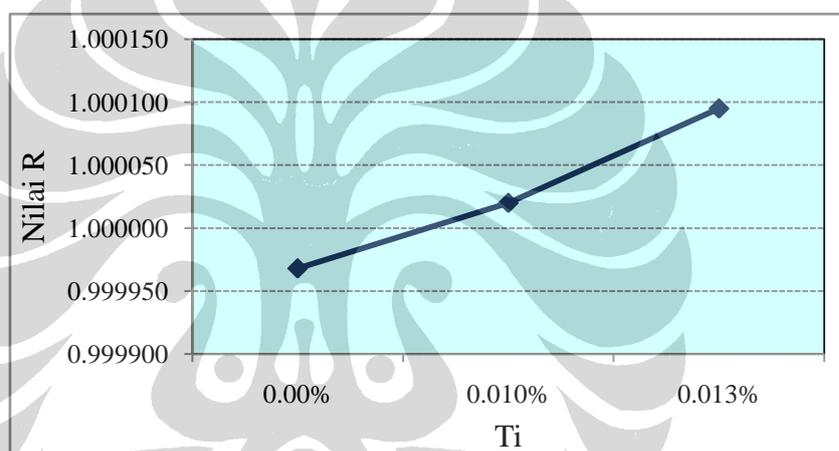
Gambar 4.26 Grafik Kekuatan Tarik Paduan Aluminium AA3104 Pada Orientasi 0°, 45° dan 90° Setelah Pemanasan 210°C Selama 10 Menit



Gambar 4.27 Grafik Regangan Paduan Aluminium AA3104 Pada Orientasi 0°, 45° dan 90° Setelah Pemanasan 210°C Selama 10 Menit

#### 4.6.2 Pengaruh Titanium Pada Paduan Aluminium AA3104 Terhadap Nilai R

Gambar 4.28 memperlihatkan pengaruh kandungan titanium pada paduan Aluminium AA3104 terhadap nilai R, dapat dilihat bahwa nilai R meningkat dengan semakin tingginya kandungan titanium, dimana pada paduan Aluminium dengan titanium 0,00% nilai R nya dibawah 1 dan dengan kandungan titanium 0,013% nilai R berada diatas 1. Dengan nilai R diatas 1, maka paduan tersebut cocok untuk digunakan sebagai bahan baku produk yang diproses secara penarikan dalam (*deep drawing*) (Muda. I, 2003) sebagaimana yang digunakan pada proses pembentukan badan kemasan kaleng untuk minuman.



Gambar 4.28 Grafik Nilai R Paduan Aluminium AA3104 dengan Kandungan Ti 0,00%, 0,010% dan 0,013%

#### 4.7 Pengaruh Titanium Pada Paduan Aluminium AA3104 Terhadap *Limiting Drawing Ratio (LDR)*

Analisis LDR dilakukan menggunakan mesin *cupper* yang membentuk *Cup* untuk mengetahui kemampuan *draw-ability*, dan dilanjutkan dengan proses *ironing* pada mesin *body maker*. Dalam hal ini digunakan 3 ukuran *punch* yang berbeda, yaitu 86,28 mm, 90,00 mm dan 93,00 mm, sedangkan ukuran *blank* nya sama, yaitu 139,57 mm.

LDR untuk punch diameter 86,28 mm adalah  $139,57/86,28 = 1,62$ .

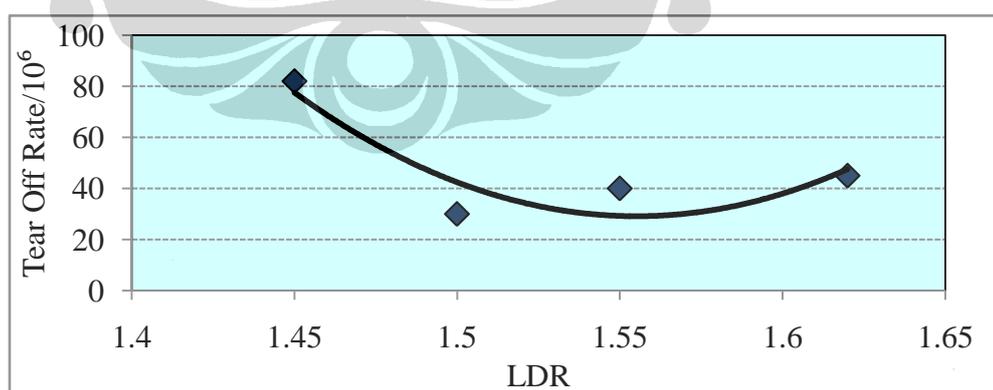
LDR untuk punch diameter 90,00 mm adalah  $139,57/90,00 = 1,55$ .

LDR untuk punch diameter 93,00 mm adalah  $139,57/93,00 = 1,50$ .

LDR untuk punch diameter 96,00 mm adalah  $139,57/96,00 = 1,45$ .

Analisis kegagalan proses *ironing* (*tear off rate*) pada mesin body maker dibandingkan antara LDR 1,62 , 1,55 , 1,50 dan 1,45 untuk menentukan mana yang terbaik. Lampiran 6 adalah data LDR dari 4 ukuran diameter punch yang berbeda dan nilai kegagalan proses *ironing* (*tear off rate*) dari keempat nilai LDR tersebut. Gambar 4.29 memperlihatkan kecenderungan *tear off rate* dari keempat nilai LDR yang dibentuk dari 4 diameter punch. Dari hasil plot tersebut menunjukkan bahwa LDR 1,50 mempunyai nilai *tear off rate* terbaik, dan ada kecenderungan naik pada LDR yang lebih rendah dan lebih tinggi dari 1,50. Hal ini bisa dimungkinkan karena tingkat *stress* material pada LDR 1,50 lebih rendah dan sebaliknya pada LDR 1,60 tingkat *stress* nya lebih tinggi sehingga lebih mudah putus (*tear off*) pada proses *ironing* yang merupakan kelanjutan proses dari *drawing* pada mesin cupper. Jadi dari Gambar 4.29 dapat disimpulkan bahwa LDR 1,50 adalah yang terbaik pengaruhnya terhadap *tear off rate*.

Gambar 4.30 memperlihatkan contoh kegagalan pembentukan kaleng pada proses *drawn ironing*, 90% dari kegagalan tersebut adalah putus pada posisi sekitar 2 cm dari bagian bawah kaleng, 2% bolong pada bagian tengah cup dan 8% sobek memanjang dari atas hingga bagian bawah kaleng. Semua kegagalan ini berhubungan erat dengan sifat mekanik material yang digunakan, karena pada saat dilakukan percobaan semua proses adalah sama kecuali material yang berbeda.



Gambar 4.29 Grafik Pengaruh LDR Terhadap *Tear Off Rate*



Gambar 4.30 Contoh Jenis Kegagalan Kaleng (*Tear Off*)

#### 4.8 Pengaruh Titanium Pada Paduan Aluminium AA3104 Terhadap Kekuatan Kaleng

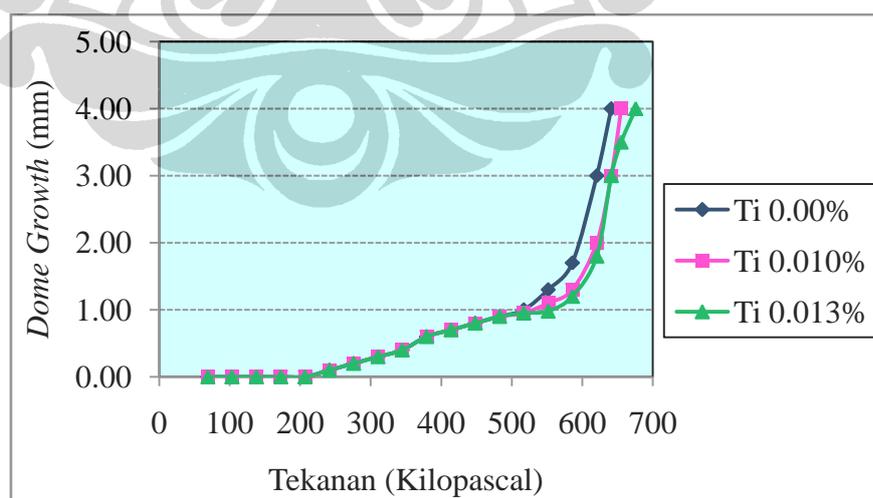
Diketahui bahwa disamping paduan Aluminium yang dipakai, bentuk bagian bawah kaleng (*dome profile*) juga mempunyai pengaruh besar terhadap kekuatan dome. Dalam hal kekuatan kaleng ada 3 parameter penting yang perlu diperhatikan, yaitu perubahan dome (*dome growth*), kekuatan dome secara keseluruhan (*Dome Reversal Pressure* – DRP) dan kekuatan kaleng menahan gaya vertikal (*axial load*). Ketiga parameter penting tersebut berhubungan dengan proses pengisian kaleng di pelanggan, dimana dilakukan pengisian dengan tekanan gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) bisa mencapai gas volume 4% yang apabila di konversikan menjadi tekanan pada temperatur 25°C adalah 4,3 bar atau 62,36 PSI (Mitchell, 2004). Setelah itu dilakukan penutupan dengan proses penekukan ganda (*double seaming*).

##### 4.8.1 Pengaruh Titanium Pada Paduan Aluminium AA3104 Terhadap Perubahan Bentuk *Dome* (*Dome Growth*)

*Dome growth* adalah perubahan struktur dome dari ukuran aslinya karena adanya tekanan dari dalam setelah kaleng diisi dengan produk bertekanan. Hal ini merupakan deformasi dari bagian bawah kaleng yang dengan kondisi tekanan terus-menerus (*dynamic pressure*) bisa terjadi *dome reversal pressure*. Penelitian ini dilakukan menggunakan bentuk dan ukuran kaleng secara komersial, dan

menggunakan *buckle tester* yang di kalibrasi secara baik dan berkala. Data hasil analisis *dome growth* dapat dilihat pada lampiran 7, yang selanjutnya diolah dalam bentuk grafik. Bagian yang paling lemah terjadinya *dome growth* adalah pada bagian hidung (*nose*), karena pada area tersebut terjadi penipisan (*thinning*) disebabkan tumbukan antara punch dan *extractor domer* (Shen, 1993).

Gambar 4.31 memperlihatkan grafik progres terjadinya *dome growth* dari 3 sampel yang dianalisis. Dapat dilihat pada tekanan 0 – 70 PSI (482 kilopascal) ke 3 sampel mempunyai nilai *growth* yang sama. Pada tekanan diatas 482 kilopascal, mulai kelihatan perbedaannya antara Sampel dengan Ti = 0,00% dan sempel dengan Ti = 0,010%, serta sampel dengan Ti = 0,013%. Sampel dengan Ti = 0,00% mempunyai nilai *dome growth* yang lebih tinggi (lemah) diikuti dengan sampel dengan Ti = 0.01% dan sampel dengan Ti = 0.013%. Jadi disini jelas sekali dapat dilihat bahwa paduan Aluminium AA3104 yang mengandung titanium mempunyai nilai *dome growth* lebih rendah (lebih kuat). Hal ini mempunyai hubungan positif dengan hasil analisa XRD, dimana dideteksi terbentuknya senyawa Ti3Al yang merupakan senyawa intermetalik yang keras. Didukung juga dengan hasil analisis SEM, dimana dengan kehadiran titanium merangsang tumbuhnya presipitasi yang lebih luas dan presipitasi ini dapat menahan gerakan dislokasi.



Gambar 4.31 Grafik *Dome Growth* Pada Badan Kaleng Menggunakan Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti = 0,00%, Ti = 0,010% dan Ti = 0,013%

Dari Gambar 4.31 juga dapat dijelaskan bahwa, terjadinya *growth* yang berbeda antara kaleng yang dibuat dari paduan Aluminium dengan kandungan Ti = 0,00%, Ti = 0,010% dan Ti = 0,013%, dimana kandungan Ti menunjukkan pengaruh kekuatan selama diberikan tekanan. Bentuk *dome* menjadi tidak stabil setelah diberikan tekanan dari dalam, hal ini adalah suatu awal terjadinya *dome reversal pressure* (DRP). Dalam hal ini hasil pengukuran DRP adalah 93 PSI (640,77 kilopascal) untuk Ti 0,00%, 96 PSI (661,44 kilopascal) untuk TI 0,010% dan 98 PSI (675,22 kilopascal) untuk kandungan Ti 0.013%. Lokasi yang paling lemah pada waktu diberikan tekanan pada dome profile TSK-UCC adalah pada bagian hidung dan selama tekanan berlangsung pada bagian *dome* tersebut terjadi deformasi secara elastik. Karena bagian hidung dan dinding hidung (*chime*) adalah bagian yang paling kritis dalam hal hubungannya dengan *dome growth* dan DRP (Shen, 1993).

#### 4.8.2 Pengaruh Titanium Pada Paduan Aluminium AA3104 Terhadap *Dome Reversal Pressure* (DRP)

Kekuatan kaleng menahan tekanan dari dalam adalah suatu hal penting pada kemasan kaleng minuman ringan, karena semua minuman yang dikemas adalah bertekanan, baik menggunakan kabondioksida (CO<sub>2</sub>) pada minuman dengan pengisian dingin maupun nitrogen cair (N<sub>2</sub>) pada minuman dengan pengisian panas. Tekanan dari dalam pada kemasan kaleng tersebut bertujuan untuk menghindari agar kaleng tidak penyok atau lembek. Adapun tekanan pada setiap jenis minuman berbeda-beda antara 40 – 50 PSI (341 - 427 kilopascal) pada suhu ruang (25<sup>0</sup> C), tekanan ini akan naik sejalan dengan kenaikan temperatur (Mitchell, 2004).

Data hasil pengukuran *Dome Reversal Pressure* kaleng yang dibuat dari lembaran paduan Aluminium AA3104 dengan kandungan Ti 0,00% (Lampiran 8), kaleng tersebut disimulasikan dengan cara (A) tanpa pemanasan, (B) pemanasan pada temperatur 210°C selama 2 menit, (C) 210°C selama 6 menit, (D) 210° C selama 8 menit, dan (E) 210° C selama 10 menit.

Data hasil pengukuran *Dome Reversal Pressure* kaleng yang dibuat dari lembaran paduan Aluminium dengan kandungan Ti 0,010% (Lampiran 9), kaleng

tersebut disimulasikan dengan cara (A) tanpa pemanasan, (B) pemanasan pada temperatur 210° C selama 2 menit, (C) 210°C selama 6 menit, (D) 210° C selama 8 menit, dan (E) 210° C selama 10 menit.

Data hasil pengukuran *Dome Reversal Pressure* kaleng yang dibuat dari lembaran paduan Aluminium dengan kandungan Ti 0,013% (Lampiran 10), kaleng tersebut disimulasikan dengan cara (A) tanpa pemanasan, (B) pemanasan pada temperatur 210°C selama 2 menit, (C) 210°C selama 6 menit, (D) 210° C selama 8 menit, dan (E) 210° C selama 10 menit.

Gambar 4.32 memperlihatkan perbandingan DRP secara individual kaleng yang dibuat dari lembaran paduan Aluminium dengan kandungan Ti 0,00% sebelum dan sesudah pemanasan, dimana dapat terlihat dengan jelas bahwa setelah pemanasan DRP turun rata-rata 7 PSI (48 kilopascal) atau 7,1%, adapun jumlah pemanasan tidak berpengaruh terhadap turunnya DRP.

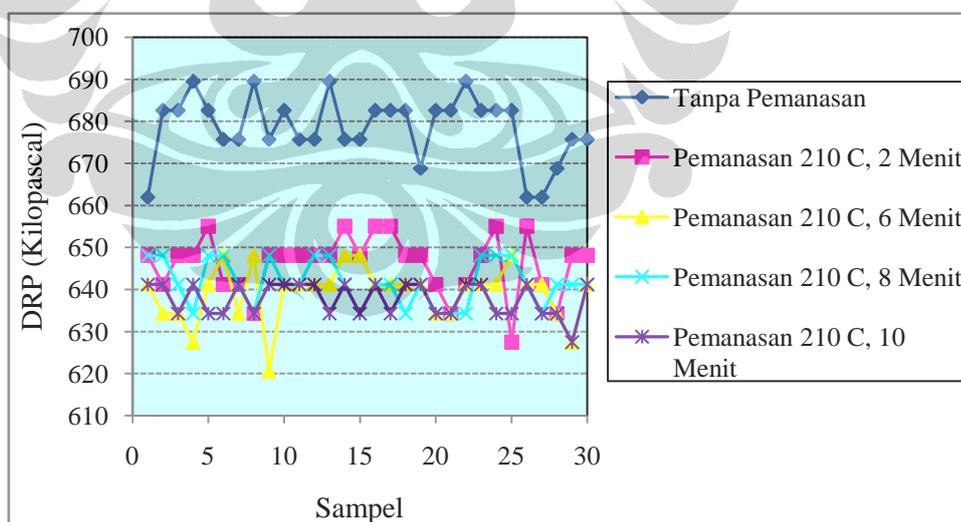
Gambar 4.33 memperlihatkan perbandingan DRP secara individual kaleng yang dibuat dari lembaran paduan Aluminium dengan kandungan Ti 0,010% sebelum dan sesudah pemanasan, dimana dapat terlihat dengan jelas bahwa setelah pemanasan DRP turun rata-rata 6 PSI (41,3 kilopascal) atau 5,88%, adapun jumlah pemanasan tidak berpengaruh terhadap turunnya DRP.

Gambar 4.34 memperlihatkan perbandingan DRP secara individual kaleng yang dibuat dari lembaran paduan Aluminium dengan kandungan Ti 0,013% sebelum dan sesudah pemanasan, dimana dapat terlihat dengan jelas bahwa setelah pemanasan DRP turun rata-rata 7 PSI (48 kilopascal) atau 6,73%, adapun jumlah pemanasan tidak berpengaruh terhadap turunnya DRP.

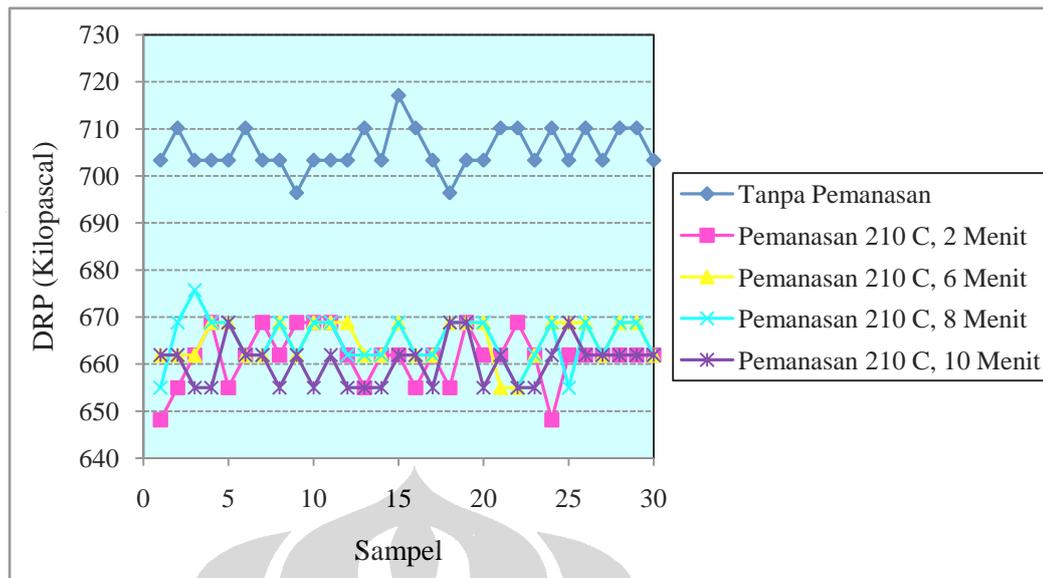
Gambar 4.35 memperlihatkan perbandingan rata-rata DRP dari lembaran paduan Aluminium dengan kandungan Ti 0,00%, Ti 0,010%, dan Ti 0,013% sebelum dan sesudah pemanasan. Dimana dapat dilihat secara jelas bahwa semakin tinggi persentase titanium pada paduan aluminium AA3104 menghasilkan DRP yang semakin tinggi. Sebelum pemanasan kenaikan DRP dari aluminium dengan kandungan Ti 0,00% ke Ti 0,010% rata-rata 4 PSI (27,6 kilopascal) atau 4,08%, dari aluminium dengan kandungan Ti 0,00% ke Ti 0,013% rata-rata 6 PSI (6,12%). Dari aluminium dengan kandungan Ti 0,010% ke Ti 0,013% rata-rata 2 PSI (13,78 kilopascal) atau 2%. Sedangkan setelah

pemanasan kenaikan DRP dari aluminium dengan kandungan Ti 0,00% ke Ti 0,010% rata-rata 4 PSI (27,6 kilopascal) atau 4,34%. Dari aluminium dengan kandungan Ti 0,00% ke Ti 0,013% rata-rata 5 PSI (34,45 kilopascal) atau 5,43%. Sedangkan dari Aluminium dengan kandungan Ti 0,010% ke Ti 0,013% rata-rata 1 PSI (6,89 kilopascal) atau 1,04%.

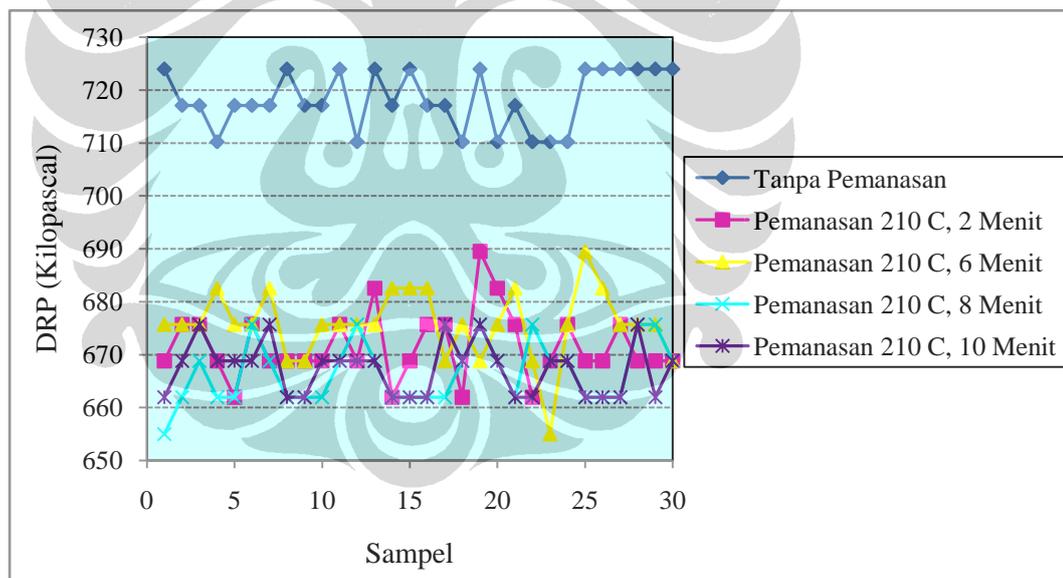
Adapun penurunan rata-rata DRP setelah pemanasan dari ketiga sampel relatif sama, yaitu aluminium dengan kandungan Ti 0,00% turun 6 PSI (6,12%), aluminium dengan kandungan Ti 0,010% turun 6 PSI ( 5,88%). Aluminium dengan kandungan Ti 0,013% turun 7 PSI (6,7%). Analisis dari data tersebut diatas dapat diketahui bahwa kandungan titanium pada paduan Aluminium AA3104 dapat menambah kekuatan paduan aluminium. Hal ini mempunyai hubungan positif dengan hasil analisa dengan XRD, dimana dengan adanya titanium, terbentuk senyawa  $Ti_3Al$  yang merupakan senyawa intermetalik yang keras. Didukung juga dengan hasil analisis SEM, dimana dengan kehadiran titanium merangsang tumbuhnya presipitasi yang lebih luas dan presipitasi ini dapat menahan gerakan dislokasi.



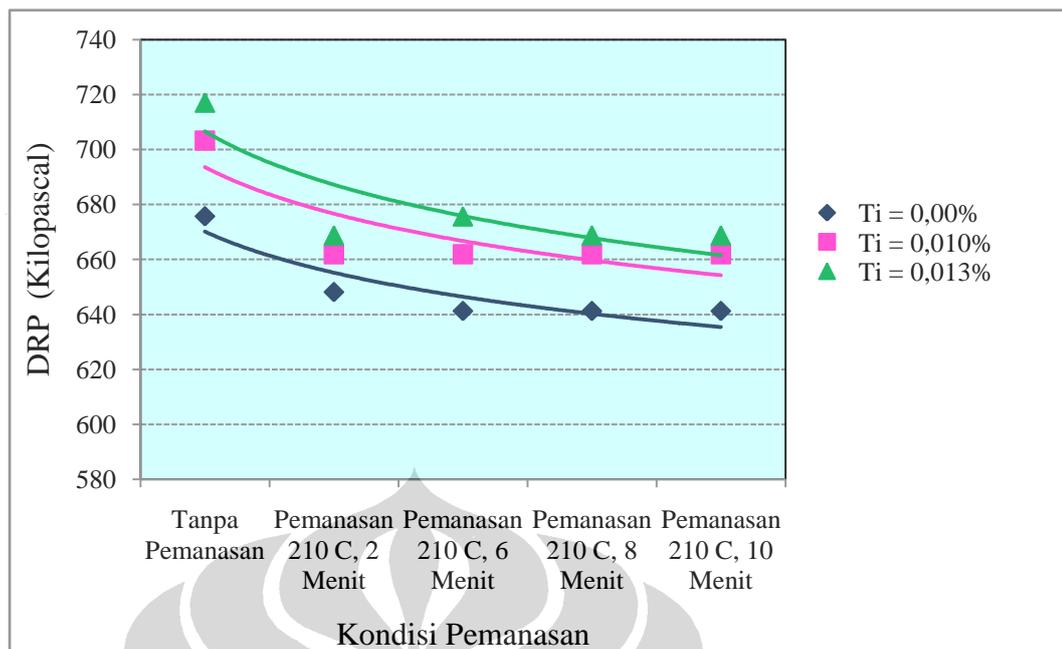
Gambar 4.32 Grafik Individual DRP Kaleng Yang Dibuat Dari Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti 0,00% Sebelum dan Sesudah Pemanasan



Gambar 4.33 Grafik Individual DRP Kaleng Yang Dibuat Dari Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti 0,010 % Sebelum dan Sesudah Pemanasan



Gambar 4.34 Grafik Individual DRP Kaleng Yang Dibuat Dari Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti 0,013 % Sebelum dan Sesudah Pemanasan



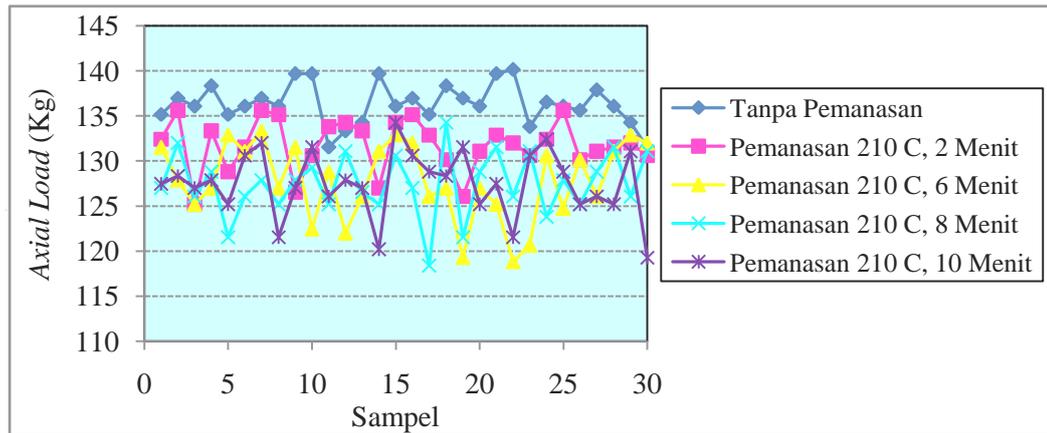
Gambar 4.35 Grafik Rata-Rata DRP Kaleng Yang Dibuat Dari Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti 0,00 %, Ti 0,010% dan Ti 0,013%

#### 4.8.3 Pengaruh Titanium Pada Paduan Aluminium AA3104 Terhadap Gaya Vertikal (*Axial Load*)

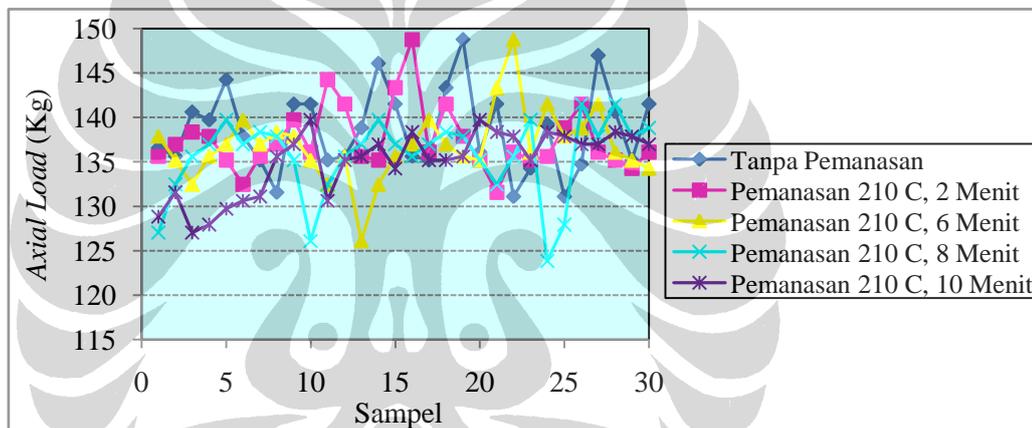
Seperti halnya kekuatan menahan tekanan dari dalam, kekuatan menahan gaya vertikal (*axial load*) terhadap kemasan kaleng juga perlu dianalisis pada setiap penggantian material agar tidak terjadi kegagalan pada proses pengisian di pabrik pelanggan. Gaya vertikal ini adalah sesuai dengan proses penutupan dengan teknik tekukan ganda (*double seaming*), dimana perlu kekuatan badan kaleng dalam proses ini. Data hasil pengukuran axial load kaleng yang dibuat dari Aluminium dengan kandungan Ti 0,00% diberikan dalam Lampiran 11. Kaleng tersebut disimulasikan dengan cara (A) tanpa pemanasan, (B) pemanasan pada temperatur 210°C selama 2 menit, (C) 210°C selama 6 menit, (D) 210° C selama 8 menit, dan (E) 210° C selama 10 menit. Data hasil pengukuran axial load kaleng yang dibuat dari Aluminium dengan kandungan Ti 0,010% diberikan dalam Lampiran 12. Kaleng tersebut disimulasikan dengan cara (A) tanpa pemanasan, (B) pemanasan pada temperatur 210°C selama 2 menit, (C) 210°C selama 6 menit, (D) 210° C selama 8 menit, dan (E) 210° C selama 10 menit. Data hasil pengukuran axial load kaleng yang dibuat dari Aluminium dengan kandungan Ti

0,013% diberikan dalam Lampiran 13. Kaleng tersebut disimulasikan dengan cara (A) tanpa pemanasan, (B) pemanasan pada temperatur 210°C selama 2 menit, (C) 210°C selama 6 menit, (D) 210° C selama 8 menit, dan (E) 210° C selama 10 menit.

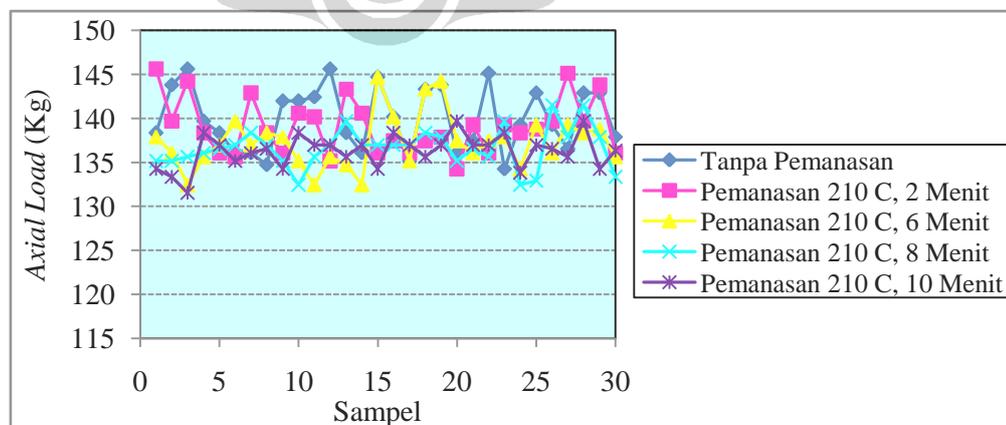
Gambar 4.36 memperlihatkan perbandingan *Axial Load* secara individual kaleng yang dibuat dari Aluminium dengan kandungan Ti 0,00% tanpa pemanasan ulang dan sesudah pemanasan, dimana dapat terlihat dengan jelas bahwa setelah pemanasan pertama kekuatan axial load turun rata-rata 11 pound (4,95 kg) atau 3,65% dan pada pemanasan kedua 8 pound (3,6 kg) atau 2,76%, pada pemanasan ketiga dan ke-empat relatif tidak terjadi penurunan kekuatan *axial load*. Gambar 4.37 memperlihatkan perbandingan kekuatan *axial load* secara individual kaleng yang dibuat dari Aluminium dengan kandungan Ti 0,010% sebelum dan sesudah pemanasan ulang, dimana dapat terlihat dengan jelas bahwa setelah pemanasan ulang pertama dan kedua terjadi penurunan kekuatan dan tidak terjadi penurunan lagi pada pemanasan berikutnya. Gambar 4.38 memperlihatkan perbandingan kekuatan axial load secara individual kaleng yang dibuat dari Aluminium dengan kandungan Ti 0,013% sebelum dan sesudah pemanasan ulang, dimana dapat terlihat dengan jelas bahwa setelah pemanasan ulang pertama kekuatan axial load turun relatif kecil sekali yaitu 3 pound (1,35 kg) atau 1,2% dan pada pemanasan selanjutnya tidak terjadi penurunan kekuatan axial load. Gambar 4.39 memperlihatkan perbandingan rata-rata *axial load* dari Aluminium dengan kandungan Ti 0,000%, Ti 0,010%, dan Ti 0,013% sebelum dan sesudah pemanasan. Dapat dilihat bahwa kekuatan axial load dari sampel dengan kandungan Titanium lebih tinggi dibandingkan dengan yang tanpa Titanium, semakin tinggi kandungan Titanium menghasilkan kekuatan axial load yang lebih tinggi. Disamping itu penurunan *axial load* sampel dengan kandungan titanium tidak seburuk sampel tanpa kandungan titanium. Fenomena ini menunjukkan bahwa *strain hardening* sudah berakhir pada 2 kali pemanasan 210° C, dan presipitasi yang terbentuk atas kehadiran titanium lebih mampu menahan dislokasi.



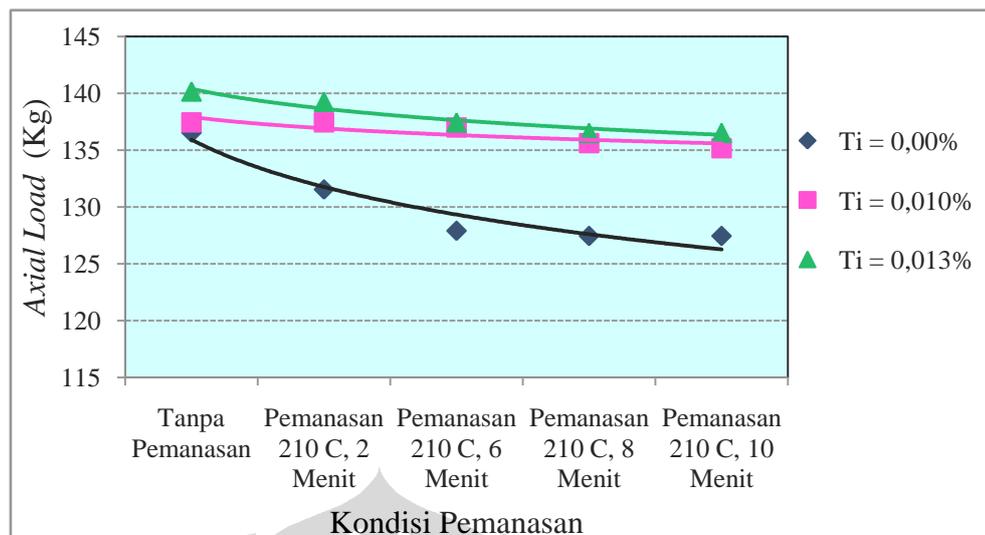
Gambar 4.36 Grafik Individual *Axial Load* Kaleng Yang Dibuat Dari Paduan Aluminium Dengan Kandungan Ti 0,00 % Sebelum dan Sesudah Pemanasan



Gambar 4.37 Grafik Individual *Axial Load* Kaleng Yang Dibuat Dari Paduan Aluminium Dengan Kandungan Ti 0,010 % Sebelum dan Sesudah Pemanasan



Gambar 4.38 Grafik Individual *Axial Load* Kaleng Yang Dibuat Dari Paduan Aluminium Dengan Kandungan Ti 0.013% Sebelum dan Sesudah Pemanasan



Gambar 4.39 Grafik Rata-Rata *Axial Load* Kaleng Yang Dibuat Dari Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti 0,00 %, Ti 0,010% dan Ti 0,013%

#### 4.9 Pengaruh Titanium Pada Paduan Aluminium AA3104 Terhadap Proses Mampu Bentuk

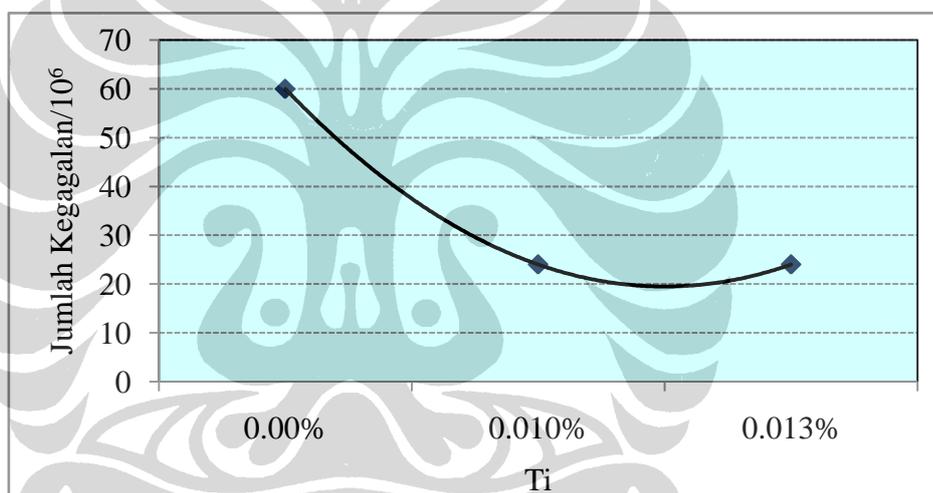
Dengan proses *drawn wall ironing* (DWI), pembentukan kaleng berlangsung melalui perubahan bentuk dan penipisan pada sekeliling dindingnya. Penipisan dilakukan dari ketebalan awal 0,270 mm menjadi 0,100 mm (63%), dengan penipisan sebesar itu perlu material dan dukungan *tooling* yang prima agar proses pembentukan tidak mengalami kegagalan. Urutan proses pembentukan kaleng adalah dimulai dari *cup* masuk melalui bagian atas lalu ditumbuk oleh *punch* dengan diameter 66,05 mm melewati 4 buah ring dengan diameter yang berbeda, yaitu *redraw ring* (66,63 mm), *wall ironing ring* pertama (66,51 mm), *wall ironing ring* kedua (66,38 mm), *wall ironing ring* ketiga (66,25 mm), lalu dilanjutkan dengan pembentukan *dome*.

Mampu bentuk di representasikan dengan persentase jumlah kegagalan pada proses *drawn wall ironing* (*tear off*). Dalam hal ini semakin kecil persentase *tear off rate* semakin baik mampu bentuk suatu material. Lampiran 14 memperlihatkan data *tear off rate* untuk proses *drawn wall ironing* dari 3 sampel, dimana terjadi perbedaan yang cukup menyolok antara sampel dengan kandungan Ti 0,00% dan sampel dengan kandungan Ti 0,010% dan Ti 0,013%, yaitu dari 60 menjadi 24 dan 23 (60% dan 61,66%). Gambar 4.40 memperlihatkan kecenderungan penurunan *tear off rate* yang cukup significant. Dengan perbedaan

seperti ini bisa disimpulkan bahwa kandungan titanium sampai dengan 0,013% pada paduan Aluminium AA3104 berpengaruh terhadap mampu bentuk pada proses *drawn wall ironing*.

Memperhatikan hasil analisis sebelumnya terhadap ke 3 sampel tentang parameter yang mempunyai hubungan dengan mampu bentuk, bisa dimengerti bahwa paduan Aluminium dengan kandungan titanium 0,010% dan 0,013% mempunyai sifat mampu bentuk yang lebih baik dibandingkan dengan yang tanpa titanium. Hal ini diantaranya karena memiliki hal-hal berikut ini:

- a). Kekasaran permukaan yang lebih halus, baik pada skala Ra maupun Rz.
- b). Nilai regangan yang lebih tinggi.



Gambar 4.40 Grafik Kecendrungan *Tear Off Rate* Kaleng Yang Dibuat Dari Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti 0,00 %, Ti 0,010% dan Ti 0,013%

#### 4.10 Analisis Kelayakan Penggunaan Secara Komersial Terhadap Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti = 0,013%

Setelah diketahui bahwa analisis paduan Aluminium AA3104 dengan kandungan titanium 0,013% mendapatkan hasil yang baik dan untuk dapat digunakan secara komersial, maka material tersebut perlu dilakukan analisis lebih lanjut pada proses produksi. Analisis yang dilakukan adalah kestabilan proses (*process stability*) secara statistik dan kemampuan proses (*process capability*) sebelum material tersebut dipakai secara komersial.

#### 4.10.1 Hasil Analisis *Neck Plug Diameter*

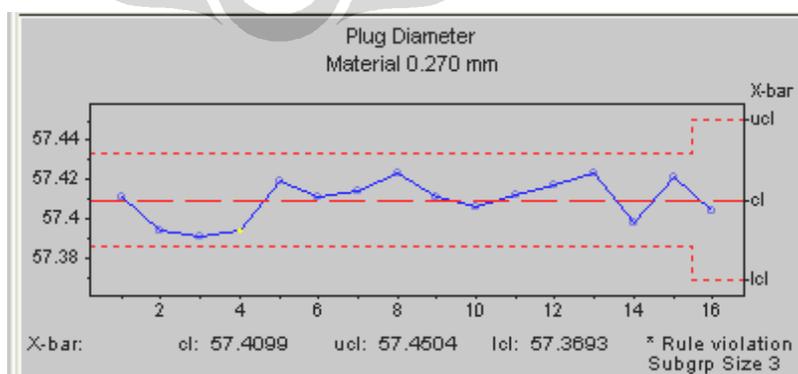
Lampiran 16, memperlihatkan data hasil pengukuran *neck plug diameter* dari 16 *head* mesin *spin necker flanger* yang selanjutnya diolah menggunakan software NWA *Quality Analyst 5.1*.

Gambar 4.41 memperlihatkan grafik  $\bar{X}$  hasil pengolahan data pengukuran *neck plug diameter*, dimana semua nilai berada di antara garis UCL dan LCL, dan tidak ada kecenderungan keatas maupun kebawah. Kondisi seperti ini berarti proses pembentukan *neck plug diameter* ditinjau dari grafik nilai rata-rata dianggap stabil (Gasversz, 1998).

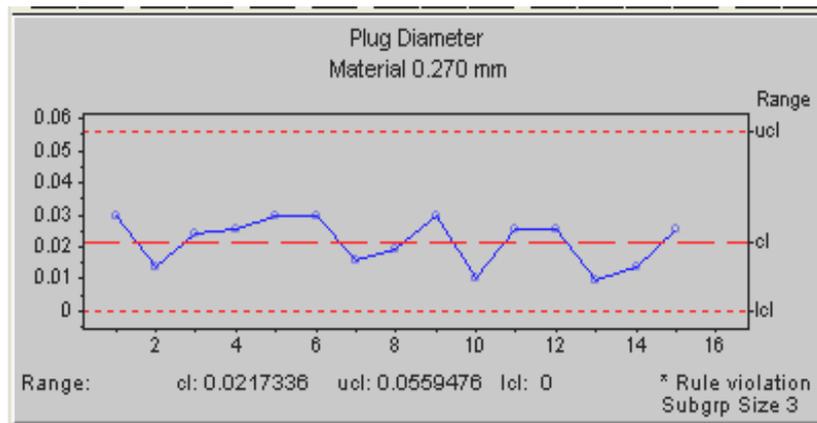
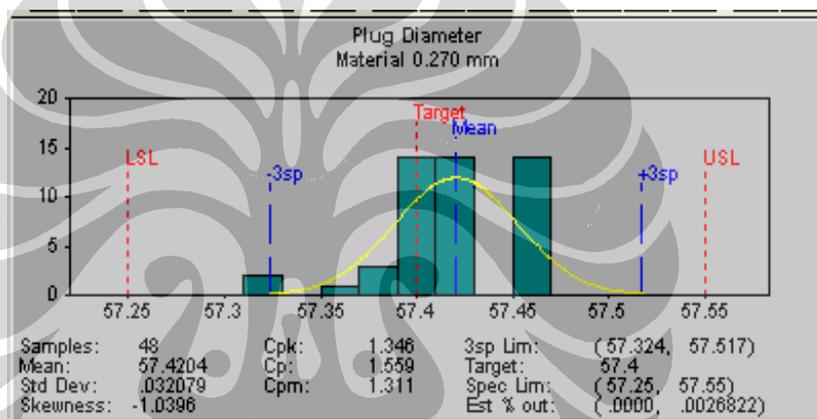
Gambar 4.42 memperlihatkan grafik range (R) hasil pengolahan data pengukuran *neck plug diameter*, dimana semua nilai berada diantara garis UCL dan LCL, dan tidak ada kecenderungan keatas maupun kebawah. Kondisi seperti ini berarti proses pembentukan *neck plug diameter* ditinjau dari grafik nilai rata-rata dianggap stabil (Gasversz, 1998).

Gambar 4.43 memperlihatkan histogram hasil pengolahan data pengukuran *neck plug diameter*, dimana walaupun penebaran datanya tidak mengikuti distribusi secara normal akan tetapi mempunyai indeks  $C_{pk} = 1,346$  (diatas 1,33) yang berarti proses pembentukan *neck diameter* dianggap stabil (Gasversz, 1998).

Dengan demikian proses pembentukan *neck plug diameter* kemasan kaleng ukuran 330 ml. menggunakan material paduan Aluminium AA3104 dengan kandungan titanium 0,013% adalah stabil dan mampu (*stable and capable*).



Gambar 4.41 Grafik  $\bar{X}$  *Plug Diameter*

Gambar 4.42 Grafik R *Plug Diameter*Gambar 4.43 Histogram *Neck Plug Diameter* Dengan Indek Cpk = 1,346

#### 4.10.2 Hasil Analisis Tinggi Kaleng (*Can Height*)

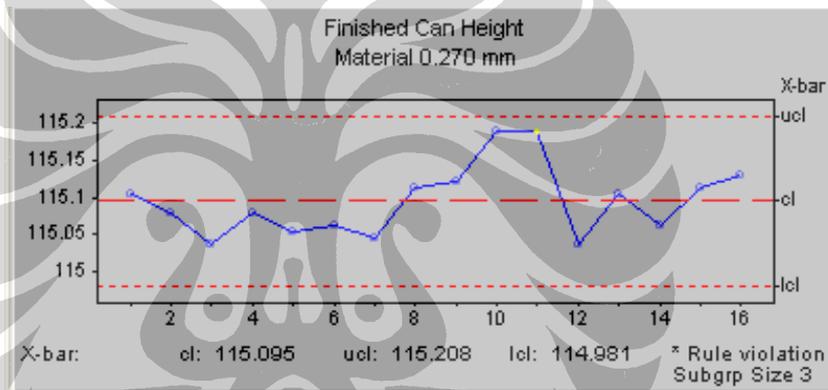
Lampiran 17, memperlihatkan data hasil pengukuran ketinggian kaleng (*can height*) dari 16 *head* mesin *spin necker flanger* yang selanjutnya diolah menggunakan software NWA *Quality Analyst* 5.1.

Gambar 4.44 memperlihatkan grafik X-bar hasil pengolahan data pengukuran *finished can height*, dimana semua nilai berada diantara garis UCL dan LCL, dan tidak ada kecenderungan keatas maupun kebawah. Kondisi seperti ini berarti proses pembentukan tinggi kaleng ditinjau dari grafik nilai rata-rata dianggap stabil (Gasversz, 1998).

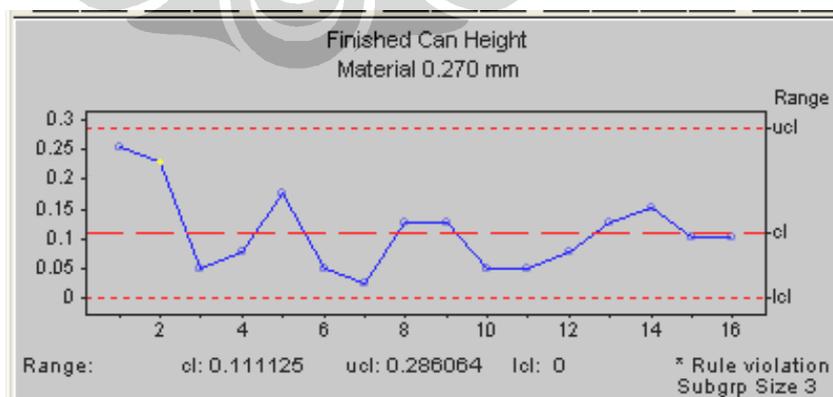
Gambar 4.45 memperlihatkan grafik Range (R) hasil pengolahan data pengukuran *finished can height*, dimana semua nilai berada diantara garis UCL

dan LCL, dan tidak ada kecenderungan keatas maupun kebawah. Kondisi seperti ini berarti proses pembentukan tinggi kaleng ditinjau dari grafik nilai R dianggap stabil (Gasversz, 1998).

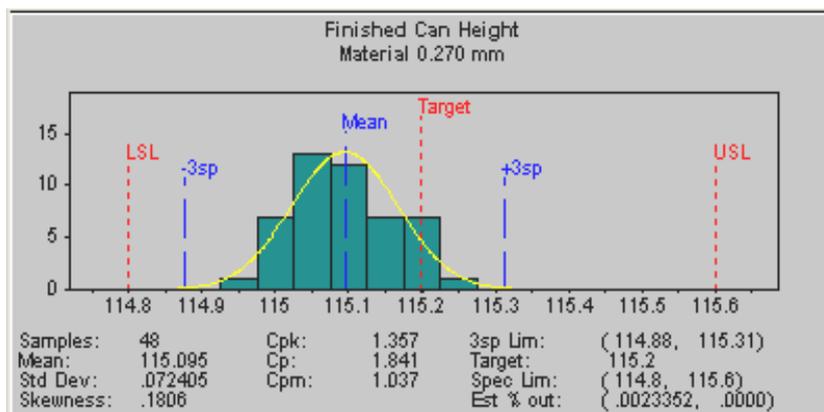
Gambar 4.46 memperlihatkan histogram hasil pengolahan data pengukuran tinggi kaleng, dimana penebaran datanya tidak mengikuti distribusi secara normal dan cenderung berada dibawah garis target akan tetapi mempunyai indeks Cpk = 1,357 (diatas 1,33) yang berarti proses pembentukan tinggi kaleng (*can height*) dianggap mampu (Gasversz, 1998). Berdasarkan analisis kestabilan dan kemampuan proses pembentukan *finished can height* kemasan kaleng ukuran 330 ml. menggunakan paduan aluminium AA3104 dengan titanium 0,013% dianggap stabil dan mampu.



Gambar 4.44 Grafik X-bar *Finished Can Height*



Gambar 4.45 Grafik R *Finished Can Height*



Gambar 4.46 Histogram *Finished Can Height* Dengan Indeks  $Cpk = 1,357$

#### 4.10.3 Hasil Analisis *Dome Depth*

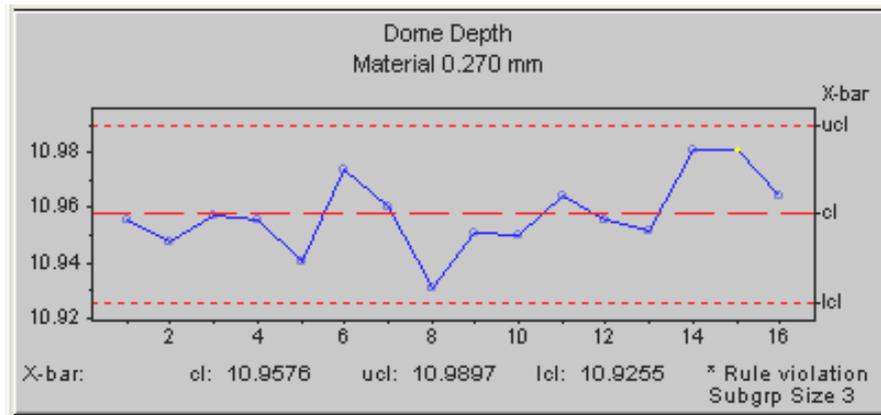
Lampiran 18 memperlihatkan data hasil pengukuran kedalaman *dome* (*dome depth*) yang selanjutnya diolah menggunakan software NWA *Quality Analyst 5.1*.

Gambar 4.47 memperlihatkan grafik X-bar hasil pengolahan data pengukuran kedalaman *dome*, dimana semua nilai berada diantara garis UCL dan LCL, dan tidak ada kecenderungan keatas maupun kebawah. Kondisi seperti ini berarti proses pembentukan kedalaman *dome* ditinjau dari grafik nilai rata-rata dianggap stabil (Gasversz, 1998).

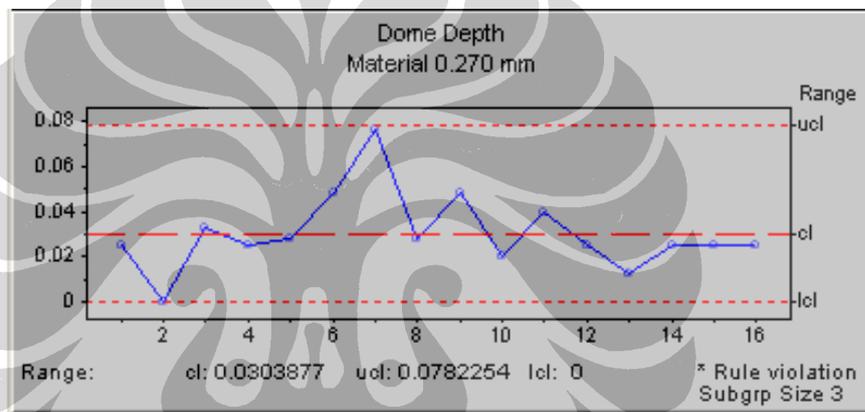
Gambar 4.48 memperlihatkan grafik Range (R) hasil pengolahan data pengukuran kedalaman *dome*, dimana semua nilai berada diantara garis UCL dan LCL, dan tidak ada kecenderungan keatas maupun kebawah. Kondisi seperti ini berarti proses pembentukan kedalaman *dome* ditinjau dari grafik nilai R dianggap stabil (Gasversz, 1998).

Gambar 4.49 memperlihatkan histogram hasil pengolahan data pengukuran kedalaman *dome*, dimana penebaran datanya walaupun tidak mengikuti distribusi secara normal akan tetapi mempunyai indeks  $Cpk = 2,091$  (diatas 1,33) yang berarti proses pembentukan kedalaman *dome* dianggap mampu (Gasversz, 1998).

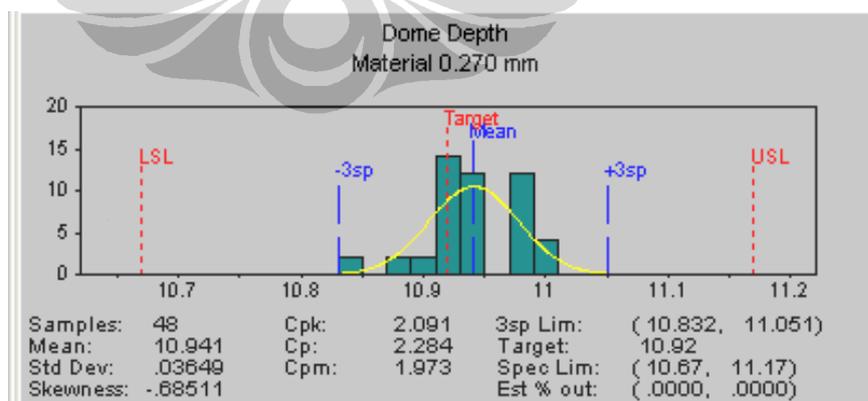
Berdasarkan analisis kestabilan dan kemampuan proses pembentukan kedalaman *dome* kemasan kaleng ukuran 330 ml. menggunakan paduan aluminium AA3104 dengan titanium 0,013% dianggap stabil dan mampu.



Gambar 4.47 Grafik X-bar *Dome Depth*



Gambar 4.48 Grafik R *Dome Depth*



Gambar 4.49 Histogram *Dome Depth* Dengan Cpk = 2,091

#### 4.10.4 Hasil Analisis *Thin Wall Thickness*

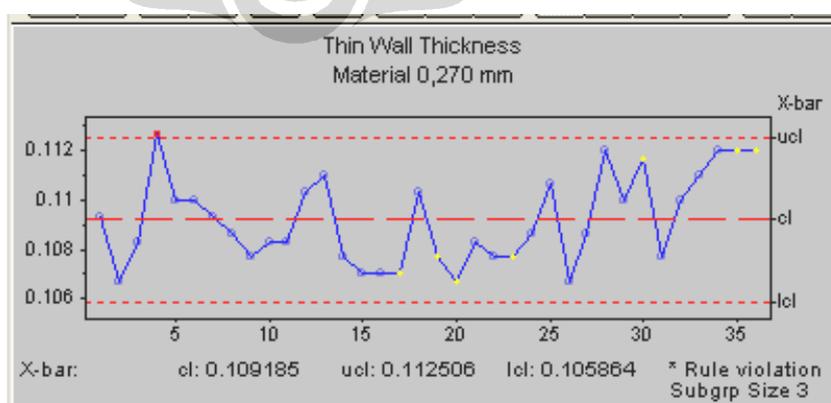
Lampiran 19 memperlihatkan data hasil pengukuran ketebalan bagian tengah badan kaleng (*thin wall thickness*) yang selanjutnya diolah menggunakan software NWA *Quality Analyst* 5.1.

Gambar 4.50 memperlihatkan grafik X-bar hasil pengolahan data pengukuran *thin wall thickness*, dimana semua nilai berada diantara garis UCL dan LCL, dan tidak ada kecenderungan keatas maupun kebawah. Kondisi seperti ini berarti proses pembentukan *thin wall thickness* ditinjau dari grafik nilai rata-rata dianggap stabil (Gasversz, 1998).

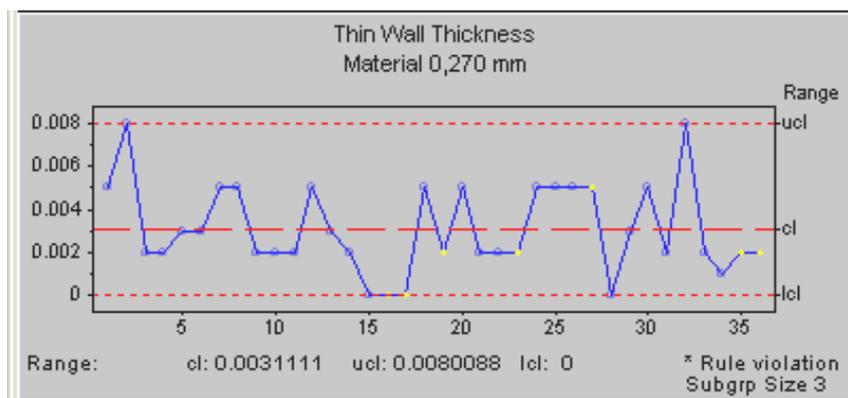
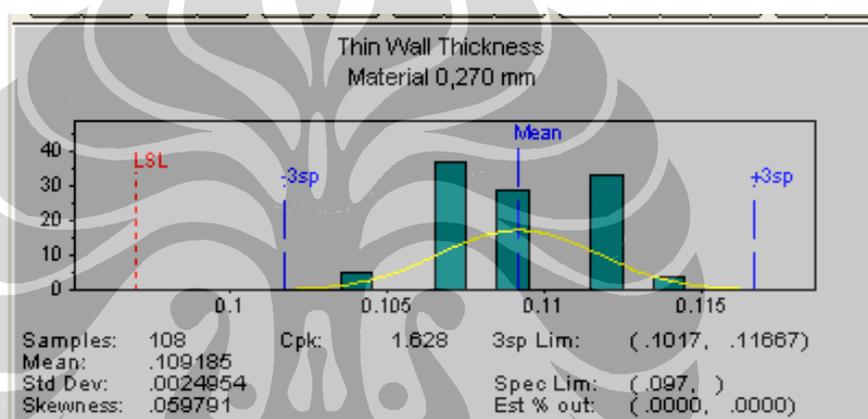
Gambar 4.51 memperlihatkan grafik Range (R) hasil pengolahan data pengukuran *thin wall thickness*, dimana semua nilai berada diantara garis UCL dan LCL, dan tidak ada kecenderungan keatas maupun kebawah. Kondisi seperti ini berarti proses pembentukan *thin wall thickness* ditinjau dari grafik nilai R dianggap stabil (Gasversz, 1998).

Gambar 4.52 memperlihatkan histogram hasil pengolahan data pengukuran *thin wall thickness*, dimana penebaran datanya walaupun tidak mengikuti distribusi secara normal akan tetapi mempunyai indeks  $C_{pk} = 1,628$  (diatas 1,33) yang berarti proses pembentukan *thin wall thickness* dianggap mampu (Gasversz, 1998).

Berdasarkan analisis kestabilan dan kemampuan proses pembentukan *thin wall thickness* kemasan kaleng ukuran 330 ml. menggunakan paduan aluminium AA3104 dengan titanium 0,013% dianggap stabil dan mampu.



Gambar 4.50 Grafik X-bar *Thin Wall Thickness*

Gambar 4.51 Grafik R *Thin Wall Thickness*Gambar 4.52 Histogram *Thinwall Thickness* Dengan Cpk = 1,628

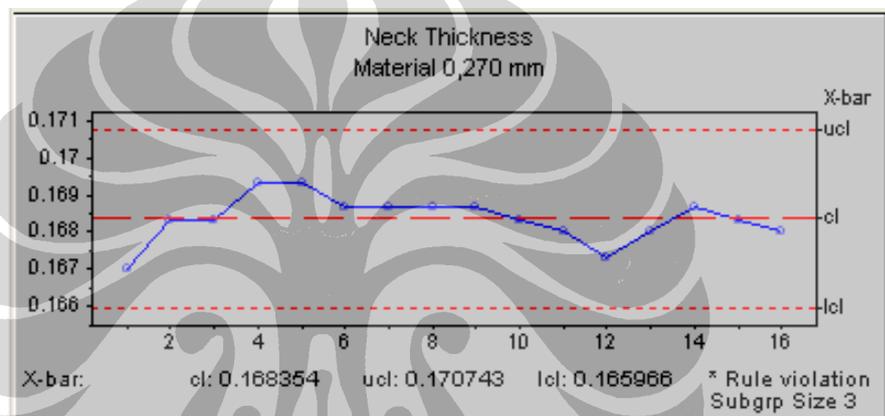
#### 4.10.5 Hasil Analisis *Top Wall Thickness*

Lampiran 20 memperlihatkan data hasil pengukuran ketebalan bagian atas badan kaleng (*top wall thickness*) yang selanjutnya diolah menggunakan software NWA *Quality Analyst* 5.1.

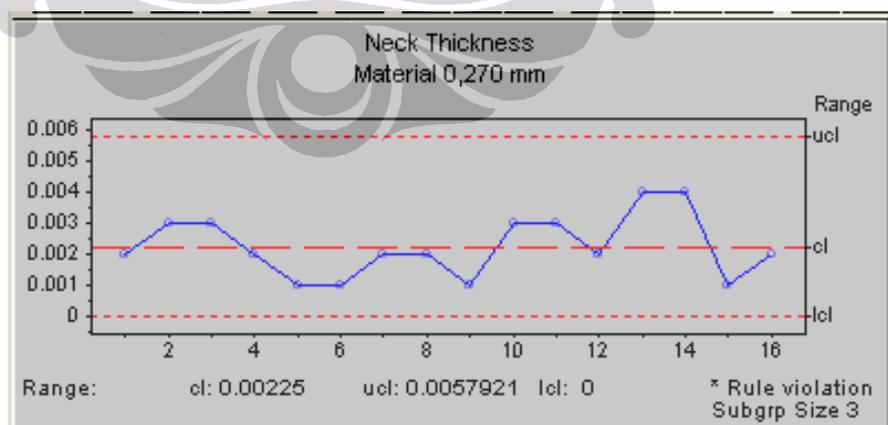
Gambar 4.53 memperlihatkan grafik X-bar hasil pengolahan data pengukuran *top wall thickness*, dimana semua nilai berada diantara garis UCL dan LCL, dan tidak ada kecenderungan keatas maupun kebawah. Kondisi seperti ini berarti proses pembentukan *thin wall thickness* ditinjau dari grafik nilai rata-rata dianggap stabil (Gasversz, 1998).

Gambar 4.54 memperlihatkan grafik Range (R) hasil pengolahan data pengukuran *top wall thickness*, dimana semua nilai berada diantara garis UCL dan LCL, dan tidak ada kecenderungan keatas maupun kebawah. Kondisi seperti ini

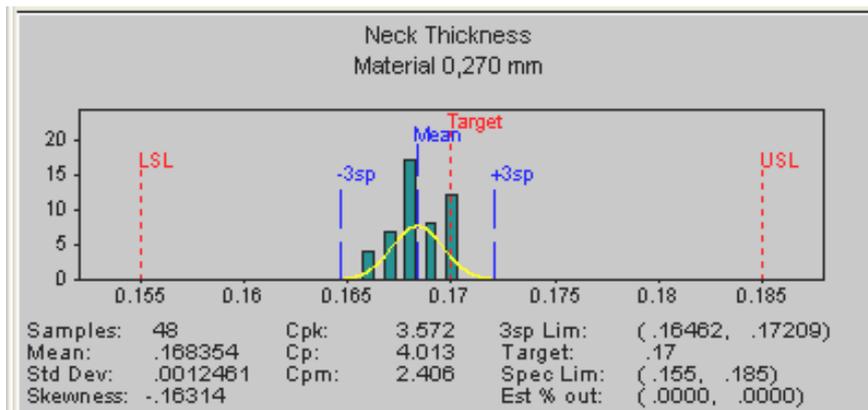
berarti proses pembentukan *top wall thickness* ditinjau dari grafik nilai R dianggap stabil (Gasversz, 1998). Gambar 4.55 memperlihatkan histogram hasil pengolahan data pengukuran *top wall thickness*, dimana penebaran datanya walaupun tidak mengikuti distribusi secara normal akan tetapi mempunyai indeks  $C_{pk} = 3,572$  (diatas 1,33) yang berarti proses pembentukan *top wall thickness* dianggap mampu (Gasversz, 1998). Berdasarkan analisis kestabilan dan kemampuan proses pembentukan *top wall thickness* kemasan kaleng ukuran 330 ml. menggunakan paduan aluminium AA3104 dengan titanium 0,013% dianggap stabil dan mampu.



Gambar 4.53 Grafik X-bar *Top Wall Thickness*



Gambar 4.54 Grafik R *Top Wall Thickness*



Gambar 4.55 Histogram *Top Wall Thickness* Dengan  $C_{pk} = 3,572$

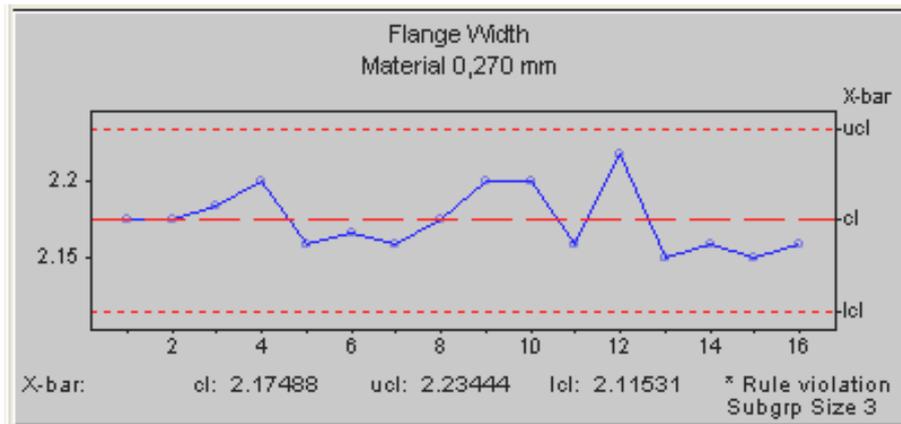
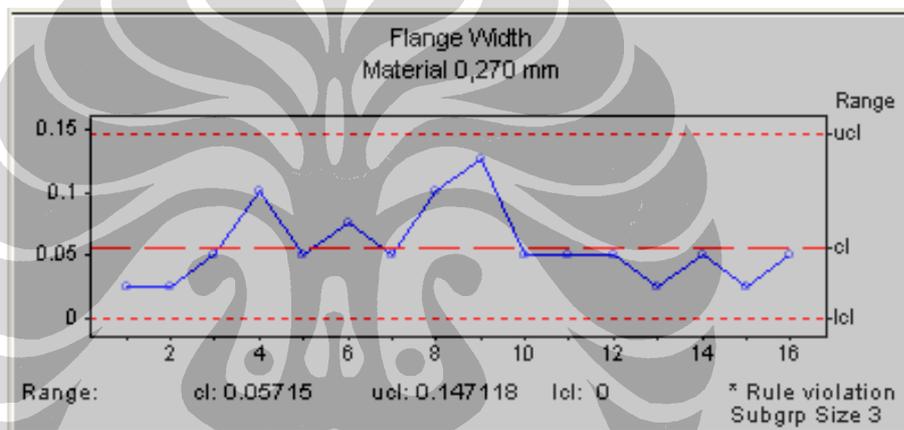
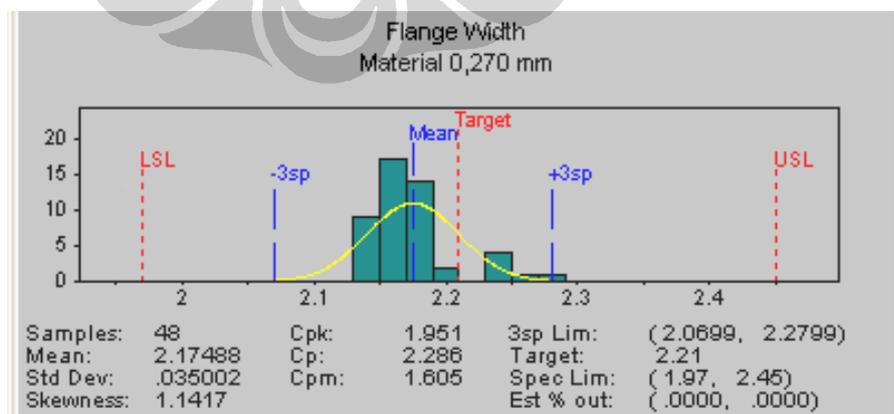
#### 4.10.6 Hasil Analisis Lebar Bibir Kaleng (*Flange Width*)

Lampiran 21 memperlihatkan data hasil pengukuran lebar bibir kaleng (*flange width*) yang selanjutnya diolah menggunakan software NWA *Quality Analyst 5.1*.

Gambar 4.56 memperlihatkan grafik X-bar hasil pengolahan data pengukuran *flange width*, dimana semua nilai berada diantara garis UCL dan LCL, dan tidak ada kecenderungan keatas maupun kebawah. Kondisi seperti ini berarti proses pembentukan *thin wall thickness* ditinjau dari grafik nilai rata-rata dianggap stabil (Gasversz, 1998).

Gambar 4.57 memperlihatkan grafik Range (R) hasil pengolahan data pengukuran *flange width*, dimana semua nilai berada diantara garis UCL dan LCL, dan tidak ada kecenderungan keatas maupun kebawah. Kondisi seperti ini berarti proses pembentukan *flange width* ditinjau dari grafik nilai R dianggap stabil (Gasversz, 1998).

Gambar 4.58 memperlihatkan histogram hasil pengolahan data pengukuran *flange width*, dimana penebaran datanya walaupun tidak mengikuti distribusi secara normal akan tetapi mempunyai indeks  $C_{pk} = 1,951$  (diatas 1,33) yang berarti proses pembentukan *flange width* dianggap mampu (Gasversz, 1998). Berdasarkan analisis kestabilan dan kemampuan proses pembentukan *flange width* kemasan kaleng ukuran 330 ml. menggunakan paduan aluminium AA3104 dengan titanium 0,013% dianggap stabil dan mampu.

Gambar 4.56 Grafik X-bar *Flange Width*Gambar 4.57 Grafik R *Flange Width*Gambar 4.58 Histogram *Flange Width* dengan  $Cpk = 1,951$

#### 4.10.7 Hasil Analisis *Drop Impact Resistance*

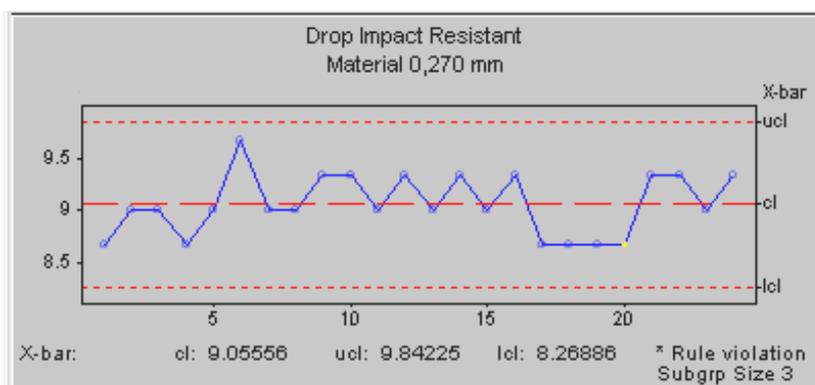
Lampiran 22 memperlihatkan data hasil pengukuran *drop impact resistance* badan kaleng yang selanjutnya diolah menggunakan software NWA *Quality Analyst* 5.1.

Gambar 4.59 memperlihatkan grafik X-bar hasil pengolahan data pengukuran *drop impact resistance*, dimana semua nilai berada diantara garis UCL dan LCL, dan tidak ada kecenderungan keatas maupun kebawah. Kondisi seperti ini berarti *drop impact resistance* ditinjau dari grafik nilai rata-rata dianggap stabil (Gasversz, 1998).

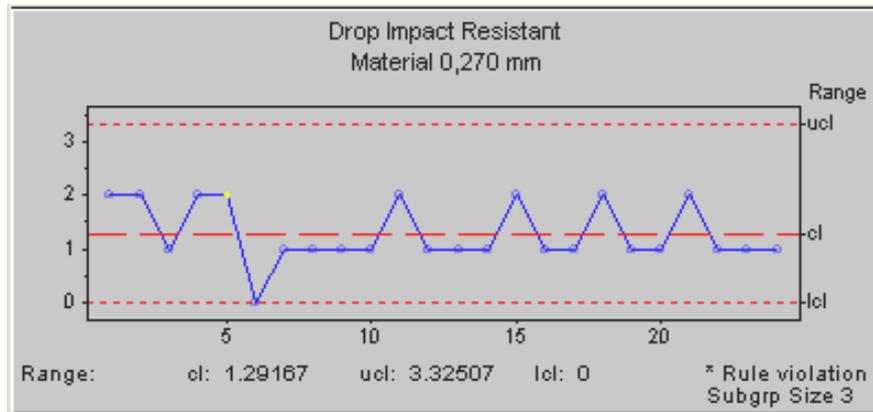
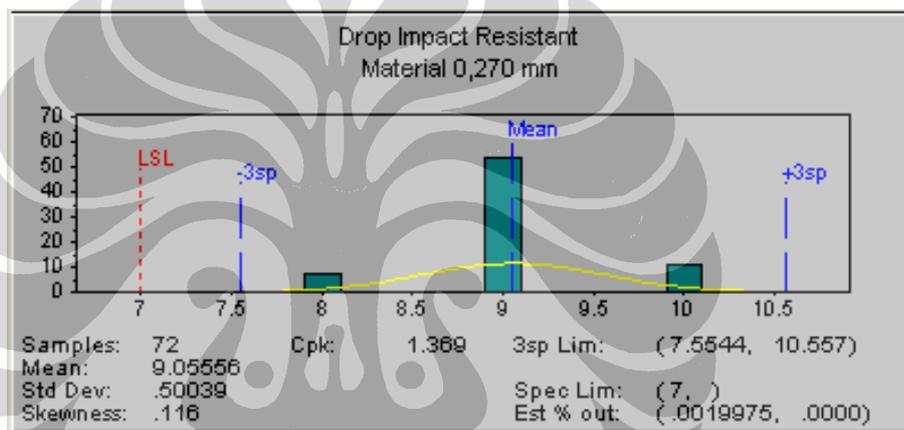
Gambar 4.60 memperlihatkan grafik Range (R) hasil pengolahan data pengukuran *drop impact resistance*, dimana semua nilai berada diantara garis UCL dan LCL, dan tidak ada kecenderungan keatas maupun kebawah. Kondisi seperti ini berarti *drop impact resistance* ditinjau dari grafik nilai R dianggap stabil (Gasversz, 1998).

Gambar 4.61 memperlihatkan histogram hasil pengolahan data pengukuran *drop impact resistance*, dimana penebaran datanya mengikuti distribusi secara normal dan mempunyai indeks  $C_{pk} = 1,36$  (diatas 1,33) yang berarti proses pembentukan dome yang dianalisis dengan *drop impact resistance* dianggap mampu (Gasversz, 1998).

Berdasarkan analisis kestabilan dan kemampuan proses maka *drop impact resistance* kemasan kaleng ukuran 330 ml. menggunakan paduan aluminium AA3104 dengan titanium 0,013% dianggap stabil dan mampu.



Gambar 4.59 Grafik X-bar *Drop Impact Resistant*

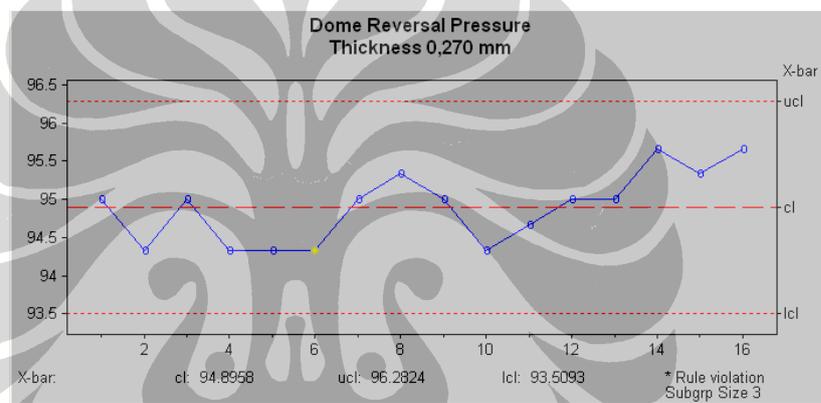
Gambar 4.60 Grafik R *Drop Impact Resistant*Gambar 4.61 Histogram *Drop Impact Resistance* Dengan Cpk = 1,369

#### 4.10.8 Hasil Analisis *Dome Reversal Pressure* (DRP)

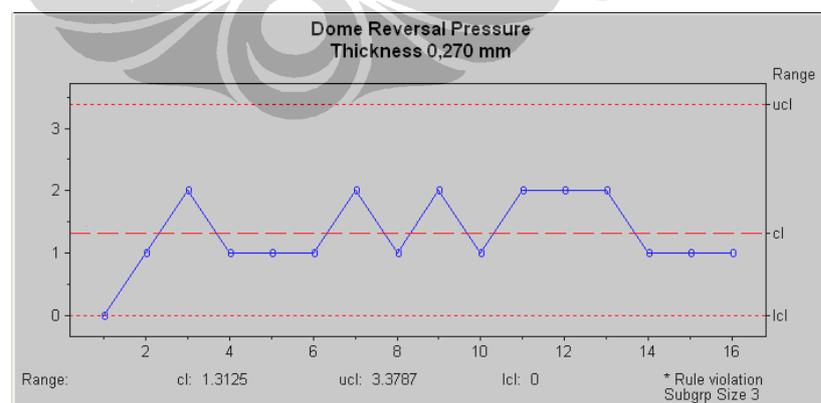
Lampiran 23 memperlihatkan data hasil pengukuran *Dome Reversal Pressure* badan kaleng yang selanjutnya diolah menggunakan software NWA *Quality Analyst* 5.1.

Gambar 4.62 memperlihatkan grafik X-bar hasil pengolahan data pengukuran *Dome Reversal Pressure*, dimana semua nilai berada diantara garis UCL dan LCL, dan tidak ada kecenderungan keatas maupun kebawah. Kondisi seperti ini berarti *dome reversal pressure* ditinjau dari grafik nilai rata-rata dianggap stabil (Gasversz, 1998). Gambar 4.63 memperlihatkan grafik Range (R) hasil pengolahan data pengukuran *Dome Reversal Pressure*, dimana semua nilai berada diantara garis UCL dan LCL, dan tidak ada kecenderungan keatas maupun

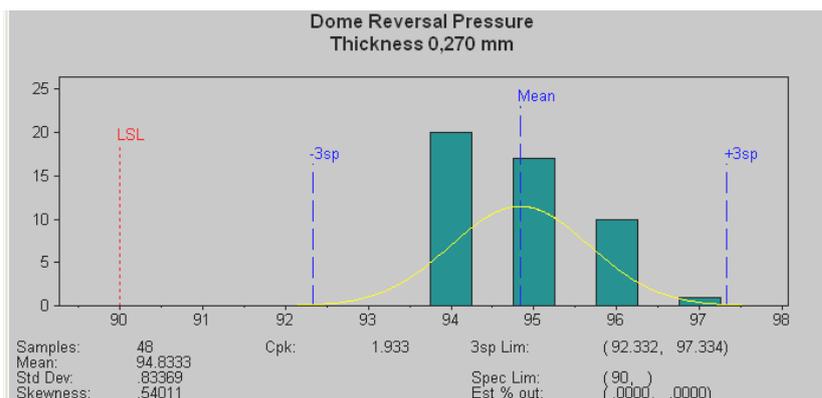
kebawah. Kondisi seperti ini berarti *dome reversal pressure* ditinjau dari grafik nilai R dianggap stabil (Gasversz, 1998). Gambar 4.64 memperlihatkan histogram hasil pengolahan data pengukuran *Dome Reversal Pressure*, dimana penebaran datanya walupun tidak mengikuti distribusi secara normal akan tetapi mempunyai indeks  $C_{pk} = 1,933$  (diatas 1,33) yang berarti *Dome Reversal Pressure* dianggap mampu (Gasversz, 1998). Berdasarkan analisis kestabilan dan kemampuan proses maka proses pembentukan dome yang dianalisis dengan *Dome Reversal Pressure* kemasan kaleng ukuran 330 ml. menggunakan paduan aluminium AA3104 dengan titanium 0,013% dianggap stabil dan mampu.



Gambar 4.62 Grafik X-bar *Dome Reversal Pressure*



Gambar 4.63 Grafik R *Dome Reversal Pressure*



Gambar 4.64 Histogram *Dome Reversal Pressure* Dengan Indeks Cpk = 1,933

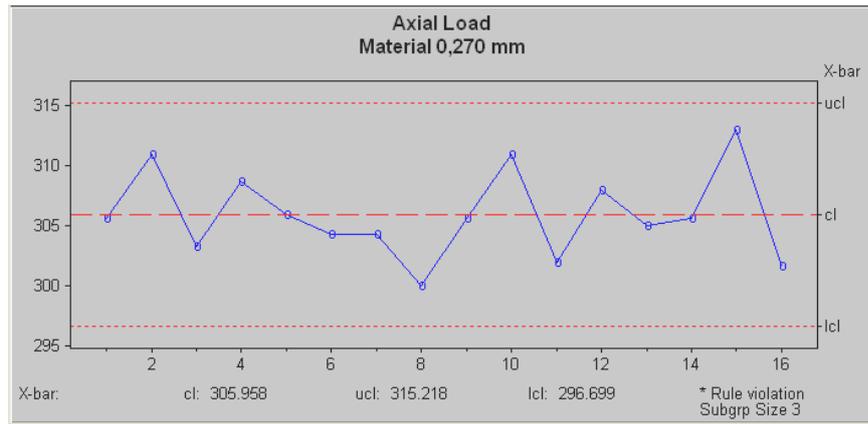
#### 4.10.9 Hasil Analisis *Axial Load*

Lampiran 24 memperlihatkan data hasil pengukuran *Axial Load* badan kaleng yang selanjutnya diolah menggunakan software NWA *Quality Analyst* 5.1.

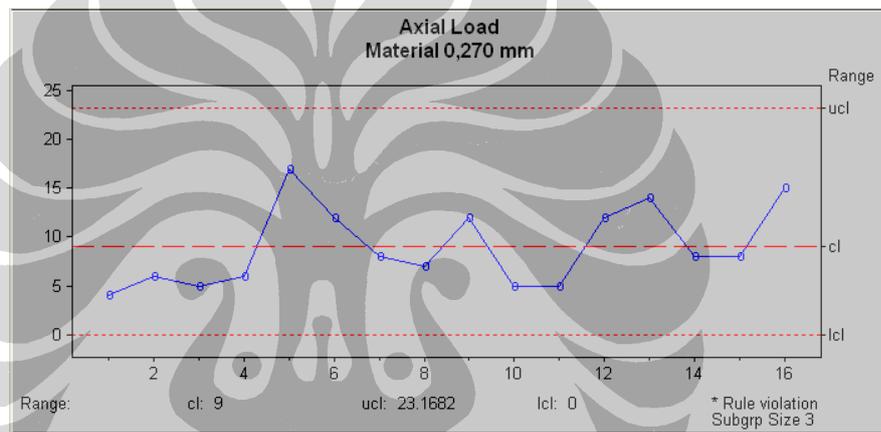
Gambar 4.65 memperlihatkan grafik X-bar hasil pengolahan data pengukuran *Axial Load*, dimana semua nilai berada diantara garis UCL dan LCL, dan tidak ada kecenderungan keatas maupun kebawah. Kondisi seperti ini berarti kekuatan *axial load* ditinjau dari grafik nilai rata-rata dianggap stabil (Gasversz, 1998). Gambar 4.66 memperlihatkan grafik Range (R) hasil pengolahan data pengukuran kekuatan *axial load*, dimana semua nilai berada diantara garis UCL dan LCL, dan tidak ada kecenderungan keatas maupun kebawah. Kondisi seperti ini berarti kekuatan *axial load* ditinjau dari grafik nilai R dianggap stabil (Gasversz, 1998).

Gambar 4.67 memperlihatkan histogram hasil pengolahan data pengukuran *Axial Load*, dimana penebaran datanya walaupun tidak mengikuti distribusi secara normal akan tetapi mempunyai indeks Cpk = 7,444 (diatas 1,33) yang berarti proses pembentukan badan kaleng yang dianalisis dengan parameter *Axial Load* dianggap mampu (Gasversz, 1998).

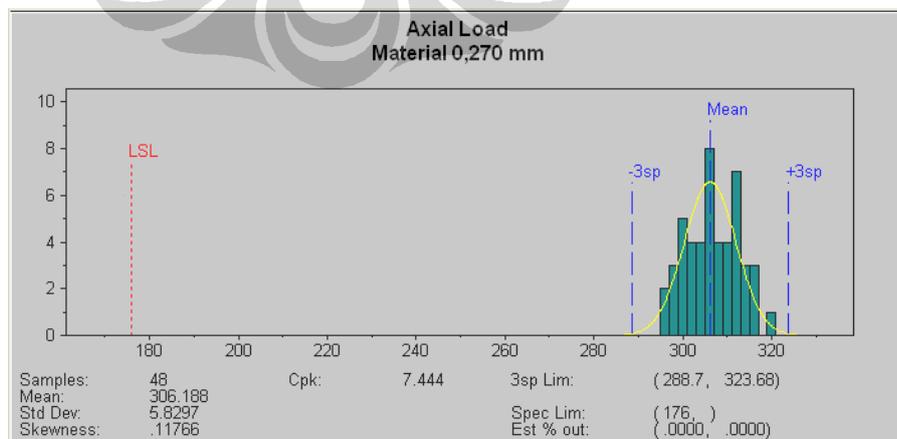
Berdasarkan analisis kestabilan dan kemampuan proses maka proses pembentukan badan kemasan kaleng ukuran 330 ml. menggunakan paduan aluminium AA3104 dengan titanium 0,013% yang dianalisis melalui parameter *axial load* dianggap stabil dan mampu.



Gambar 4.65 Grafik X-bar Axial Load



Gambar 4.66 Grafik R Axial Load



Gambar 4.67 Histogram Axial Load dengan Cpk = 1,783

## BAB 5

### KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian terhadap 3 komposisi kandungan titanium pada lembaran paduan aluminium AA3104 yang mengandung Ti 0,00% , Ti 0,010% dan Ti 0,013% dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengukuran kekasaran permukaan menunjukkan, semakin tinggi kandungan titanium (sampai dengan 0,013%) semakin turun tingkat kekasaran permukaan lembaran paduan aluminium AA3104, baik pengujian dengan skala Ra maupun skala Rz. Hal ini disebabkan karena titanium mempunyai sifat memperhalus butir.
2. Hasil analisis dengan SEM dan EDX diketahui bahwa titanium dapat meningkatkan terbentuknya presipitasi pada paduan aluminium AA3104. Dengan meningkatnya presipitasi akan menambah kekuatan material, karena presipitasi dapat menghambat pergerakan dislokasi.
3. Hasil analisis dengan XRD menunjukkan bahwa pada paduan aluminium AA3104 yang mengandung titanium, terbentuk senyawa  $Ti_3Al$  yang tersebar lebih merata pada paduan dengan kandungan titanium 0,013%.  $Ti_3Al$  merupakan senyawa *intermetallic* yang keras, sehingga dapat memperkuat material.
4. Hasil uji tarik menunjukkan bahwa unsur titanium (sampai dengan 0,013%) pada lembaran paduan aluminium AA3104 meningkatkan kekuatan luluh, kekuatan tarik dan regangan. Bertambahnya kekuatan luluh dan kekuatan tarik akan menambah kekuatan kemas kaleng, sedangkan bertambahnya regangan akan menambah mampu bentuk material (*formability*).
5. Setelah perlakuan panas dengan temperatur 210° C selama 10 menit, kekuatan luluh dan kekuatan tarik menurun, akan tetapi regangan meningkat. Hal ini disebabkan terjadinya *stress release* pada material yang dikuatkan dengan cara *strain hardening*.

6. Hasil analisis LDR menunjukkan bahwa nilai LDR 1,50 adalah yang terbaik terhadap tingkat kegagalan (*tear off rate*) pada proses *drawn wall ironing*. Hal ini disebabkan karena pada titik ini tidak terjadi *stress* yang berlebihan.
7. Hasil pengujian kekuatan kaleng menunjukkan bahwa dengan adanya unsur titanium dalam paduan aluminium AA3104 (sampai dengan 0,013%) meningkatkan kekuatan kaleng. Hal ini sesuai dengan hasil analisis SEM dan XRD, dimana terbentuknya presipitasi yang lebih luas pada sampel dengan kandungan titanium.
8. Hasil analisis kestabilan dan kemampuan proses menggunakan software NWA Quality Analyst 5.1 terhadap parameter-parameter penting pada badan kaleng, menunjukkan hasil yang *stable* dan *capable*. Dengan demikian maka dapat memenuhi standar yang diinginkan pelanggan.
9. Berdasarkan kesimpulan tersebut diatas, maka paduan aluminium AA3104 yang mengandung titanium 0,013% dengan ketebalan 0,270 mm layak untuk digunakan secara komersial sebagai bahan baku kemasan kaleng ukuran 330 ml dengan proses *drawn wall ironing*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adnyana.D.N. (1993). *Logam dan Paduan, Tinjauan Tentang Proses Pengolahan dan Hubungan Antara Struktur Dengan Sifat-Sifat Mekanis*. Institute Sains dan Teknologi Nasional. Jakarta.
- Adnyana.D.N. (1994). *Struktur dan Mekanisme Penguatan Logam*. Institute Sains dan Teknologi Nasional. Jakarta.
- Alcoa. (1995). *Can Making Training for United Can*. KAAL Australia.
- Alexander, D.T.L.; Greer, A.L. (2005). *Particle break-up during heat treatment of 3000 series aluminum alloys*. Volume 21, Number 8, August 2005 , pp. 955-960(6)
- Altinkok, Necat. (2004). *Microstructure and Tensile Strength Properties of Aluminium Alloys Composites Produced by Pressure-Assisted Aluminium Infiltration of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiC Preforms* Sakarya University. Turkey.
- Atkinson, M. *Lubrication & Formability in Sheet Metal Working, Sheet Metal Industri*, Desember, 1966.
- Bate, P.S., Schofield, H., & Barrett, D.J. (May 1998). *Increasing the Drawability of AA2014 Al-Cu by Differential Heat Treatment*. Journal of Metallurgical and Materials Transactions A, 29A.
- Birol, Y. (2006). *Grain Refining Efficiency Of Al-Ti-C Alloys*. Journal of Alloys and Copounds, 422, 128 – 131.
- Borlange. (1990). *Sheet Metals In Forming Processes*, 16<sup>th</sup> Biennial Congress IDDRG, June 11-13, 1990.

- Burns, G., & Glazer, A. M. (1990). *Space Groups for Solid State Scientists (Second edition)*. London: Academic Press, Inc.
- Callister, W.D. (1997). *Materials Science and Engineering*, 4<sup>th</sup> Edition. New York: John Wiley and Sons.
- Chen, G., & Lou, H. (2000). *Oxidation Behavior Of Sputtered Ni–Cr–Al–Ti Nanocrystalline Coating*. *Journal Surface and Coatings Technology*, 123, 92 – 96.
- Chen, J., Feng, Z., Jiang, M., & Yang, B. (2006). *The Effect Of Anodizing Voltage On The Electrical Properties Of Al–Ti Composite Oxide Film On Aluminum*. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 590, 26 – 31.
- Chu, E., Shi, M.F., & Gerdeen, J.C. (1988). *Certain aspect of the Limiting Drawing Ratio in Sheet Metal Forming Process, Controlling Sheet Metal Forming Processes*, Proceedings of the 15<sup>th</sup> Biennial Congress of the IDDRG.
- Courtney, T.H. (1990). *Mechanical Behavior of Materials*. Singapore: McGraw Hill.
- Cullity, B.D. (1977). *Elements of X-Ray Diffraction (Second edition)*. Notre Dame, Indiana: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Dieter, G.E. (1988). *Mechanical Metallurgy*, SI Metric Edition. Singapore: McGraw-Hill.
- Ding, S., & Morris, J. G. (1997). *Processing of AA3004 Alloy Can Stock for Optimum Strength and Formability*. *Journal of Metallurgical and Materials Transactions A*, 28A, 2715-2721.

Driver, J.H., et al. (1996). *Aluminum Alloys, Their Physical and Mechanical Properties –Proceedings*. ICAA5-, Part 1-4, Volumes 217-222 of.

Aluminum Matter, [European Aluminium Association](#). (2009), *Aluminum Matter*, [The University of Liverpool](#).

Fellers, W.O. (1990). *Material Science, Testing, and Properties for Technicians*. New Jersey: Prentice Hall Career & Technology.

Feng, J.C., Cao, J., & Li, Z. R. (2007). *Microstructure Evolution and Reaction Mechanism During Reactive Joining of TiAl Intermetallic to TiC Cermet Using Ti–Al–C–Ni Interlayer*. *Journal of Alloys and Compounds*, 436, 298 – 302.

Furlani, A.M., Stipcich, M., & Romero, R. (2005). *Phase Decomposition In a  $\beta$  Cu–Zn–Al–Ti–B Shape Memory Alloy*. *Journal Materials Science and Engineering: A*, 392, 386 – 393.

Gasversz, Vincent. (1998). *Statistical Process Control Penerapan Teknik-Teknik Statistikal Dalam Manajemen Bisnis Total*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.

G Bischof et al 1996 *J. Phys.* (1996) *Investigation of the composition and Structure of GP Zones in Al - Ag by Means of Positron Annihilation Condens. Matter* 8 7523-7537

Ghosh, A.K., Hecker, S.S., & Keeler, S.P. (1984). *Sheet Metal Forming and Testing, Workability Testing Technique*, G.E. Dieter (ed), ASM, Ohio.

Giarno. (2008). *Korosi pada Paduan Aluminium 3104-H19 dalam Lingkungan Hidrogen Peroksida*. Thesis, Program Pasca Sarjana Ilmu Material. Universitas Indonesia.

- Ginzburg., Ballas, V.B., & Robert. (2000). *Flat Rolling Fundamentals*. New York: Marcel Dekker.
- Gouliard, Jay.L. (2001). *Package Authorization Manual Can Body and Can End*. Atlanta, Georgia: The Coca-Cola Company.
- Guangjie, Huang ; Qing Liu; Lingyung Wan; Xiaohui Yin; (1994). *Dynamic Recrystallization of 3104 Aluminum Alloy During Isothermal Compression Deformation at Elevated Temperatures*. Trans Tech, Aedermannsdorf.
- Gu, X., Jiao, T., Kecskes, L.J., Woodman, R.H., Fan, C., Ramesh, K.T., Hufnagel, T.C. (2003). *Crystallization And Mechanical Behavior Of (Hf, Zr)-Ti-Cu-Ni-Al Metallic Glasses*. Journal of Non-Crystalline Solids, 317, 112 – 117.
- Guan, Z.Q., Pfullmann, T., Oehring, M., & Bormann, R. (1997). *Phase Formation During Ball Milling And Subsequent Thermal Decomposition Of Ti-Al-Si Powder Blends*. Journal Of Alloys And Compounds, 252, 245 – 251.
- Harpeii, E.T. (1998). *Numerical Prediction of Limiting Draw Ratio in Aluminum Cylindrical Cup Drawing*. Journal of Metallurgical and Materials Transactions, 29A.
- Harris, J.N. (1983). *Mechanical Working of Metals*. Pergamon Press.
- Hatch., & John E. (1988). *Aluminum Properties and Physical Metallurgy*, American Society for Metals, Metals Park, Ohio.
- Hida, Moritaka. (2007). *An electronic approach to the G.P. zone formation requirement in magnesium and aluminum light metals*. Journal of Japan Institute of Light Metals.

- Hirohiko, T., Shiomi., Kikuchi., Noriyuki, Y., & Haruo, O. (2003). *Tensile Properties and Press Formability of Mg-9Li-1Y Alloy Sheet*. Journal of Materials Transaction, Vol 44, No. 11.
- Horn, K. R. V. (1967). *Aluminum : Properties, Physical Metallurgy and Phase Diagrams*, Vol. 1. Ohio: American Society for Metals.
- Hosford, W.F., & Caddell, R.M. (1983). *Metal Forming : Mechanics and Metallurgy*. New Jersey: Prentice-Hall International.
- Iain, L.M. (1981). *Principles of Mechanical Metallurgy*. Edward Arnold Publ.
- [Inoue, H.](#); [Sato, T.](#); [Kojima, Y.](#); [Takahashi, T.](#) (2000). *The Temperature Limit for GP Zone Formation in an Al-Zn-Mg Alloy*. [Smithsonian Astrophysical Observatory](#).
- Ishikawa, K. (1989). *Teknik Penuntun Pengendalian Mutu*. Jakarta: Mediyatama Sarana Perkasa.
- Jena, A.K., & Chaturvedi, M.C. (1992). *Phase Transformation in Materials*. New Jersey: Prentice Hall.
- Jiang, Y., He, Y.H., Xu, N.P., Huang, B.Y., Liu, C.T. (2008). Effects Of The Al Content On Pore Structures Of Porous Ti-Al Alloys. *Journal Intermetallics*, 16, 327 – 332.
- Jiantao, Liu, S.W. Banovic, R.J. Feields, and J.G. Morris. (2006). *Effect of Intermediate Heat Treatment on Microstructure and Texture Evolution of Continuous Cast Al-Mn-Mg Alloy Sheet*. University of Kentucky, Lexington, KY.

- Kashyap, K.T., & Chandrashekar, T. (2001). *Effect and Mechanisms of Grain Refinement in Aluminium Alloys*. Bull Mater Science, Vol 24, No.4.
- Kettunen, P.O. (1996). *Plastic Deformation and Strain Hardening*. Materials Science Forum. Switzerland: Transtec Publication.
- Kojima, Y., Isobe, T., Senna, M., Sakurai, M., Sumiyama, K., Suzuki, K. (1997). *An XAFS Study On Reconstruction Of Short-Range Order In Mechanically Alloyed Al-Ti And Al-Ti-O Complexes*. Journal of Alloys and Compounds, 248, 52 – 58.
- Kojima, Y., Senna, M., Shinohara, T., Ono, S., Sumiyama, K., Suzuki, K. (1995). *An NMR Study On The Mechanochemical Interaction Between Al And Ti In Metals And Hydrogels*. Journal of Alloys and Compound, 227, 97 – 101.
- Korner, A., (1992). *Incomplete Kear-Wilsdorf Barriers In Ni<sub>3</sub>(Al, Ti)*. Philosophical Magazine Letters, 66, 141 – 145.
- Liu, J., Banovic, S. W., Fields, R. J., & Morris, J. G. (2006). *Effect of Intermediate Heat Treatment on Microstructure and Texture Evolution on Continous Cast Al-Mn-Mg Alloy Sheet*. Journal of Metallurgical and Materials Transactions A, 37A, 1887-1897.
- Liu, G.T., Duh, J.G., Chung, K.H., & Wang, J.H. (2005). *Mechanical Characteristics And Corrosion Behavior Of (Ti,Al)N Coatings On Dental Alloys*. Journal Surface and Coatings Technology, 200, 2100 – 2105.
- Mangonon, P.L. (1999). *The Principles of Materials Selection for Engineering Design*. Prentice-Hall.
- Marshall, G. (2002). *Grain Size Hardening*. Alumatter.

- Maruno, Y., Saiki, H., & Onoue, A. (1999). *Improvement of Deep Drawability of Metal Foil Cups*, Thesis, Dept. of Mechanical Engineering and Materials Science, Kumamoto University.
- Maruno, Y., & Saiki, H. (2004). *Effect of Flange Lubrication and Blank Geometry on Square-Shell Deep Drawability of Hard Pure Aluminum Sheets*. International Journal of Materials and Product Technology (IJMPT), Vol.21, No. 1/2/3.
- McKie, D., & Mckie, C. (1986). *Essentials of Crystallography*. London:Blackwell Scientific Publications.
- Medraj, M. (2004). *Mechanical Engineering*. Concordia University.
- Mitchell, A.J. (2004). *Formulation and Production of Carbonated Soft Drinks*. Scientific Publications.
- Miwa, Y., Sawai, T., Fukai, K., Hoelzer, D.T., & Hishinuma, A. (2000). *Microstructures in Ti–Al Intermetallic Compounds Irradiated At 673 K In HFIR*. Journal of Nuclear Materials, 283, 273 – 277.
- Morris, J. G., Merchant, H. D., Westerman, E. J., Morris, P. L. (1993). *Aluminium Alloys for Packaging*. TMS. Pennsylvania.
- Moon, K.I., & Lee, K.S. (1999). *A Study Of The Microstructure Of Nanocrystalline Al–Ti Alloys Synthesized By Ball Milling In a Hydrogen Atmosphere And Hot Extrusion*. Department of Metallurgical Engineering. Hanyang University. Seoul.

- Morrison, J., Dixon, S.M., Potter, M.D.G., & Davis, C. (2008). *The Correspondence Between Elastic and Plastic Anisotropy in AA3104 and AA5182 Sheet Aluminum Review of Progress in Quantitative. Nondestructive Evaluation*, 975, 1192-1198.
- Muda, I. (2003). *Pengaruh siklus aniling tipe tumpukan terhadap mampu bentuk dan struktur mikro baja lembaran dingin larus interstisi*. Disertasi, Program Pasca Sarjana Ilmu Material. Universitas Indonesia.
- Nandi, P., Nambissan, P.M.G., & Manna, I. (2004). *Amorphisation And Intermetallic Nanophase Formation In Ball-Milled Al-Ti-Si Studied Through Positron Lifetime Spectroscopy*. *Journal of Alloys and Compounds*, 377, 179-187.
- Nobuhiro, K., & Paisarn, R. (2003). *Effect of Tool Radius on Formability During Deep Drawing of AZ 31 Magnesium Alloy Sheets*. *Journal of Japan Institute of Light Metals*, Vol 53, No. 4.
- Pan, F.S., Peng, J., Tang, A.T., & Lu, Y. (2005). *Increasing Cube Texture in High Purity Aluminium Foils for Capacitor*. *Journal of Materials Science and Technology*, 21, 1432.
- Piazza, S., Biundo, G.L.O., Romano, M.C., Sunseri, C., & Quarto, F.D. (1998). *In Situ Characterization Of Passive Films On Al-Ti Alloy By Photocurrent And Impedance Spectroscopy*. *Journal Corrosion Science*, 40, 1087 – 1108.
- Porter, D.A., & Easterling, K.E. (1992). *Phase Transformations in Metals and Alloys* (Second Edition). London: Chapman and Hall.
- Prange, R., Cremer, R., & Neushutz, D. (2000). *Plasma-Enhanced CVD Of (Ti,Al)N Films From Chloridic Precursors In a DC Glow Discharge*. *Journal Surface and Coatings Technology*, 133, 208 – 214.

- Priadi, D. (2004). *Mampu Bentuk Logam Lembaran di tinjau dari nilai Limiting Drawing Ratio (LDR) dan Batas Tinggi Kubah (LDH)*, Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik-Universitas Indonesia.
- Ragone, D.V. (1995). *Thermodynamics of Materials* (Vols. 1-2). Cambridge, Massachusetts: John Wiley & Sons.
- Ramos, A.S., Calinas, R., & Vieira, M.T. (2006). *The Formation Of  $\gamma$ -TiAl From Ti/Al Multilayers With Different Periods*. Journal Surface and Coatings Technology, 200, 6196 – 6200.
- Rafaja, D., Poklad, A., Klemm, A., Schreiber, G., Heger, D., Sima, S., & Dopita, M. (2006). *Some Consequences Of The Partial Crystallographic Coherence Between Nanocrystalline Domains In Ti–Al–N And Ti–Al–Si–N Coatings*. Journal Thin Solid Films, 514, 240 – 249.
- Romankov, S., Sha, W., Kaloshkin, S.D., & Kaevister, K. (2006). *Fabrication Of Ti–Al Coatings By Mechanical Alloying Method*. Journal Surface and Coatings Technology, 201, 3235 – 3245.
- Ryu, J.R., Moon, K.I., Lee, K.S. (2000). *Microstructure And Mechanical Properties Of Nanocrystalline Al–Ti Alloys Consolidated By Plasma Activated Sintering*. Journal of Alloys and Compounds, 296, 157 – 165.
- Sanders, R.E. (2001). *Technology Innovation in aluminium Products*. The Journal of The Minerals, 53, 21–25.
- [Sanders, Jr., Robert E.](#) (1998). *Method of Making Aluminum Can Body Stock and End Stock From Roll Cast Stock*. [Aluminum Company of America](#).

- Sanderson, S. J. (1975). *The kinetics of G.P. zone growth in Al—Cu and Al—Cu—In alloys*. [Philosophical Magazine](#), Volume 31, Issue 4 April 1975 , pages 757 - 764
- Shen, T.H. (1993). *The Effect of Stabilizing on Formability of 3014 Aluminum Alloy During Can Making*. California: A Publication of TMS.
- Singh, S.K., & Kumar, D.R. (2004). *Numerical Prediction of Limiting Draw Ratio and Thickness Variation in Hydromechanical Deep Draw*. International Journal of Materials and Product Technology (IJMPT), Vol.21, No. 1/2/3.
- Smallman, R.E. (1985). *Modern Physical Metallurgy*, 4<sup>th</sup> ed. Butterworth & Co (Publishers) Ltd.
- Smith, W.F. (1979). *Materials and Engineering Institute*. Columbia: ASM International.
- Surdia, T., & Shinroku, S. (1992). *Pengetahuan Bahan Teknik* (Cetakan kedua). Pradnya Paramita.
- Sukirno., Priadi, D., & Setiawan, R.A. (2006). *Pengaruh Pelumas Minyak Sawit Pada Proses Deep Drawing Lembaran Kuningan (Cu-Zn)*. Jurnal Teknologi, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Edisi No.2, Tahun XX.
- Sun.T.C. (1993). *Surface and Metalurgical Effects In Wall Ironing of AA3104*. Centre of Technology, Kaiser Aluminum & Chemical Corporation, California.
- Suryanarayana, C., & Norton, M.G. (1998). *X-Ray Diffraction A Practical Approach*. New York: Plenum Press.

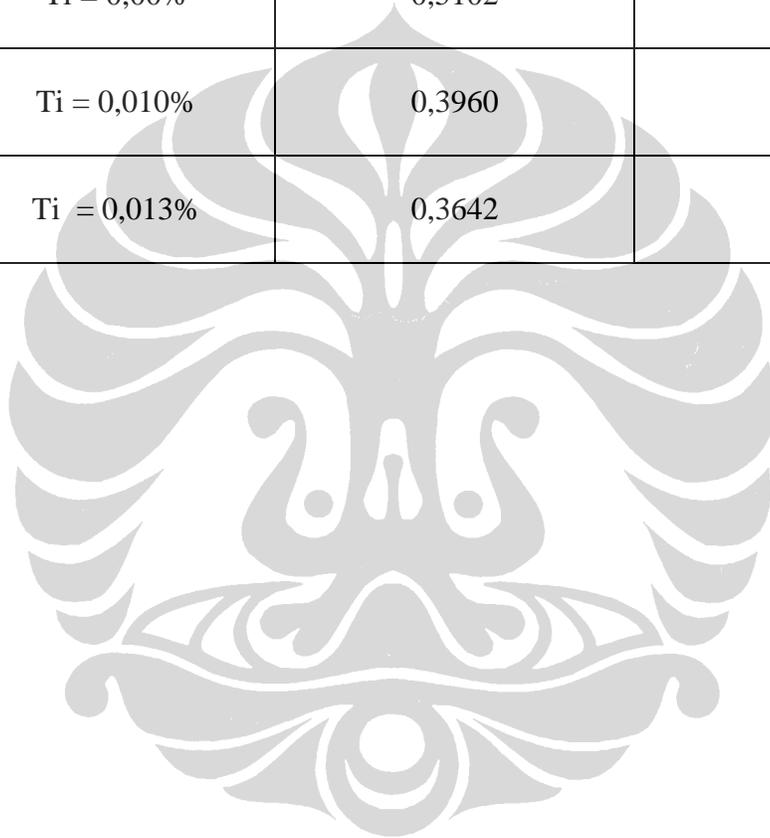
- Tanaka, K., Terasaki, T., Goto, S., Antretter, T., Fischer, F.D., & Cailletaud, G. (2003). *Effect of Back Stress Evolution Due To Martensitic Transformation On Iso-Volume Fraction Lines In a Cr–Ni–Mo–Al–Ti Maraging Steel*. *Journal Materials Science and Engineering A*, 341, 189 – 196.
- Tebbe, P. A., & Kridli, GT. (2004). *Warm Forming of Aluminum Alloys: An Interview and Future Direction*. *International Journal of Materials and Product Technology (IJMPT)*, Vol.21, No. 1/2/3.
- Teirlinck et al., (1989) "*Effect of Homogenization on the Behavior of Roll Cast 3004 for Can Stock*", *Continuous Casting of Non-Ferrous Metals and Alloys*; pp. 243-258 Aluminum Company of America.
- Tzenov, N.V., & Barsoum, M.W. (1999). *Synthesis And Characterization of  $Ti_3AlC_2$* . Department of Materials Engineering. Drexel University. Philadelphia.
- Ujihara, T. ; Osamura, K. ; Amemiya, Y. (1998). *Shape Anisotropy of GP Zone in Early Decomposition Process of Al-Zn Binary Alloy*. Nippon Kinzoku Gakkai, Sendai, Japon.
- Vlack, Van. Lawrence, H. (1995). *Elemen-Element Ilmu Rekayasa Material*. Erlangga, Surabaya.
- Westin, G., Ekstrand, A., Zangellini, E., & Borjesson, L. (2000). *Preparation and Optical Studies Of Er-Doped Al–Si–Ti Oxide Glasses Using The  $ErAl_3(OPr^i)_{12}$  Isolated Er-Ion Precursor*. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 61, 67- 74.
- Whiteley, R.L., & Wire, D.E. (1962). *Flat Rolled Product III*. New York: Interscience.

- Wilson, A. (2009). *Experimental Verification Of The Theoretical Prediction of The Phase Structure Of a Ni–Al–Ti–Cr–Cu Alloy*. *Acta Materialia*, 50, 2787–2800.
- Young, G.M., & Nesbitt, H.W. (1998). *Processes Controlling The Distribution of Ti And Al In Weathering Profiles, Siliciclastic, Sediments and Sedimentary Rocks*. *Journal of Sedimentary Research*, 68, 448 – 455.
- Zeren, M., & Karakulak, E. (2000). *Microstructural Characterisation of Al-Si-xTi Cast Alloys*. *Journal of Material Science and Technology*.
- Zhang, F., Chen, S.L., Chang, Y.A., & Kattner, U.R. (1997). *A Thermodynamic Description Of The Ti---Al System*. *J. Intermetallics*, 5, 471- 482.
- Zhang, F., Lu, L., Lai, M.O. (2000). *Study Of Thermal Stability of Mechanically Alloyed Ti–75% Al Powders*. *Journal of Alloys and Compounds*, 297. 211 – 218.
- Li, Z., Li, C.X., & Morris, J.G. (1993). *Precipitate Behavior of AA 3004 Aluminum Alloy After Preheat Treatment*. University of Kentucky Lexington, KY 40506
- Zwick. (2001). *Testing Machines and Systems for Metals*. Zwick GmbH & Co.KG.

## Lampiran 1

### Data Hasil Pengukuran Kekasaran Lembaran Paduan Aluminium AA3104 dengan Kandungan Ti 0%, Ti 0,01%, dan Ti 0,013%

Sampel Paduan Aluminium AA3104	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )
Ti = 0,00%	0,5102	3,2917
Ti = 0,010%	0,3960	2,6200
Ti = 0,013%	0,3642	2,1688



## Lampiran 2

**Faktor Reliabilitas Sebagai Hasil Refinement Untuk Sampel Paduan  
Aluminium AA3104 Bentuk Serbuk dan Lembaran  
dan Puncak Bragg yang Teramati**

Reliability	A3104		Bragg Peaks (111), (200), (220), (311), (222), (400), (331), (420), (422)
	Powder	Bulk	
$\chi^2$	1,2496	1,7386	
$R_{wp}$	52,6925	29,3431	
$R_p$	41,6968	22,1967	
$R_{wpb}$	118,0996	33,3462	
$R_{pb}$	52,2623	22,7658	
$R_{exp}$	42,1673	16,8777	

## Lampiran 3

## Data Hasil Pengukuran Uji Tarik

Sample Paduan Aluminium AA3104	Posisi	Kuat Tarik (Kg/mm <sup>2</sup> ) - Tensile Strength		Batas Luluh (Kg/mm <sup>2</sup> ) - Yield Strength		Regangan (%) - Elongation	
		Individual	Rata-Rata	Individual	Rata-Rata	Individual	Rata-Rata
Ti = 0.00%	0	33.27	33.06	29.07	29.07	3,90	3.70
		32.63		29.07		3.60	
		33.27		29.07		3.80	
	45	33.60	33.60	29.07	29.07	3,70	3.45
		33.60		29.07		3.10	
		33.60		29.07		3.80	
	90	34.80	34.86	29.72	29.72	3,90	3.85
		34.57		29.72		3.80	
		35.21		29.72		3.90	
Ti = 0.010%	0	34.19	34.19	30.32	30.32	4.90	4.63
		34.19		30.32		4.50	
		34.19		30.32		4.50	
	45	34.51	34.51	30.32	30.32	4.90	4.73
		34.51		30.32		4.50	
		34.51		30.32		4.80	
	90	36.12	35.75	30.32	30.32	4.80	4.87
		35.48		30.32		4.90	
		35.64		30.32		4.90	
Ti = 0.013%	0	34.19	34.19	29.67	29.67	6.20	5.93
		34.19		29.67		5.90	
		34.19		29.67		5.70	
	45	34.51	34.51	30.32	30.32	4.90	4.73
		34.51		30.32		4.50	
		34.51		30.32		4.80	
	90	35.16	35.16	30.32	30.32	5.30	5.47
		35.16		30.32		5.50	
		35.16		30.32		5.60	

## Lampiran 4

## Anisotropi Kekuatan Luluh Pada Orientasi 0°-45°, 45°-90° dan 0°- 90°

Sampel Paduan Aluminium AA3104	Posisi Arah		
	0 - 45	45 - 90	0 - 90
Ti 0,00%	0,000	0,000	0,022
Ti 0,010%	0,000	0,000	0,000
Ti 0,013%	0,022	0,000	0,022

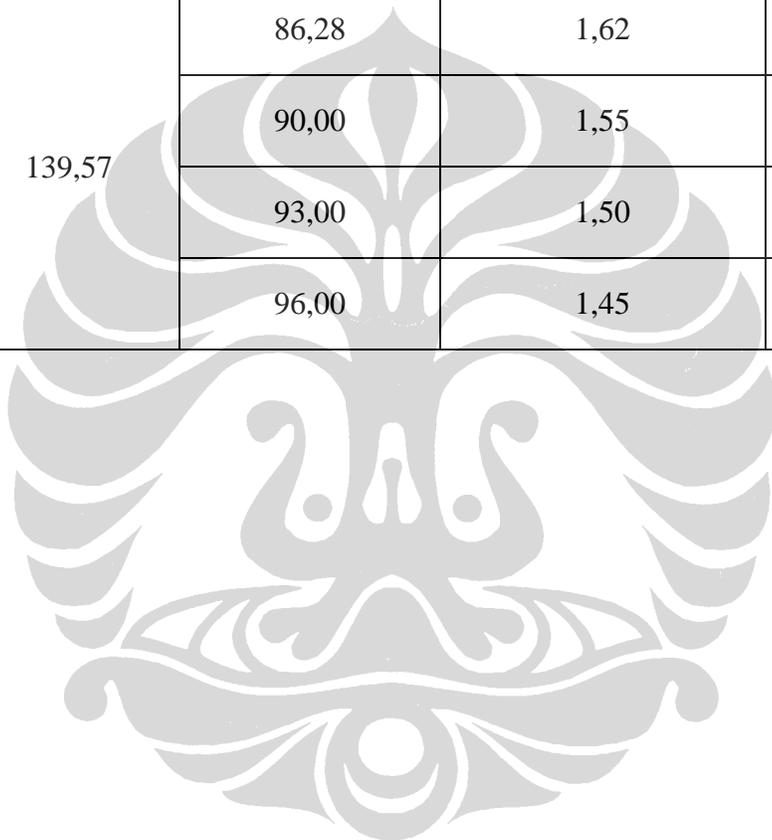
## Lampiran 5

## Anisotropi Regangan Pada Posisi 0°, 45° dan 90°

Sampel Paduan Aluminium AA3104	Posisi Arah		
	0° – 45°	45° – 90°	0° – 90°
Ti 0,00%	0.072	0.116	0.04
Ti 0,010%	0.021	0.029	0.052
Ti 0,013%	0.042	0.156	0.084

**Lampiran 6****Data LDR Dari 4 Ukuran Punch**

Blank Dia (mm)	Punch Dia (mm)	LDR	Tear Off / 1000.000
139,57	86,28	1,62	45
	90,00	1,55	40
	93,00	1,50	30
	96,00	1,45	82



## Lampiran 7

Data Dome Growth Paduan Aluminium AA3104

Tekanan (PSI)	Ti 0.000%	Ti 0.010%	Ti 0.013%
	Growth (mm)		
10	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00
20	0.00	0.00	0.00
25	0.00	0.00	0.00
30	0.00	0.00	0.00
35	0.10	0.10	0.10
40	0.20	0.20	0.20
45	0.30	0.30	0.30
50	0.40	0.40	0.40
55	0.60	0.60	0.60
60	0.70	0.70	0.70
65	0.80	0.80	0.80
70	0.90	0.90	0.90
75	1.00	0.95	0.95
80	1.30	1.10	0.98
85	1.70	1.30	1.20
90	3.00	2.00	1.80
93	4.00	3.50	3.00
95		4.00	3.50
98			4.00

## Lampiran 8

## Data DRP Sampel dengan Ti = 0,00%

## Kekuatan Dome (Dome Reversal Pressure - DRP), Ti 0,00 %

No. Sample	A	B	C	D	E
	Tanpa Permanasan	Pemanasan 210°C, 2 Menit	Pemanasan 210°C, 6 Menit	Pemanasan 210°C, 8 Menit	Pemanasan 210°C, 10 Menit
1	96	94	93	94	93
2	99	93	92	94	93
3	99	94	92	93	92
4	100	94	91	92	93
5	99	95	93	94	92
6	98	93	94	94	92
7	98	93	92	93	93
8	100	92	94	92	92
9	98	94	90	94	93
10	99	94	93	93	93
11	98	94	93	93	93
12	98	94	93	94	93
13	100	94	93	94	92
14	98	95	94	93	93
15	98	94	94	92	92
16	99	95	93	93	93
17	99	95	93	93	92
18	99	94	93	92	93
19	97	94	93	93	93
20	99	93	92	92	92
21	99	92	92	92	92
22	100	93	93	92	93
23	99	94	93	94	93
24	99	95	93	94	92
25	99	91	94	94	92
26	96	95	93	93	93
27	96	93	93	92	92
28	97	92	92	93	92
29	98	94	91	93	91
30	98	94	93	93	93
Rata-Rata	98	94	93	93	93
Max	100	95	94	94	93
Min	96	91	90	92	91

## Lampiran 9

## Data DRP Sampel dengan Ti = 0,010%

## Kekuatan Dome (Dome Buckle Resistance - DRP) - Ti 0.010%

No. Sample	A	B	C	C	E
	Tanpa Permanasan	Pemanasan 210°C, 2 Menit	Pemanasan 210°C, 6 Menit	Pemanasan 210°C, 8 Menit	Pemanasan 210°C, 10 Menit
1	102	94	96	95	96
2	103	95	96	97	96
3	102	96	96	98	95
4	102	97	97	97	95
5	102	95	97	97	97
6	103	96	96	96	96
7	102	97	96	96	96
8	102	96	97	97	95
9	101	97	96	96	95
10	102	97	97	97	96
11	102	96	97	97	95
12	102	95	97	96	96
13	103	96	96	96	95
14	102	96	96	96	95
15	104	95	97	97	95
16	103	96	96	96	96
17	102	95	96	96	96
18	101	97	97	97	95
19	102	96	97	97	97
20	102	96	97	97	97
21	103	97	95	96	95
22	103	96	95	95	96
23	102	94	96	96	95
24	103	96	97	97	95
25	102	96	97	95	96
26	103	96	97	97	97
27	102	96	96	96	96
28	103	96	97	97	96
29	103	96	97	97	96
30	102	96	96	96	96
Rata-Rata	102	96	96	96	96
Max	104	97	97	98	97
Min	101	94	95	95	95

## Lampiran 10

## Data DRP Sampel dengan Ti = 0,013%

## Kekuatan Dome (Dome Buckle Resistance - DRP) - Ti 0.013%

No. Sample	A	B	C	C	E
	Tanpa Pemanasan	Pemanasan 210°C, 2 Menit	Pemanasan 210°C, 6 Menit	Pemanasan 210°C, 8 Menit	Pemanasan 210°C, 10 Menit
1	105	97	98	95	96
2	104	99	98	96	97
3	104	98	98	97	98
4	103	97	99	96	97
5	104	96	98	96	97
6	104	98	98	98	97
7	104	97	99	97	98
8	105	97	97	96	96
9	104	97	97	96	96
10	104	97	98	96	97
11	105	98	98	97	97
12	103	97	98	98	97
13	105	99	98	97	97
14	104	96	99	96	96
15	105	97	99	96	96
16	104	98	99	96	96
17	104	98	97	96	98
18	103	96	98	97	97
19	105	100	97	98	98
20	103	99	98	97	97
21	104	98	99	96	96
22	103	96	97	98	96
23	103	97	95	97	97
24	103	98	98	97	97
25	105	97	100	96	96
26	105	97	99	96	96
27	105	98	98	96	96
28	105	97	98	98	98
29	105	97	98	98	96
30	104	97	97	97	97
Rata-Rata	104	97	98	97	97
Max	105	100	100	98	98
Min	103	96	95	96	96

## Lampiran 11

Data Axial Load Sampel dengan  $T_i = 0,00\%$ Kekuatan Kaleng Menahan Gaya Vertikal (Axial Load) -  $T_i 0,00\%$ 

No. Sample	A	B	C	C	E
	Tanpa Pemanasan	Pemanasan 210°C, 2 Menit	Pemanasan 210°C, 6 Menit	Pemanasan 210°C, 8 Menit	Pemanasan 210°C, 10 Menit
1	298	292	290	280	281
2	302	299	282	291	283
3	300	276	276	278	280
4	305	294	280	284	282
5	305	284	293	268	276
6	298	290	289	278	288
7	300	299	294	282	291
8	302	298	280	276	268
9	300	279	290	282	280
10	308	288	270	285	290
11	290	295	284	276	278
12	294	296	269	289	282
13	296	294	278	279	280
14	308	280	289	276	265
15	300	296	293	288	296
16	302	298	291	280	288
17	298	293	278	261	284
18	305	287	280	296	283
19	302	278	263	268	290
20	300	289	280	284	276
21	308	293	276	290	281
22	309	291	262	278	268
23	295	288	266	289	288
24	301	292	288	273	292
25	300	299	275	282	284
26	299	287	287	276	276
27	304	289	278	284	278
28	300	290	289	290	276
29	296	291	293	278	289
30	290	288	291	289	263
Rata-Rata	301	290	282	281	281
Max	309	299	294	296	298
Min	290	276	262	261	263

## Lampiran 12

Data Axial Load Sampel dengan  $T_i = 0,010\%$ Kekuatan Kaleng Menahan Gaya Vertikal (Axial Load) -  $T_i 0,010\%$ 

No. Sample	A	B	C	C	E
	Tanpa Pemanasan	Pemanasan 210°C, 2 Menit	Pemanasan 210°C, 6 Menit	Pemanasan 210°C, 8 Menit	Pemanasan 210°C, 10 Menit
1	301	299	304	280	284
2	299	302	298	292	290
3	310	305	292	299	280
4	308	304	299	302	282
5	300	298	302	308	286
6	318	292	308	302	288
7	304	299	302	305	292
8	298	302	305	304	299
9	290	308	304	298	302
10	312	300	298	278	308
11	298	318	292	292	288
12	299	312	299	299	298
13	306	299	278	302	299
14	322	298	292	308	302
15	312	316	299	302	296
16	299	328	302	299	305
17	298	300	308	302	298
18	316	312	302	305	298
19	328	304	299	304	299
20	300	298	298	298	308
21	312	290	316	292	305
22	289	300	328	299	304
23	296	298	300	308	298
24	307	299	312	273	305
25	289	306	304	282	304
26	297	312	306	312	302
27	324	300	312	304	302
28	310	298	300	312	305
29	298	296	298	304	304
30	312	300	296	306	302
Rata-Rata	305	303	302	299	298
Max	328	328	328	312	308
Min	289	290	278	273	280

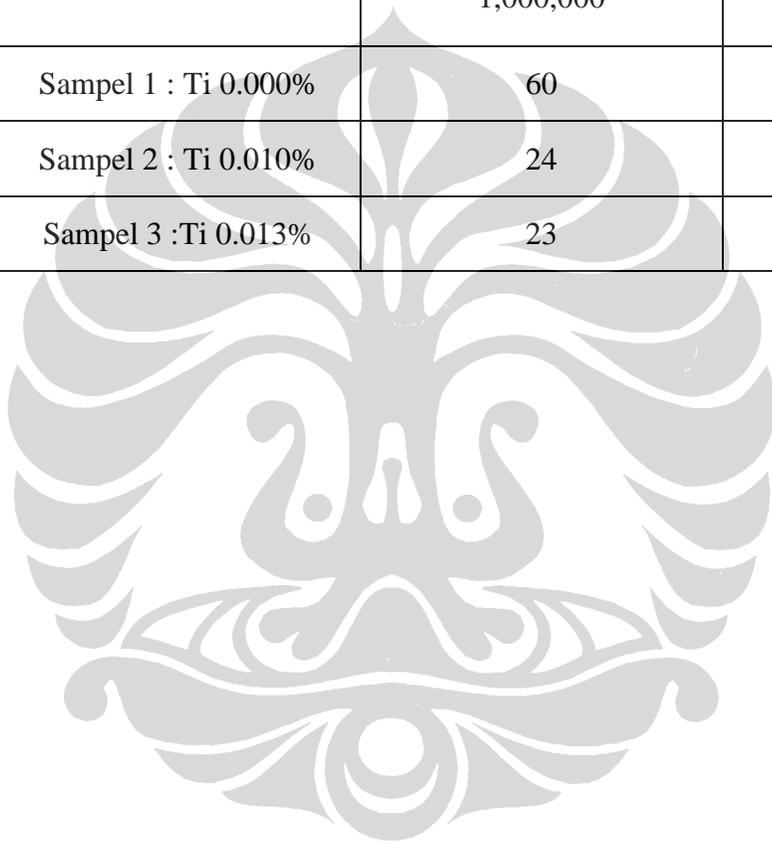
## Lampiran 13

Data Axial Load Sampel dengan  $T_i = 0,013\%$ Kekuatan Kaleng Menahan Gaya Vertikal (Axial Load) -  $T_i 0,013\%$ 

No. Sample	A	B	C	C	E
	Tanpa Permanasan	Pemanasan 210°C, 2 Menit	Pemanasan 210°C, 6 Menit	Pemanasan 210°C, 8 Menit	Pemanasan 210°C, 10 Menit
1	305	321	304	298	296
2	317	308	300	298	294
3	321	318	292	299	290
4	308	305	299	300	305
5	318	300	302	301	302
6	305	299	308	302	298
7	300	315	302	305	300
8	300	305	305	302	301
9	297	300	304	298	296
10	313	310	298	292	305
11	314	309	292	299	302
12	321	298	299	302	302
13	305	316	297	308	299
14	300	310	292	302	302
15	319	300	319	302	296
16	309	303	309	302	305
17	298	300	298	302	302
18	316	303	316	305	299
19	317	304	318	304	302
20	300	296	303	298	308
21	303	307	300	301	302
22	320	300	303	299	302
23	296	307	304	308	302
24	307	305	296	292	305
25	315	306	307	293	295
26	307	308	300	312	302
27	301	320	307	304	301
28	315	308	305	312	299
29	315	317	306	304	308
30	304	300	299	294	296
Rata-Rata	309	307	303	301	301
Max	321	320	319	312	308
Min	296	296	292	292	290

**Lampiran 14****Data Kegagalan Proses Drawn Wall Ironing (Tear Off Rate)**

Hasil Evaluasi Kegagalan Proses Drawn Wall Ironing.		
Sampel	Jumlah Kegagalan / 1,000,000	Jenis Kegagalan
Sampel 1 : Ti 0.000%	60	Putus (Tear Off)
Sampel 2 : Ti 0.010%	24	Putus (Tear Off)
Sampel 3 :Ti 0.013%	23	Putus (Tear Off)



## Lampiran 15

## Standar Dimensi Kemasan Kaleng 330 ml

ITEM		DIMENSIONAL KEY (mm)		
		Nominal	Minimum	Maximum
A	Flange Diameter	61.84	61.34	62.34
B	Neck Plug Diameter	57.40	57.25	57.55
C	Finished Can Height	115.20	114.80	115.60
D	Base Diameter	48.26 (Ref).	-	-
E	Metal Gauge	0.270	0.260	0.280
F	Dome Depth	10.92	10.67	11.17
G	Thin wall	-	0.097	-
H	Outside Body Diameter	66.015	65.790	66.240
I	Neck Length	13.50 (Ref).	-	-
J	Flange Angle	7 <sup>0</sup>	5 <sup>0</sup>	12 <sup>0</sup>
K	Neck Seaming Clearance	5.00 (Ref)	-	-
L	Flange Radius	1.020 (Ref).	-	-
M	Flange Width	2.21	1.97	2.45
N	Neck Thickness	0.170	0.155	0.185
O	Lower Dome Profile	-	-	-
P	Rim	-	-	-
Q	Dome Wall	-	-	-

## Lampiran 16

## Data Hasil Pengukuran Neck Plug Diameter

PLUG DIAMETER			
NECKER HEAD	SAMPLE NUMBER		
	1	2	3
1	57.40	57.43	57.43
2	57.43	57.43	57.40
3	57.45	57.40	57.40
4	57.43	57.45	57.40
5	57.40	57.40	57.45
6	57.35	57.45	57.43
7	57.33	57.45	57.45
8	57.40	57.43	57.45
9	57.33	57.45	57.43
10	57.38	57.43	57.45
11	57.40	57.40	57.38
12	57.38	57.45	57.40
13	57.40	57.43	57.43
14	57.45	57.45	57.40
15	57.43	57.45	57.43
16	57.45	57.43	57.40
<b>AVERAGE</b>			<b>57.42</b>
<b>STD DEVIATION</b>			<b>0.03</b>
<b>3 X STD DEVIATION</b>			<b>0.10</b>
<b>USL</b>			<b>57.55</b>
<b>LSL</b>			<b>57.25</b>
<b>MAXIMUM</b>			<b>57.45</b>
<b>MINIMUM</b>			<b>57.33</b>
<b>NO. &lt; USL</b>			<b>0</b>
<b>NO. &gt; USL</b>			<b>0</b>
<b>NO. DEFECTIVE</b>			<b>0</b>

## Lampiran 17

## Data Hasil Pengukuran Finished Can Height

FINISHED CAN HEIGHT			
NECKER HEAD	SAMPLE NUMBER		
	1	2	3
1	115.24	115.09	115.16
2	114.99	115.06	115.01
3	115.09	115.06	115.01
4	114.99	115.04	115.09
5	115.04	115.04	115.16
6	115.21	115.04	115.11
7	115.01	115.14	115.04
8	115.06	115.16	115.11
9	115.04	115.06	114.96
10	115.09	115.11	115.11
11	115.11	115.19	115.16
12	115.04	115.21	115.06
13	115.16	115.19	115.11
14	114.99	115.16	115.09
15	115.01	115.21	115.11
16	115.04	115.19	115.19
AVERAGE			115.09
STD DEVIATION			0.07
3 X STD DEVIATION			0.22
USL			115.60
LSL			114.80
MAXIMUM			115.24
MINIMUM			114.96
NO. < USL			0
NO. > USL			0
NO. DEFECTIVE			0



## Lampiran 19

## Data Hasil Pengukuran Thin Wall Thickness

THIN WALL THICKNESS.						
Sample No.	mm					
	BODY MAKER NUMBER					
	1	2	3	4	5	6
1	0.112	0.112	0.112	0.109	0.114	0.109
2	0.109	0.109	0.109	0.107	0.109	0.107
3	0.107	0.107	0.112	0.107	0.109	0.107
4	0.104	0.107	0.109	0.107	0.107	0.112
5	0.104	0.107	0.107	0.104	0.104	0.104
6	0.112	0.112	0.107	0.109	0.109	0.114
7	0.107	0.107	0.107	0.109	0.112	0.112
8	0.109	0.109	0.107	0.109	0.107	0.112
9	0.109	0.107	0.107	0.107	0.107	0.109
10	0.112	0.109	0.107	0.109	0.112	0.112
11	0.112	0.107	0.107	0.107	0.112	0.112
12	0.114	0.109	0.107	0.107	0.112	0.112
13	0.112	0.107	0.107	0.107	0.112	0.112
14	0.109	0.109	0.107	0.107	0.109	0.112
15	0.109	0.109	0.107	0.109	0.109	0.112
16	0.112	0.112	0.107	0.107	0.114	0.112
17	0.109	0.112	0.112	0.112	0.112	0.112
18	0.109	0.107	0.112	0.107	0.109	0.112
AVERAGE				0.109		
STD DEVIATION				0.003		
3 X STD DEVIATION				0.008		
USL				N/A		
LSL				0.097		
MAXIMUM				0.114		
MINIMUM				0.104		
NO. < LSL				0		
NO. > USL				N/A		
NO. DEFECTIVE				0		

## Lampiran 20

## Data Hasil Pengukuran Neck Thickness

NECK THICKNESS.						
SAMPLE No.	mm					
	BODY MAKER NUMBER					
	1	2	3	4	5	6
1	0.167	0.167	0.169	0.169	0.167	0.170
2	0.166	0.168	0.168	0.168	0.166	0.170
3	0.168	0.170	0.168	0.169	0.168	0.168
4	0.167	0.170	0.170	0.170	0.168	0.168
5	0.168	0.169	0.168	0.168	0.170	0.169
6	0.170	0.169	0.170	0.167	0.166	0.169
7	0.170	0.170	0.168	0.170	0.168	0.168
8	0.168	0.169	0.168	0.167	0.166	0.167
AVERAGE					0.168	
STD DEVIATION					0.001	
3 X STD DEVIATION					0.004	
USL					0.185	
LSL					0.155	
MAXIMUM					0.170	
MINIMUM					0.166	
NO. < LSL					0.000	
NO. > USL					0.000	
NO. DEFECTIVE					0.000	

## Lampiran 21

## Data Hasil Pengukuran Flange Width

FLANGE WIDTH			
NECKER HEAD	SAMPLE NUMBER		
1	2.18	2.13	2.18
2	2.18	2.16	2.24
3	2.16	2.18	2.24
4	2.16	2.16	2.18
5	2.18	2.13	2.13
6	2.18	2.16	2.16
7	2.16	2.13	2.16
8	2.18	2.24	2.18
9	2.21	2.29	2.13
10	2.18	2.16	2.16
11	2.16	2.16	2.16
12	2.26	2.24	2.16
13	2.16	2.18	2.13
14	2.13	2.18	2.18
15	2.18	2.13	2.16
16	2.21	2.16	2.13
<b>AVERAGE</b>			<b>2.17</b>
<b>STD DEVIATION</b>			<b>0.04</b>
<b>3 X STD DEVIATION</b>			<b>0.11</b>
<b>USL</b>			<b>2.41</b>
<b>LSL</b>			<b>2.03</b>
<b>MAXIMUM</b>			<b>2.29</b>
<b>MINIMUM</b>			<b>2.13</b>
<b>NO. &lt; USL</b>			<b>0</b>
<b>NO. &gt; USL</b>			<b>0</b>
<b>NO. DEFECTIVE</b>			<b>0</b>

## Lampiran 22

## Data Hasil Pengukuran Drop Impact Resistance

DROP IMPACT RESISTANCE						
SAMPLE No.	(INCH)					
	BODY MAKER NUMBER					
	1	2	3	4	5	6
1	9	9	10	9	8	10
2	9	9	9	9	9	9
3	9	9	9	9	9	9
4	9	9	10	9	9	9
5	9	10	9	10	9	10
6	9	10	9	9	9	9
7	9	9	9	9	8	9
8	9	9	9	10	9	9
9	9	9	9	8	9	9
10	9	9	9	9	9	9
11	9	9	9	10	9	9
12	8	9	10	9	8	10
AVERAGE						9
STD DEVIATION						0.42
3 X STD DEVIATION						1.27
SPEC. AVERAGE MINIMUM						7
MAXIMUM						10
MINIMUM						8
NO. DEFECTIVE , (<LSL)						0

## Lampiran 23

## Data Hasil Pengukuran Dome Reversal Pressure

DOME REVERSAL PRESSURE (PSI).						
SAMPEL NO.	BODY MAKER NUMBER					
	1	2	3	4	5	6
1	95	94	95	96	96	95
2	94	94	96	94	95	96
3	94	94	95	95	94	95
4	94	94	96	94	96	95
5	94	94	95	95	95	95
6	94	95	95	94	94	96
7	95	94	95	94	97	96
8	94	94	96	94	96	95
AVERAGE						95
STD DEVIATION						0.83
3 X STD DEVIATION						2.50
LSL						90
SPEC. AVERAGE MINIMUM						N/A
MAXIMUM						97
MINIMUM						94
NO. DEFECTIVE , (<LSL)						0

## Lampiran 24

## Data Hasil Pengukuran Axial Load

AXIAL LOAD (POUND)						
SAMPEL NO.	BODY MAKER NUMBER					
	1	2	3	4	5	6
1	304	305	312	307	305	311
2	305	310	300	311	301	303
3	308	305	308	299	313	316
4	308	311	305	314	310	315
5	314	315	300	309	312	319
6	311	305	303	310	305	311
7	300	298	301	301	298	296
8	305	301	296	300	303	298
AVERAGE						<b>306</b>
STD DEVIATION						<b>5.83</b>
3 X STD DEVIATION						<b>17.49</b>
LSL						<b>176</b>
SPEC. AVERAGE MINIMUM						<b>N/A</b>
MAXIMUM						<b>319</b>
MINIMUM						<b>296</b>
NO. DEFECTIVE , (<LSL)						<b>0</b>

## Lampiran 25

## Daftar Koefisien Untuk Perhitungan Grafik Rata-Rata dan Range

Daftar Nilai Koefisien Utk Perhitungan Batas - Batas Peta X-bar dan R.

<u>n</u>	<u>A<sub>2</sub></u>	<u>D<sub>3</sub></u>	<u>D<sub>4</sub></u>	<u>d<sub>2</sub></u>
2	1.880	0	3.267	1.128
3	1.023	0	2.574	1.693
4	0.729	0	2.282	2.059
5	0.577	0	2.114	2.326
6	0.483	0	2.004	2.534
7	0.419	0.076	1.924	2.704
8	0.373	0.136	1.864	2.847
9	0.337	0.184	1.816	2.970
10	0.308	0.223	1.777	3.078
11	0.285	0.256	1.744	3.173
12	0.266	0.283	1.717	3.258
13	0.249	0.307	1.693	3.336
14	0.235	0.328	1.672	3.407
15	0.223	0.347	1.653	3.472

## Lampiran 26

## Data Hasil Uji Tarik 15% Sampel Lembaran Aluminium AA3104 dengan Ti 0,00%

<b>Data Hasil Uji Tarik (15%) dan Perhitungan Anisotropi</b>							
Sample	Orientasi	Panjang Sebelum ditarik - $L_0$ (mm)	Panjang setelah ditarik - $L_{15\%}$ (mm)	$W_0$ (mm)	$W_{15\%}$	Tebal Awal - $h_0$ (mm)	Tebal setelah ditarik - $h_{15\%}$
			Rata-Rata		Individual		Individual
Ti = 0,00%	0	50	50,49	20	19,62	0,27	0,261
	45	50	50,34	20	19,72	0,27	0,263
	90	50	50,18	20	19,83	0,27	0,265
	Rata-Rata ( $\sigma$ )	50	50,216	20	19,817	0,27	0,265
	Anisotropi : $\sigma, 0^0$	-	1,005	-	0,990	-	0,985
	Anisotropi : $\sigma, 45^0$	-	1,002	-	0,995	-	0,985
	Anisotropi : $\sigma, 90^0$	-	0,999	-	1,001	-	0,997

## Lampiran 27

**Data Hasil Uji Tarik 15% Sampel Lembaran  
Aluminium AA3104 Dengan Ti 0,010%**

<b>Data Hasil Uji Tarik (15%) dan Perhitungan Anisotropi</b>							
Sample	Orientasi	Panjang Sebelum ditarik - $L_0$ (mm)	Panjang setelah ditarik - $L_{15\%}$ (mm)	$W_0$ (mm)	$W_{15\%}$	Tebal Awal - $h_0$ (mm)	Tebal setelah ditarik - $h_{15\%}$
			Rata-Rata		Individual		Individual
Ti = 0,010%	0	50	50,49	20	19,59	0,27	0,266
	45	50	50,35	20	19,71	0,27	0,264
	90	50	50,18	20	19,84	0,27	0,265
	Rata-Rata ( $\sigma$ )	50	50,221	20	19,816	0,27	0,266
	Anisotropi : $\sigma, 0^0$	-	1,005	-	0,989	-	0,984
	Anisotropi : $\sigma, 45^0$	-	1,003	-	0,995	-	0,984
	Anisotropi : $\sigma, 90^0$	-	0,999	-	1,001	-	0,998

## Lampiran 28

**Data Hasil Uji Tarik 15% Sampel Lembaran  
Aluminium AA3104 dengan Ti 0,013%**

<b>Data Hasil Uji Tarik (15%) dan Perhitungan Anisotropi</b>							
Sample	Orientasi	Panjang Sebelum ditarik - $L_0$ (mm)	Panjang setelah ditarik - $L_{15\%}$ (mm)	$W_0$ (mm)	$W_{15\%}$	Tebal Awal - $h_0$ (mm)	Tebal setelah ditarik - $h_{15\%}$
			Rata-Rata		Individual		Individual
Ti = 0,013%	0	50	50,49	20	19,62	0,27	0,260
	45	50	50,35	20	19,72	0,27	0,263
	90	50	50,22	20	19,82	0,27	0,265
	Rata-Rata ( $\sigma$ )	50	50,21	20	19,816	0,27	0,265
	Anisotropi : $\sigma, 0^\circ$	-	1,005	-	0,990	-	0,981
	Anisotropi : $\sigma, 45^\circ$	-	1,002	-	0,995	-	0,981
	Anisotropi : $\sigma, 90^\circ$	-	1,000	-	1,000	-	0,999

## Lampiran 29

## Data Hasil Uji Tarik Sampel Lembaran Aluminium AA3104 dengan Ti 0,00%

<b>Data Hasil Uji Tarik dan Perhitungan Anisotropi</b>								
Sample	Orientasi	Kuat Tarik (Kg/mm <sup>2</sup> ) - Tensile Strength		Batas Luluh (Kg/mm <sup>2</sup> ) - Yield Strength		Regangan (%) - Elongation		
		Individual	Rata-Rata	Individual	Rata-Rata	Individual	Rata-Rata	
Ti = 0.00%	0	33.27	33.06	29.07	29.07	3,90	3.70	
		32.63		29.07		3.60		
		33.27		29.07		3.80		
	45	33.60	33.60	29.07	29.07	3,70	3.45	
		33.60		29.07		3.10		
		33.60		29.07		3.80		
	90	34.80	34.86	29.72	29.72	3,90	3.85	
		34.57		29.72		3.80		
		35.21		29.72		3.90		
	Rata-Rata ( $\sigma$ )		33.84		29.29		3.67	
	Anisotropi : $\sigma$ , 0 <sup>0</sup>		0.98		0.99		1.01	
	Anisotropi : $\sigma$ , 45 <sup>0</sup>		0.99		0.99		1.01	
	Anisotropi : $\sigma$ , 90 <sup>0</sup>		1.03		1.01		1.05	

## Lampiran 30

## Data Hasil Uji Tarik Sampel Lembaran Aluminium AA3104 dengan Ti 0,010%

<b>Data Hasil Uji Tarik dan Perhitungan Anisotropi</b>								
Sample	Orientasi	Kuat Tarik (Kg/mm <sup>2</sup> ) - Tensile Strength		Batas Luluh (Kg/mm <sup>2</sup> ) - Yield Strength		Regangan (%) - Elongation		
		Individual	Rata-Rata	Individual	Rata-Rata	Individual	Rata-Rata	
Ti = 0.010%	0	34.19	34.19	30.32	30.32	4.90	4.63	
		34.19		30.32		4.50		
		34.19		30.32		4.50		
	45	34.51	34.51	30.32	30.32	4.90	4.73	
		34.51		30.32		4.50		
		34.51		30.32		4.80		
	90	36.12	35.75	30.32	30.32	4.80	4.87	
		35.48		30.32		4.90		
		35.64		30.32		4.90		
	Rata-Rata ( $\sigma$ )		34.82		30.32		4.74	
	Anisotropi : $\sigma$ , 0 <sup>0</sup>		0.98		1.00		0.98	
	Anisotropi : $\sigma$ , 45 <sup>0</sup>		0.99		1.00		0.98	
	Anisotropi : $\sigma$ , 90 <sup>0</sup>		1.03		1.00		1.03	

## Lampiran 31

## Data Hasil Uji Tarik Sampel Lembaran Aluminium AA3104 dengan Ti 0,013%

<b>Data Hasil Uji Tarik dan Perhitungan Anisotropi</b>							
Sample	Orientasi	Kuat Tarik (Kg/mm <sup>2</sup> ) - Tensile Strength		Batas Luluh (Kg/mm <sup>2</sup> ) - Yield Strength		Regangan (%) - Elongation	
		Individual	Rata-Rata	Individual	Rata-Rata	Individual	Rata-Rata
Ti = 0.013%	0	34.19	34.19	29.67	29.67	6.20	5.93
		34.19		29.67		5.90	
		34.19		29.67		5.70	
	45	34.51	34.51	30.32	30.32	4.90	4.73
		34.51		30.32		4.50	
		34.51		30.32		4.80	
	90	35.16	35.16	30.32	30.32	5.30	5.47
		35.16		30.32		5.50	
		35.16		30.32		5.60	
	Rata-Rata ( $\sigma$ )		34.62	30.10		5.38	
	Anisotropi : $\sigma$ , 0 <sup>0</sup>		0.99	0.99		1.10	
	Anisotropi : $\sigma$ , 45 <sup>0</sup>		1.00	1.01		1.10	
	Anisotropi : $\sigma$ , 90 <sup>0</sup>		1.02	1.01		1.02	

## Lampiran 32

**Data Hasil Uji Tarik Sampel Lembaran Aluminium AA3104 dengan Ti 0,00%  
Setelah Pemanasan 210 C, Selama 10 Menit**

<b>Data Hasil Uji Tarik Setelah Pemanasan 210 C, 10 Menit dan Perhitungan Anisotropi</b>								
Sample	Orientasi	Kuat Tarik (Kg/mm <sup>2</sup> ) - Tensile Strength		Batas Luluh (Kg/mm <sup>2</sup> ) - Yield Strength		Regangan (%) - Elongation		
		Individual	Rata-Rata	Individual	Rata-Rata	Individual	Rata-Rata	
Ti = 0.00%	0	29.80	29.75	26.10	25.98	4.05	4.02	
		29.75		25.91		4.00		
		29.70		25.93		4.02		
	45	29.65	29.62	25.67	25.67	3.86	3.90	
		29.60		25.70		3.90		
		29.60		25.65		3.95		
	90	29.60	29.58	25.58	25.58	3.92	3.96	
		29.55		25.60		3.95		
		29.60		25.55		4.02		
	Rata-Rata ( $\sigma$ )		29.65		25.74		3.96	
	Anisotropi : $\sigma$ , 0 <sup>0</sup>		1.00		1.01		1.02	
	Anisotropi : $\sigma$ , 45 <sup>0</sup>		1.00		1.00		1.02	
	Anisotropi : $\sigma$ , 90 <sup>0</sup>		1.00		0.99		1.00	

## Lampiran 33

**Data Hasil Uji Tarik Sampel Lembaran Aluminium AA3104 dengan Ti 0,010%  
Setelah Pemanasan 210 C, Selama 10 Menit**

<b>Data Hasil Uji Tarik Setelah Pemanasan 210 C, 10 Menit dan Perhitungan Anisotropi</b>								
Sample	Orientasi	Kuat Tarik (Kg/mm <sup>2</sup> ) - Tensile Strength		Batas Luluh (Kg/mm <sup>2</sup> ) - Yield Strength		Regangan (%) - Elongation		
		Individual	Rata-Rata	Individual	Rata-Rata	Individual	Rata-Rata	
Ti = 0.010%	0	30.60	30.65	26.93	26.91	5.35	5.24	
		30.65		26.86		5.24		
		30.70		26.93		5.12		
	45	30.30	30.14	26.57	26.53	4.96	5.01	
		30.13		26.48		5.03		
		30.00		26.54		5.05		
	90	30.18	30.21	26.18	26.07	4.97	5.01	
		30.25		26.00		5.01		
		30.21		26.02		5.04		
	Rata-Rata ( $\sigma$ )		30.34		26.50		5.09	
	Anisotropi : $\sigma$ , 0 <sup>0</sup>		1.01		1.02		1.03	
	Anisotropi : $\sigma$ , 45 <sup>0</sup>		0.99		1.00		1.03	
	Anisotropi : $\sigma$ , 90 <sup>0</sup>		1.00		0.98		0.98	

## Lampiran 34

**Data Hasil Uji Tarik Sampel Lembaran Aluminium AA3104 dengan Ti 0,013%  
Setelah Pemanasan 210 C, Selama 10 Menit**

<b>Data Hasil Uji Tarik Setelah Pemanasan 210 C, 10 Menit dan Perhitungan Anisotropi</b>								
Sample	Orientasi	Kuat Tarik (Kg/mm <sup>2</sup> ) - Tensile Strength		Batas Luluh (Kg/mm <sup>2</sup> ) - Yield Strength		Regangan (%) - Elongation		
		Individual	Rata-Rata	Individual	Rata-Rata	Individual	Rata-Rata	
Ti = 0.013%	0	31.85	31.90	27.82	27.83	6.25	6.28	
		31.94		27.86		6.21		
		31.92		27.81		6.38		
	45	31.63	31.68	27.17	27.13	5.97	5.93	
		31.72		27.08		5.83		
		31.69		27.14		5.99		
	90	31.58	31.55	26.78	26.76	5.87	5.76	
		31.45		26.69		5.73		
		31.62		26.82		5.69		
	Rata-Rata ( $\sigma$ )		31.71		27.24		5.99	
	Anisotropi : $\sigma$ , 0 <sup>0</sup>		1.01		1.02		1.05	
	Anisotropi : $\sigma$ , 45 <sup>0</sup>		1.00		1.00		1.05	
	Anisotropi : $\sigma$ , 90 <sup>0</sup>		0.99		0.98		0.96	

## Lampiran 35

**Data Hasil Uji Tarik 15% Sampel Lembaran Aluminium AA3104 dengan Ti 0,00 %  
Setelah Pemanasan 210 C, Selama 10 Menit**

Data Hasil Uji Tarik (15%) dan Perhitungan Anisotropi									
Sample	Orientasi	Lebar sebelum ditarik $W_0$ (mm)		Lebar setelah ditarik - $W_{15\%}$		Tebal Awal - $h_0$ (mm)		Tebal setelah ditarik - $h_{15\%}$	
		Individual	Rata-Rata	Individual	Rata-Rata	Individual	Rata-Rata	Individual	Rata-Rata
Ti = 0.00%	0	20	20.00	19.84	19.82	0.27	0.27	0.264	0.263
		20		19.78		0.27		0.263	
		20		19.80		0.27		0.263	
		20		19.82		0.27		0.263	
		20		19.75		0.27		0.262	
		20		19.80		0.27		0.263	
		20		19.84		0.27		0.263	
		20		19.84		0.27		0.262	
		20		19.85		0.27		0.262	
		20		19.83		0.27		0.263	
	45	20	20.00	19.86	19.83	0.27	0.27	0.262	0.264
		20		19.84		0.27		0.265	
		20		19.82		0.27		0.265	
		20		19.82		0.27		0.265	
		20		19.80		0.27		0.264	
		20		19.81		0.27		0.263	
		20		19.84		0.27		0.263	
		20		19.84		0.27		0.263	
		20		19.84		0.27		0.264	
		20		19.83		0.27		0.264	
	90	20	20.00	19.88	19.85	0.27	0.27	0.262	0.263
		20		19.88		0.27		0.263	
		20		19.86		0.27		0.263	
		20		19.86		0.27		0.263	
		20		19.82		0.27		0.262	
		20		19.86		0.27		0.263	
		20		19.84		0.27		0.263	
		20		19.84		0.27		0.262	
		20		19.86		0.27		0.262	
		20		19.83		0.27		0.263	
Rata-Rata ( $\sigma$ )		20.00	19.83		0.27		0.26		
Anisotropi : $\sigma, 0^\circ$		1.00	0.9991		1.0000		0.9990		
Anisotropi : $\sigma, 45^\circ$		1.00	0.9999		1.0000		0.9990		
Anisotropi : $\sigma, 90^\circ$		1.00	1.0010		1.0000		0.9982		

## Lampiran 36

**Data Hasil Uji Tarik 15% Sampel Lembaran Aluminium AA3104 dengan Ti 0,010%  
Setelah Pemanasan 210 C, Selama 10 Menit**

<b>Data Hasil Uji Tarik (15%) dan Perhitungan Anisotropi</b>									
Sample	Orientasi	Lebar sebelum ditarik $W_0$ (mm)		Lebar setelah ditarik - $W_{15\%}$		Tebal Awal - $h_{100\%}$		Tebal setelah ditarik - $h_{15\%}$	
		Individual	Rata-Rata	Individual	Rata-Rata	Individual	Rata-Rata	Individual	Rata-Rata
Ti = 0.010%	0	20	20.00	19.82	19.80	0.27	0.27	0.262	0.262
		20		19.78		0.27		0.262	
		20		19.78		0.27		0.263	
		20		19.8		0.27		0.262	
		20		19.78		0.27		0.262	
		20		19.81		0.27		0.262	
		20		19.8		0.27		0.263	
		20		19.81		0.27		0.262	
		20		19.82		0.27		0.263	
		20		19.82		0.27		0.263	
	45	20	20.00	19.84	19.82	0.27	0.27	0.262	0.264
		20		19.84		0.27		0.263	
		20		19.82		0.27		0.263	
		20		19.83		0.27		0.265	
		20		19.80		0.27		0.264	
		20		19.81		0.27		0.263	
		20		19.82		0.27		0.263	
		20		19.82		0.27		0.263	
		20		19.81		0.27		0.265	
		20		19.82		0.27		0.264	
	90	20	20.00	19.84	19.84	0.27	0.27	0.264	0.263
		20		19.84		0.27		0.264	
		20		19.84		0.27		0.263	
		20		19.84		0.27		0.263	
		20		19.82		0.27		0.262	
		20		19.84		0.27		0.263	
		20		19.84		0.27		0.263	
		20		19.82		0.27		0.263	
		20		19.84		0.27		0.264	
		20		19.84		0.27		0.263	
Rata-Rata ( $\sigma$ )		20.00	19.82	0.27	0.26				
Anisotropi : $\sigma, 0^\circ$		1.00	0.9991	1.0000	0.9976				
Anisotropi : $\sigma, 45^\circ$		1.00	1.0001	1.0000	0.9976				
Anisotropi : $\sigma, 90^\circ$		1.00	1.0008	1.0000	1.0006				

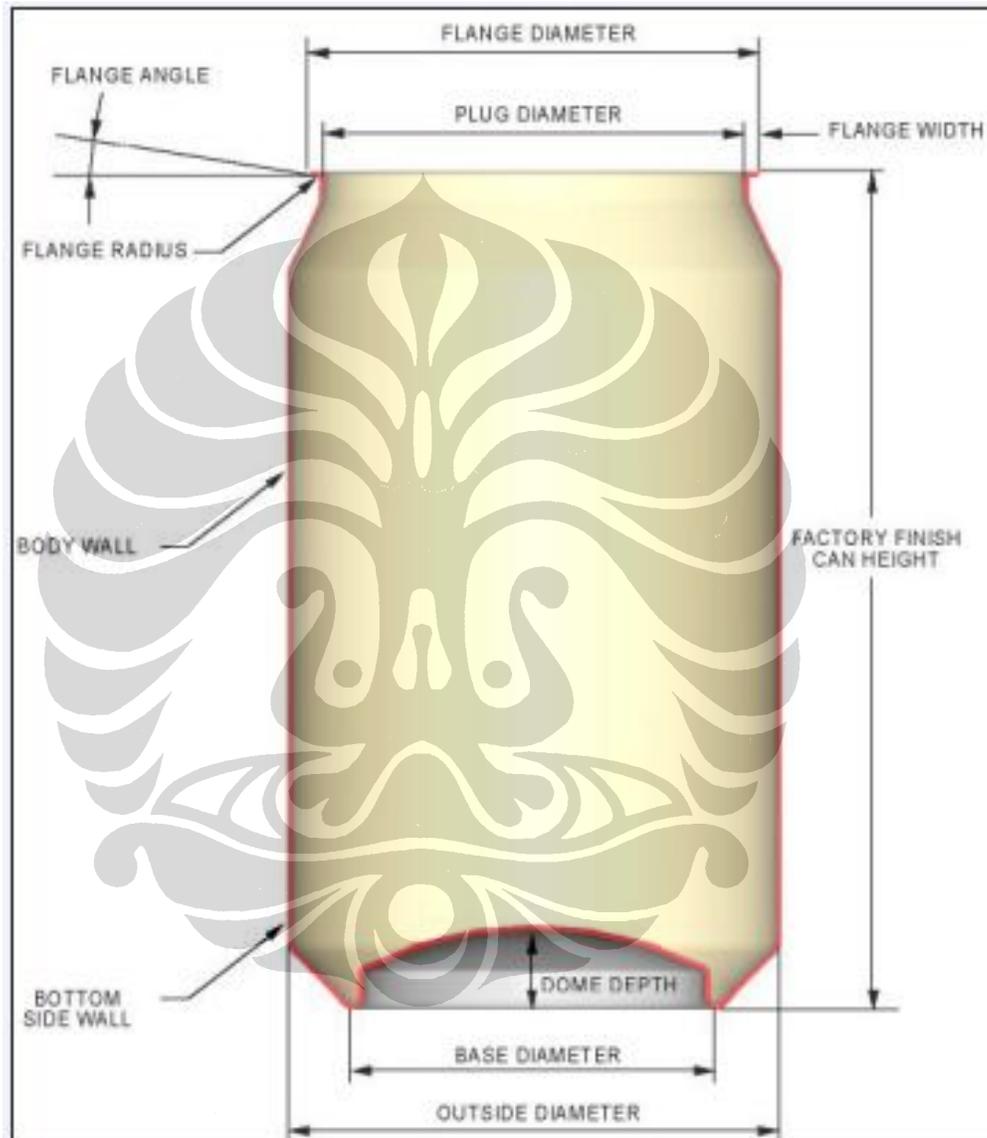
## Lampiran 37

**Data Hasil Uji Tarik 15% Sampel Lembaran Aluminium AA3104 dengan Ti 0,013%  
Setelah Pemanasan 210 C, Selama 10 Menit**

<b>Data Hasil Uji Tarik (15%) dan Perhitungan Anisotropi</b>									
Sample	Orientasi	Lebar sebelum ditarik $W_0$ (mm)		Lebar setelah ditarik - $W_{15\%}$		Tebal Awal - $h_{100\%}$		Tebal setelah ditarik - $h_{15\%}$	
		Individual	Rata-Rata	Individual	Rata-Rata	Individual	Rata-Rata	Individual	Rata-Rata
Ti = 0.013%	0	20	20.00	19.81	19.81	0.27	0.27	0.263	0.263
		20		19.80		0.27		0.264	
		20		19.80		0.27		0.263	
		20		19.82		0.27		0.263	
		20		19.79		0.27		0.26	
		20		19.80		0.27		0.263	
		20		19.80		0.27		0.261	
		20		19.84		0.27		0.262	
		20		19.81		0.27		0.263	
		20		19.83		0.27		0.263	
	45	20	20.00	19.81	19.82	0.27	0.27	0.263	0.264
		20		19.82		0.27		0.265	
		20		19.82		0.27		0.264	
		20		19.82		0.27		0.265	
		20		19.80		0.27		0.263	
		20		19.81		0.27		0.263	
		20		19.81		0.27		0.263	
		20		19.82		0.27		0.263	
		20		19.83		0.27		0.264	
		20		19.82		0.27		0.263	
	90	20	20.00	19.82	19.80	0.27	0.27	0.263	0.263
		20		19.80		0.27		0.263	
		20		19.80		0.27		0.264	
		20		19.80		0.27		0.263	
		20		19.81		0.27		0.263	
		20		19.81		0.27		0.263	
		20		19.81		0.27		0.263	
		20		19.81		0.27		0.262	
		20		19.78		0.27		0.264	
		20		19.79		0.27		0.263	
Rata-Rata ( $\sigma$ )		20.00	19.81	0.27	0.26				
Anisotropi : $\sigma, 0^\circ$		1.00	1.0000	1.0000	0.9978				
Anisotropi : $\sigma, 45^\circ$		1.00	1.0004	1.0000	0.9978				
Anisotropi : $\sigma, 90^\circ$		1.00	0.9996	1.0000	1.0001				

## Lampiran 38

## Can Body Terminology



## Lampiran 39

## Data Hasil Perhitungan Anisotropi Normal (R) Untuk Sampel Dengan Ti 0,00%

Data Hasil Perhitungan Anisotropi Normal (R) untuk sampel Ti 0,00%					
Sampel	Orientasi	Regangan 10%		Regangan 15%	
		Arah Lebar ( $W_o = 20,0$ )	Arah Tebal ( $T_o = 0,27$ )	Arah Lebar ( $W_o = 20,0$ )	Arah Tebal ( $T_o = 0,27$ )
0,00%	0°	19.843	0.2624	19.802	0.2624
	45°	19.856	0.2633	19.821	0.2635
	90°	19.94	0.2634	19.836	0.2632
Rata-rata		19.8797	0.2630	19.8197	0.2630
$\epsilon_w = W_o/W_t$		1.006		1.009	
$\epsilon_t = t_o/t_t$			1.026		1.026
$R = \epsilon_w/\epsilon_t$		0.980		0.983	

## Lampiran 40

**Data Hasil Perhitungan Anisotropi Normal (R) Untuk Sampel  
Dengan Ti 0,010%**

Data Hasil Perhitungan Anisotropi Normal (R) untuk sampel Ti 0,010%					
Sampel	Orientasi	Regangan 10%		Regangan 15%	
		Arah Lebar ( $W_o = 20,0$ )	Arah Tebal ( $T_o = 0,27$ )	Arah Lebar ( $W_o = 20,0$ )	Arah Tebal ( $T_o = 0,27$ )
0,010%	0°	19.867	0.2644	19.802	0.2624
	45°	19.884	0.2648	19.821	0.264
	90°	19.834	0.2654	19.836	0.2638
Rata-rata		19.8617	0.2649	19.8197	0.2634
$\epsilon_w = W_o/W_t$		1.007		1.009	
$\epsilon_t = t_o/t_t$			1.019		1.025
$R = \epsilon_w/\epsilon_t$		0.988		0.984	

## Lampiran 41

**Data Hasil Perhitungan Anisotropi Normal (R) Untuk  
Sampel Dengan Ti 0,013%**

Data Hasil Perhitungan Anisotropi Normal (R) untuk sampel Ti 0,013%					
Sampel	Orientasi	Regangan 10%		Regangan 15%	
		Arah Lebar ( $W_o = 20,0$ )	Arah Tebal ( $T_o = 0,27$ )	Arah Lebar ( $W_o = 20,0$ )	Arah Tebal ( $T_o = 0,27$ )
0,013%	0°	19.867	0.2644	19.810	0.263
	45°	19.884	0.2648	19.818	0.2636
	90°	19.834	0.2654	19.803	0.2634
Rata-rata		19.8617	0.2649	19.8103	0.2633
$\epsilon_w = W_o/W_t$		1.007		1.010	
$\epsilon_t = t_o/t_t$			1.019		1.025
$R = \epsilon_w/\epsilon_t$		0.988		0.985	

## Lampiran 42

Data Hasil Perhitungan Nilai  $\bar{R}$  dan  $\Delta R$  Untuk Sampel Dengan Ti 0,00% ,  
010% dan 0,013%

Data Hasil Uji Tarik dan Perhitungan Nilai $\bar{R}$ dan $\Delta R$						
Kandungan Ti	Ti 0,00%		Ti 0,010%		Ti 0,013%	
Orientasi	Regangan (%) - Elongation		Regangan (%) - Elongation		Regangan (%) - Elongation	
	Individual	Rata-Rata	Individual	Rata-Rata	Individual	Rata-Rata
0	3,90	3.70	4.90	4.63	6.20	5.93
	3.60		4.50		5.90	
	3.80		4.50		5.70	
45	3,70	3.45	4.68	4.59	4.90	5.07
	3.10		4.50		5.50	
	3.80		4.58		4.80	
90	3,90	3.85	4.90	4.90	4.30	4.47
	3.80		4.90		4.50	
	3.90		4.90		4.60	
Rata-Rata ( $\sigma$ )	3.67		4.71		5.16	
$\bar{R} = (R_0 + 2R_{45} + R_{90})/4$	3.61		4.68		5.13	
$\Delta R = (R_0 - 2R_{45} + R_{90})/2$	0.33		0.18		0.13	