



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. Isteri 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*.

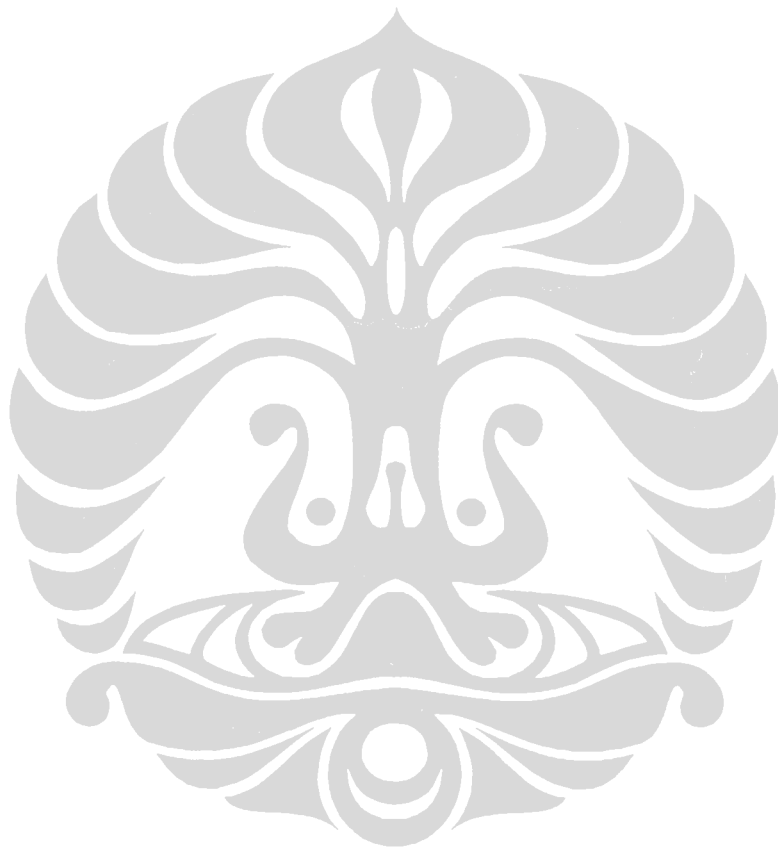


ABSTRACT

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
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	7
1.3 Tujuan Penelitian	8
1.4 Batasan Masalah	9
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	10
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
BAB 3 METODE PENELITIAN		48
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
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		64
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
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	121
5.1	Kesimpulan	121
5.2	Saran-Saran	122
DAFTAR PUSTAKA		123
LAMPIRAN		135

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 ΔR Untuk Sampel Dengan Ti 0,00% , 010% dan 0,013%	176