

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%

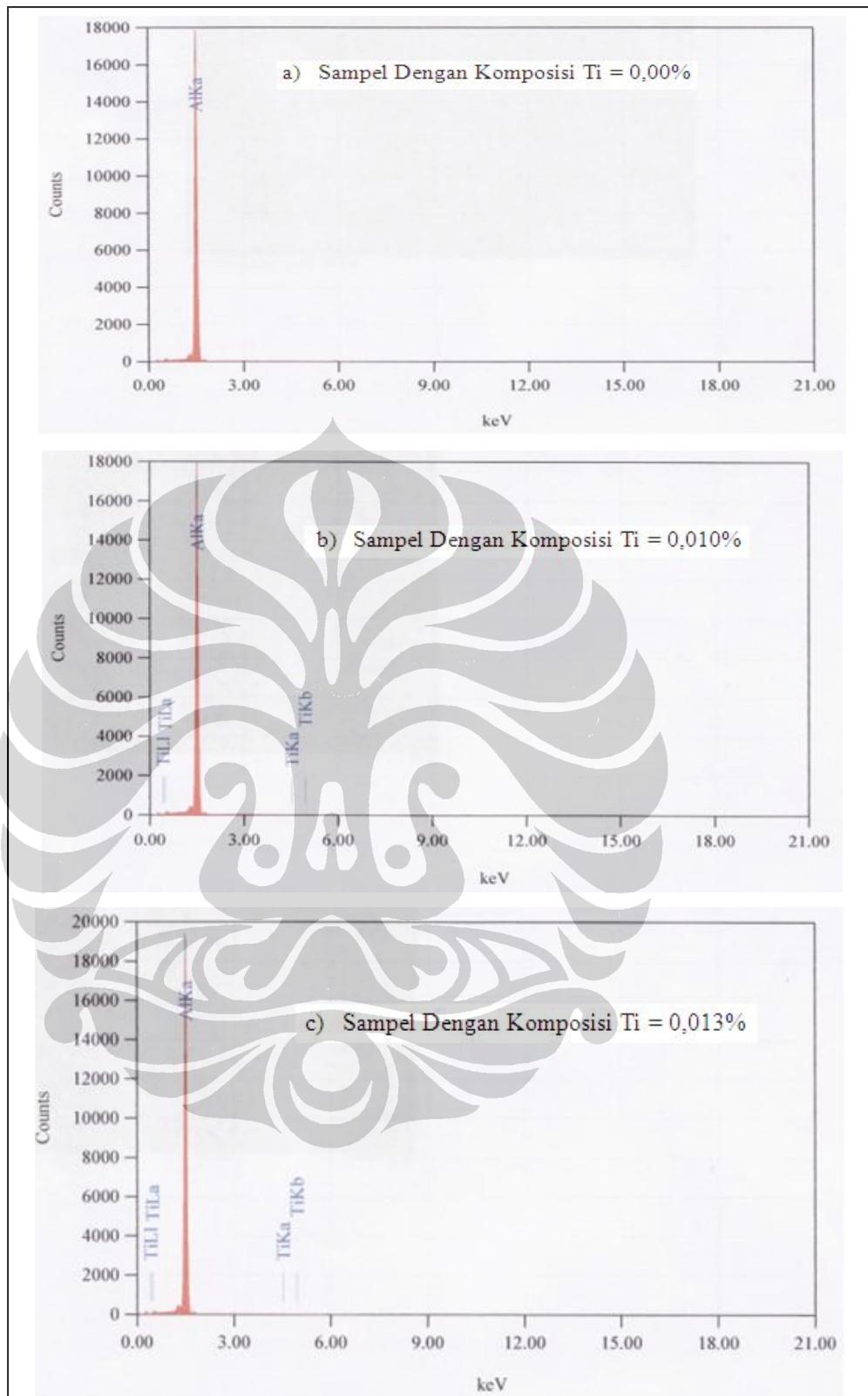
Unsur Element	Kadar/% Content/%	Unsur Element	Kadar/% Content/%
Si	0.13	Cr	0.030
Fe	0.42	Ni	0.016
Cu	0.22	Pb	0.003
Mn	1.00	Sn	0.002
Mg	1.12	V	0.011
Zn	<0.0001	Cd	0.002
Ti	<0.0001	Al	97.04

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



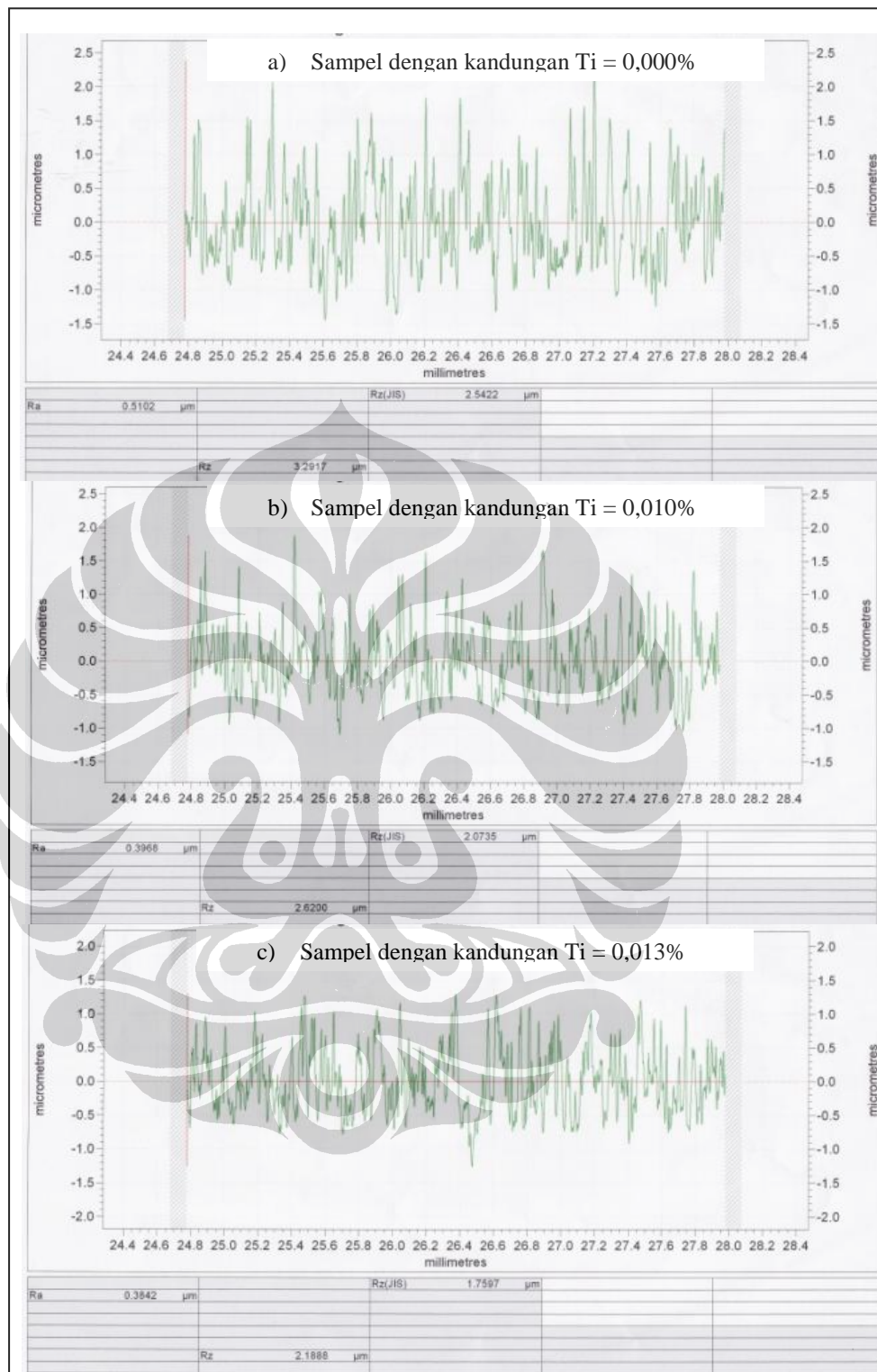
Gambar 4.1 Grafik Hasil Analisis Kualitatif Menggunakan *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) Sampel Dengan Komposisi a) Ti = 0,00%, b) Ti = 0,010% dan c) Ti = 0,013%

4.2 Pengaruh Titanium Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Paduan Aluminium AA31104

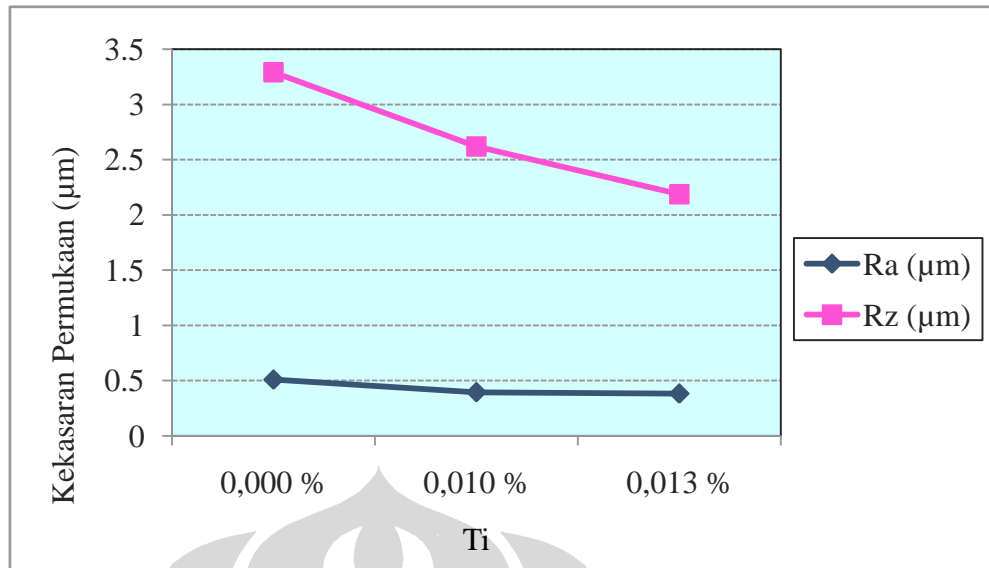
Gambar 4.2 memperlihatkan hasil pengujian kekasaran permukaan lembaran paduan aluminium AA3104 dengan kandungan Ti = 0,00%, Ti = 0,010% dan Ti = 0,013% menggunakan Mitutoyo SJ-31. Pengujian ini menghasilkan data tingkat kekasaran dalam skala Ra dan Rz. Skala Ra merupakan hasil rata-rata dari semua nilai 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.



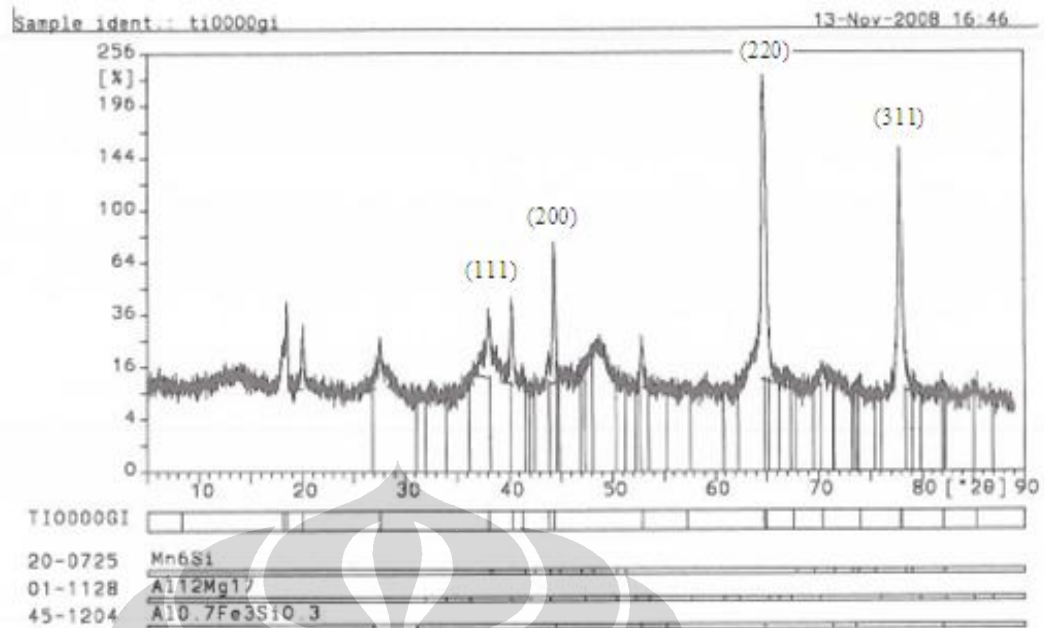
Gambar 4.2 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Lembaran Paduan Aluminium AA3103 Dengan Komposisi a) Ti = 0,00%, b) Ti = 0,010% dan c) Ti = 0,013%



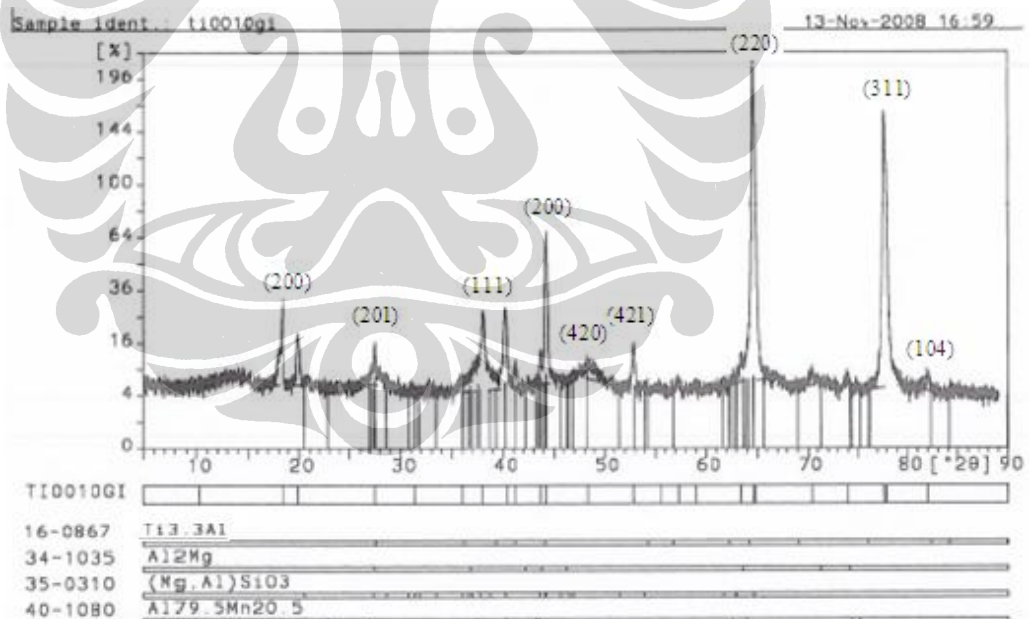
Gambar 4.3 Grafik Kekasaran Permukaan Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Titanium 0,00%, 0,010% dan 0,013% Dalam Skala Ra dan Rz

4.3 Pengaruh Titanium Pada Paduan Aluminium AA3104 Terhadap Terbentuknya Fasa Sekunder

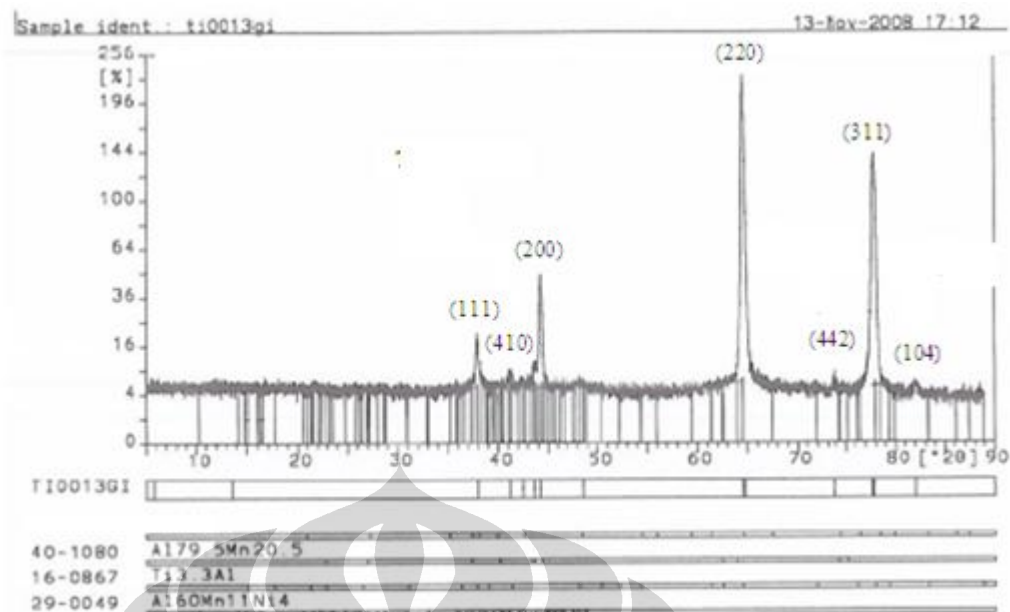
Gambar 4.4, 4.5 dan 4.6, memperlihatkan hasil pengujian XRD terhadap sampel paduan aluminium AA3104 dengan kandungan titanium 0,00%, 0,010% dan 0,013%. Pada pengujian dengan XRD diketahui terdapat sebaran partikel fasa kedua pada ketiga paduan tersebut, akan tetapi sebaran fasa kedua pada sampel dengan 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 Ti_3Al 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 Ti_3Al 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

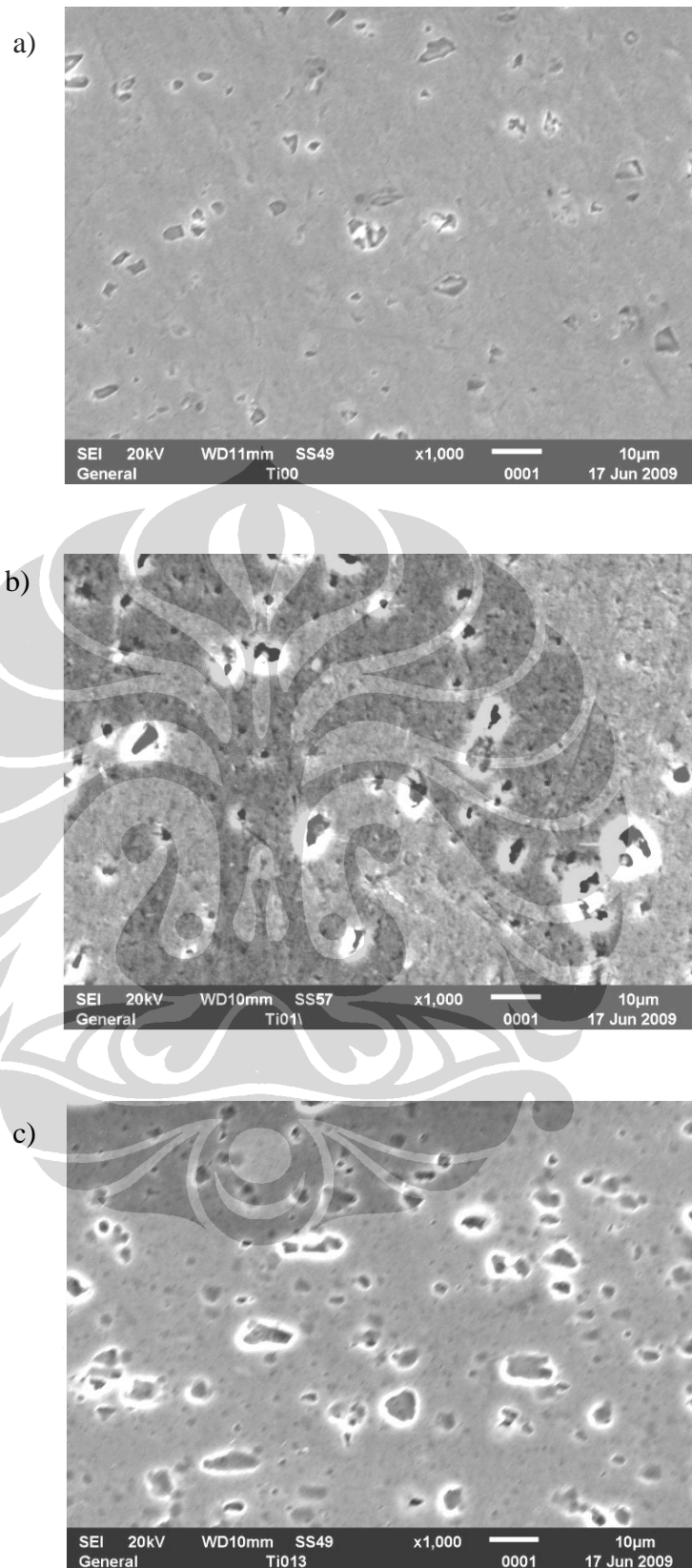
titanium pada paduan aluminium AA3104 dapat menambah kekuatan material tersebut, karena kehadiran titanium memancing terbentuknya presipitasi.

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.

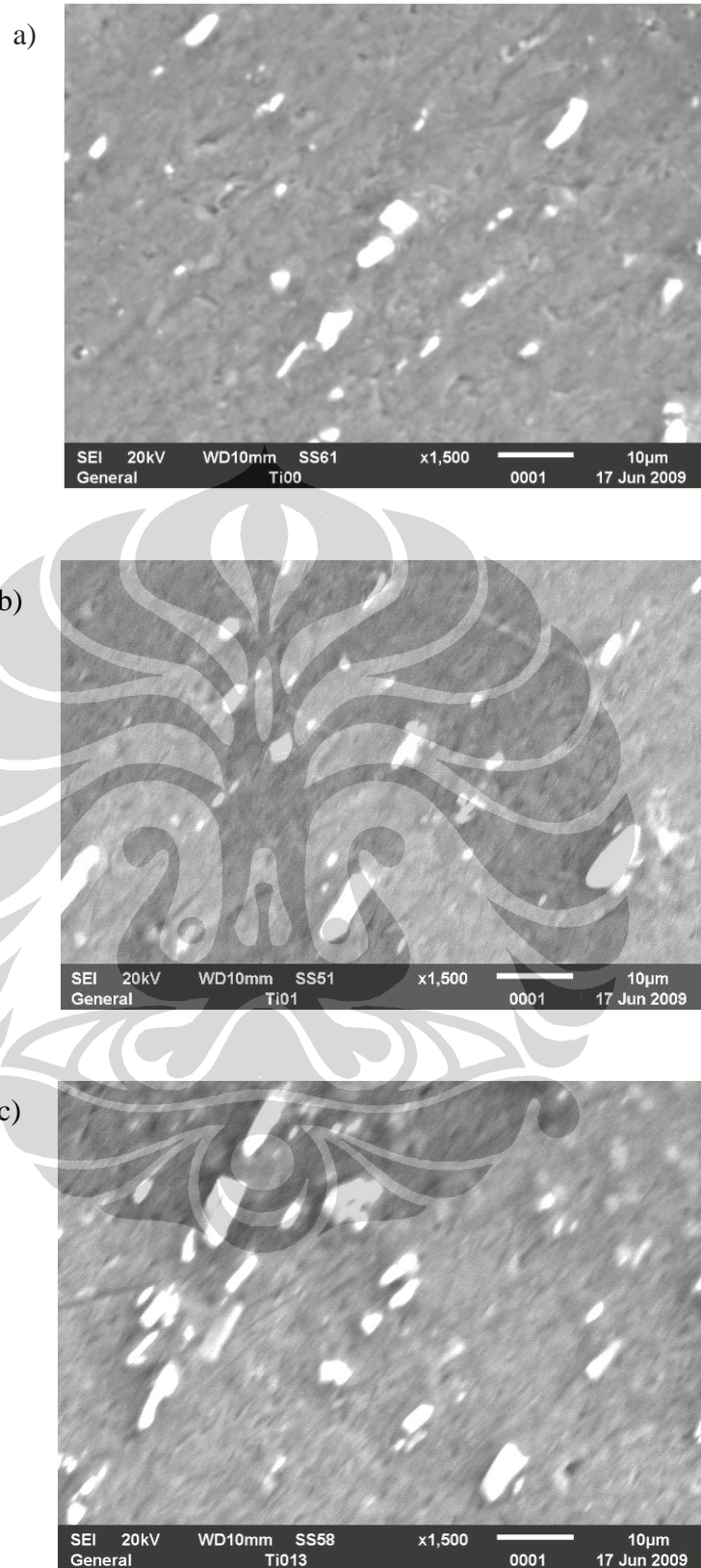
Gambar 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14 memperlihatkan hasil analisis SEM dan EDX pada permukaan atas, paduan aluminium AA3104 yang mengandung titanium 0,00%, 0,010% dan 0,013%. Dimana, tidak terdeteksi adanya unsur titanium pada senyawa yang terbentuk, baik pada area presipitasi maupun area non presipitasi.

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.

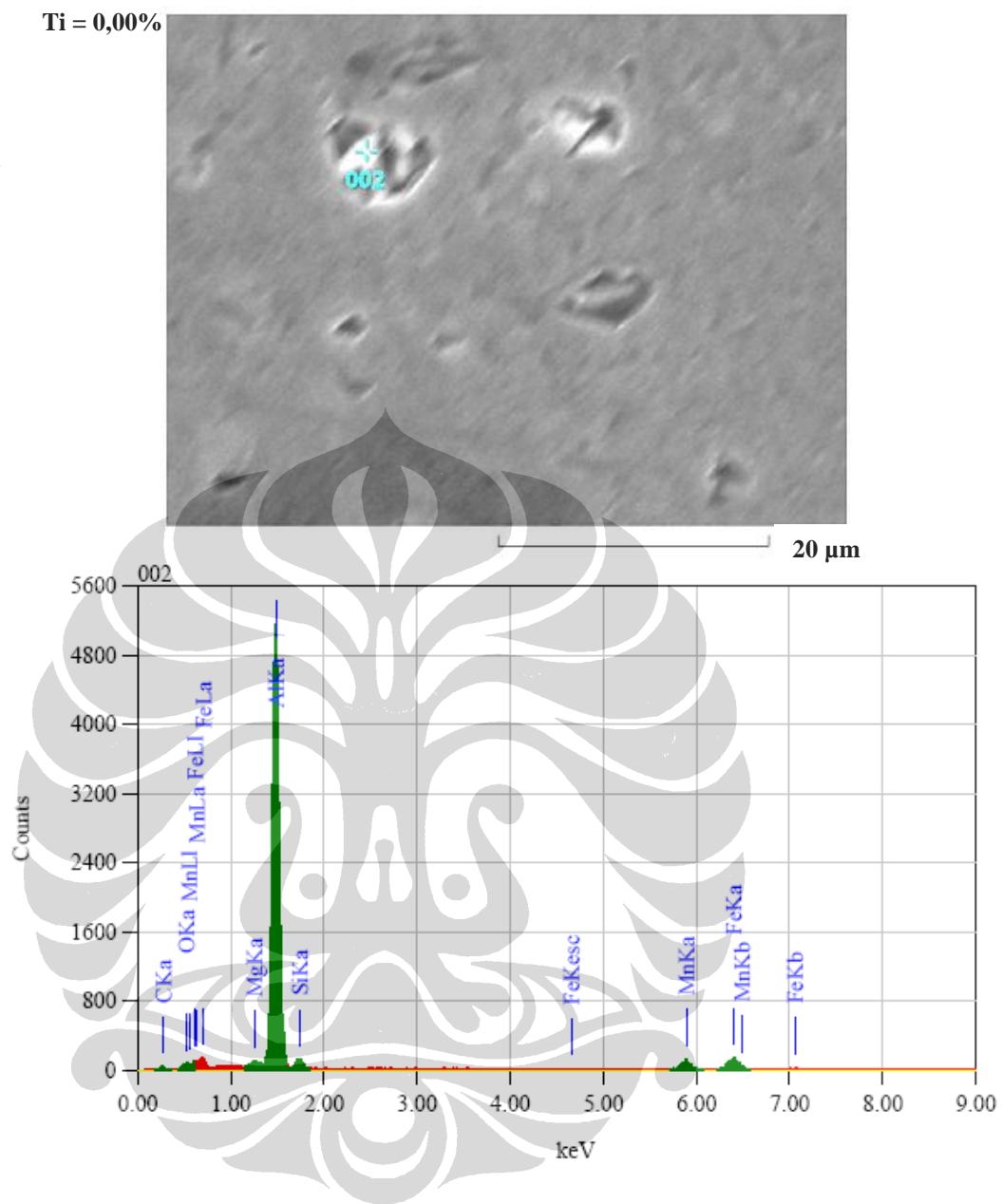
Jadi, dari hasil analisis SEM dan EDX ini bisa ditarik kesimpulan bahwa unsur titanium memancing terbentuknya presipitasi, sementara titanium itu sendiri tidak berada pada presipitasi tersebut.



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%



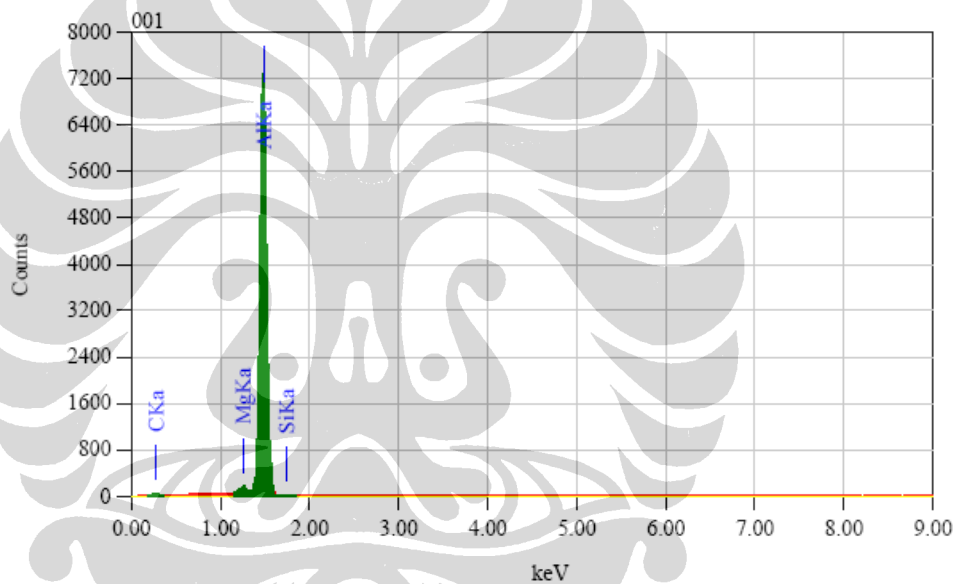
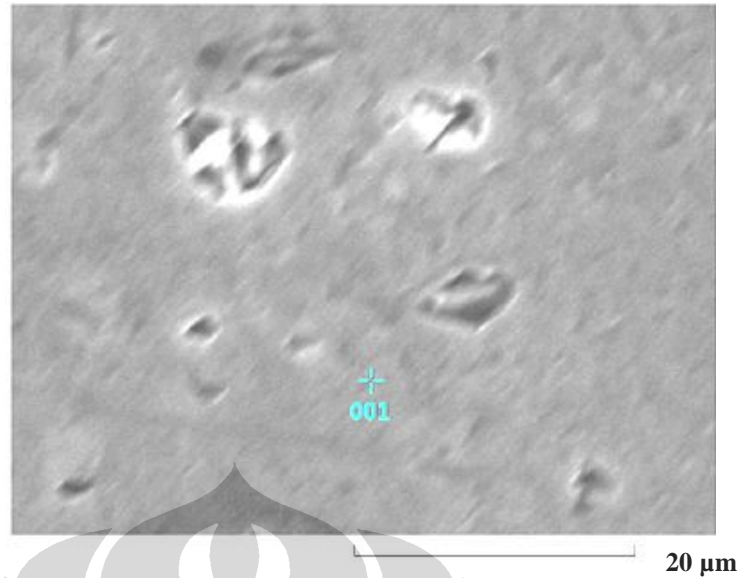
ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

Fitting Coefficient : 0.2729

Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
C	0.277	8.67	1.44	18.44				0.8711
O	0.525	3.14	0.93	5.01				2.8954
Mg	1.253	1.56	0.38	1.64				1.5632
Al	1.486	69.39	0.38	65.67				75.8266
Si	1.739	2.94	0.81	2.67				1.7171
Mn	5.894	6.09	1.36	2.83				7.1911
Fe	6.398	8.21	1.40	3.76				9.9354
Total		100.00		100.00				

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

Ti = 0,00%

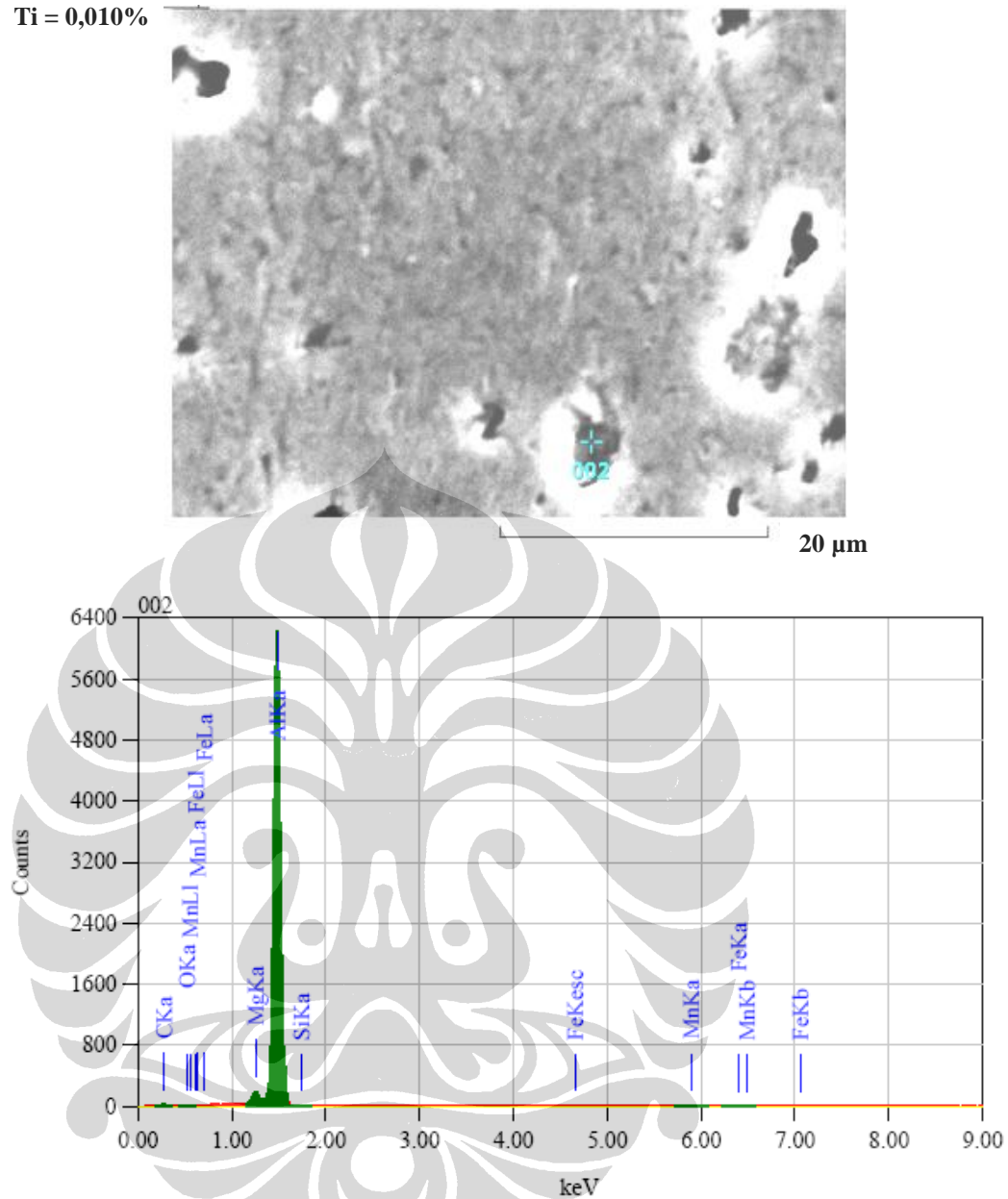


ZAF Method Standardless Quantitative Analysis
Fitting Coefficient : 0.2927

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%

Ti = 0,010%

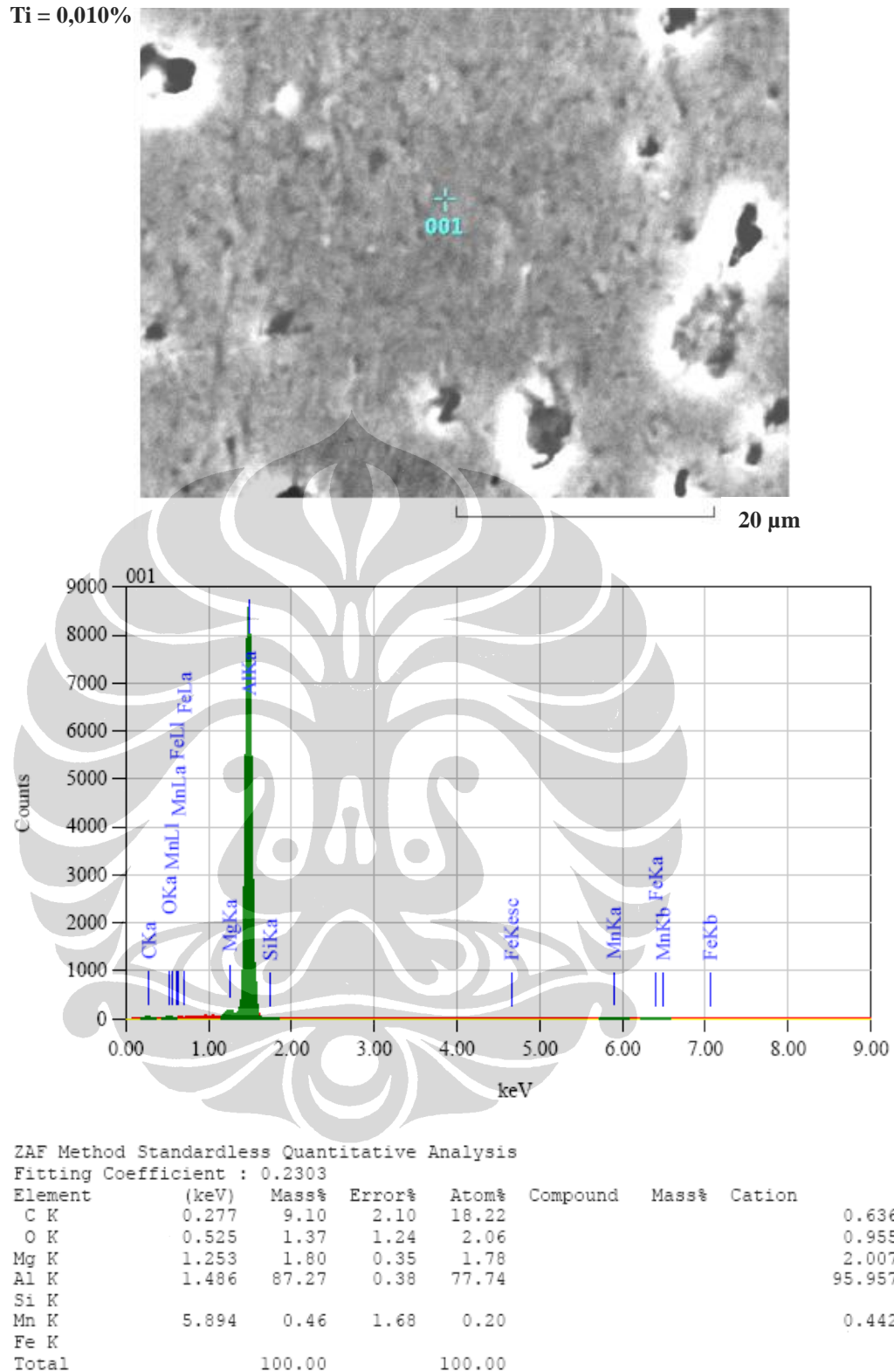


ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

Fitting Coefficient : 0.2751

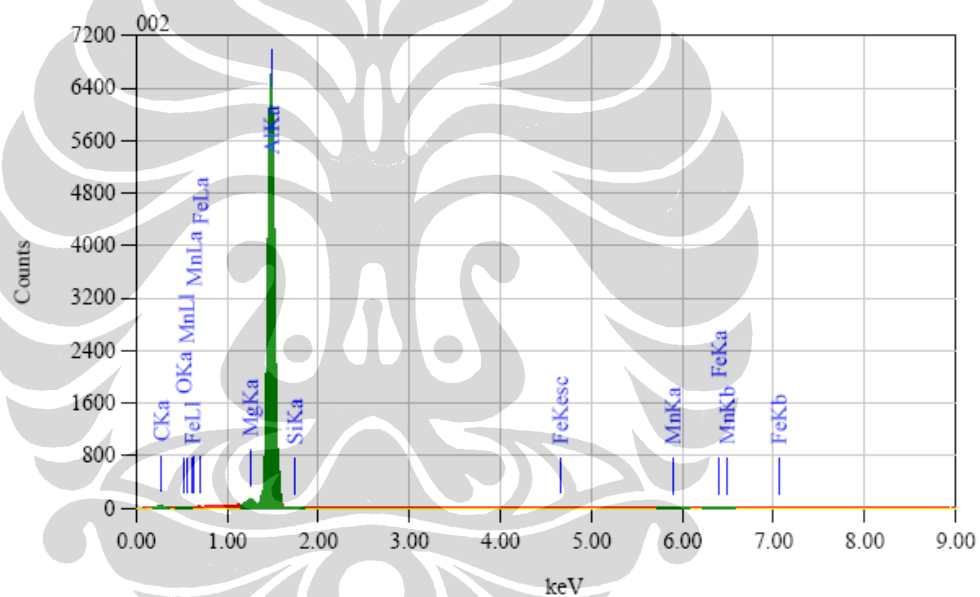
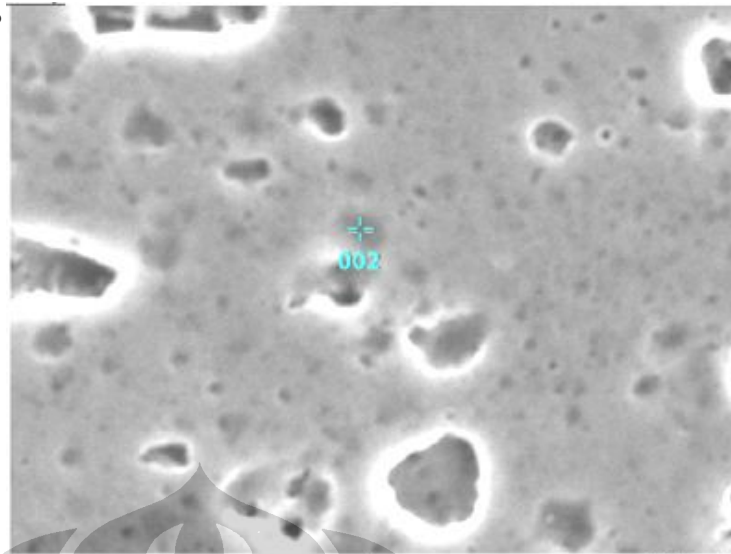
Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	8.59	2.58	17.39				0.5953
O K	0.525	0.24	1.49	0.36				0.1674
Mg K	1.253	3.08	0.41	3.08				3.4961
Al K	1.486	87.65	0.47	78.97				95.3122
Si K								
Mn K	5.894	0.44	2.04	0.20				0.4291
Fe K								
Total		100.00		100.00				

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%

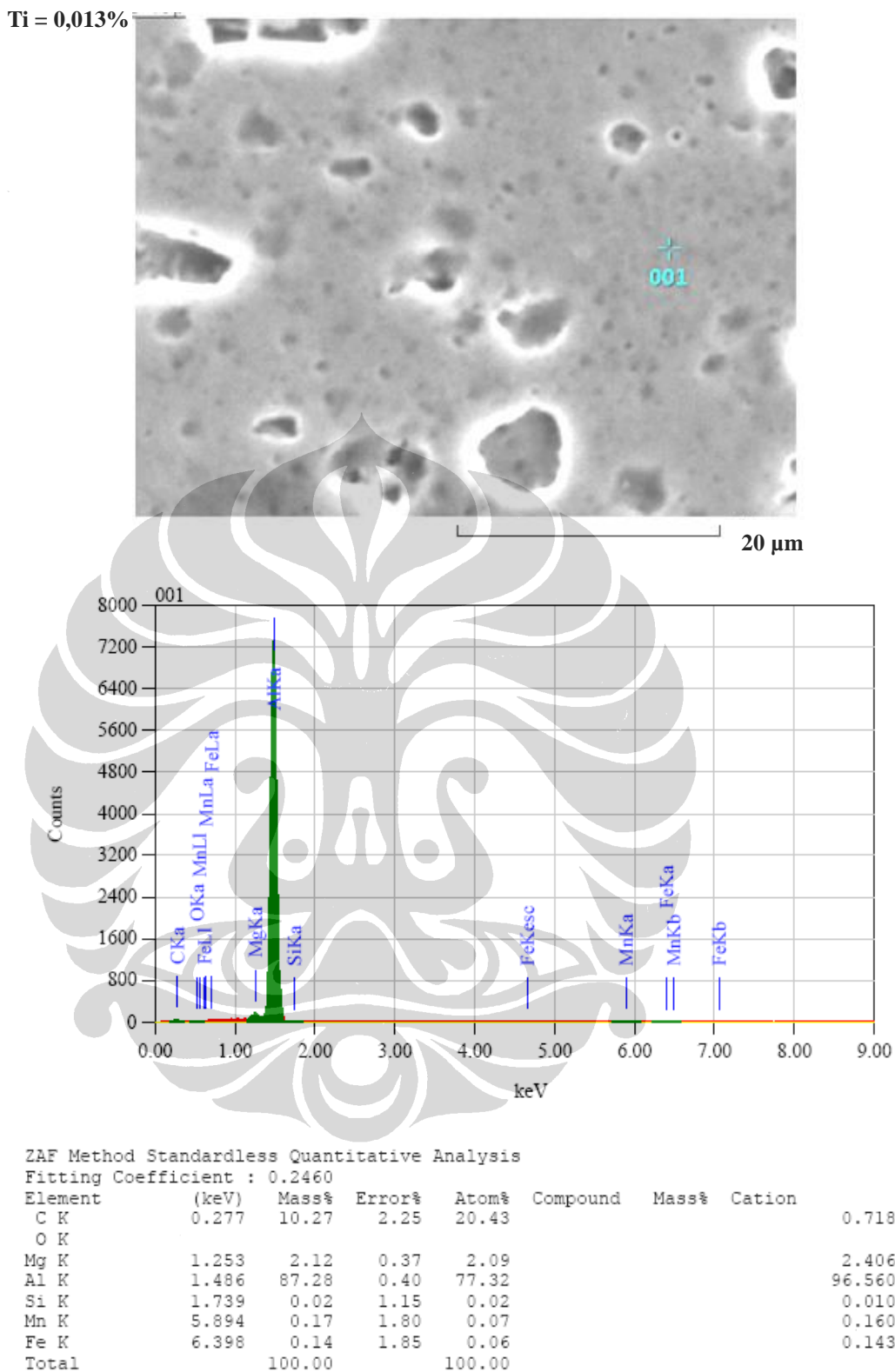


ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

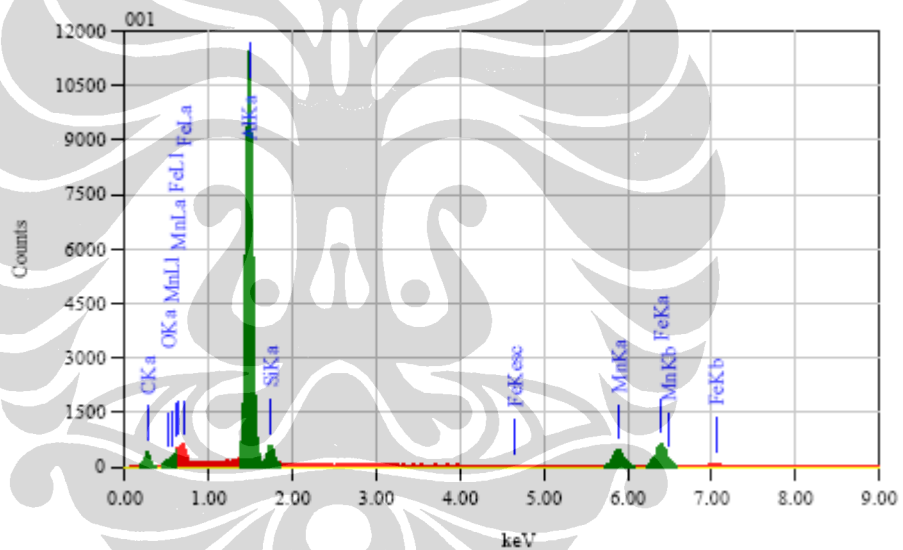
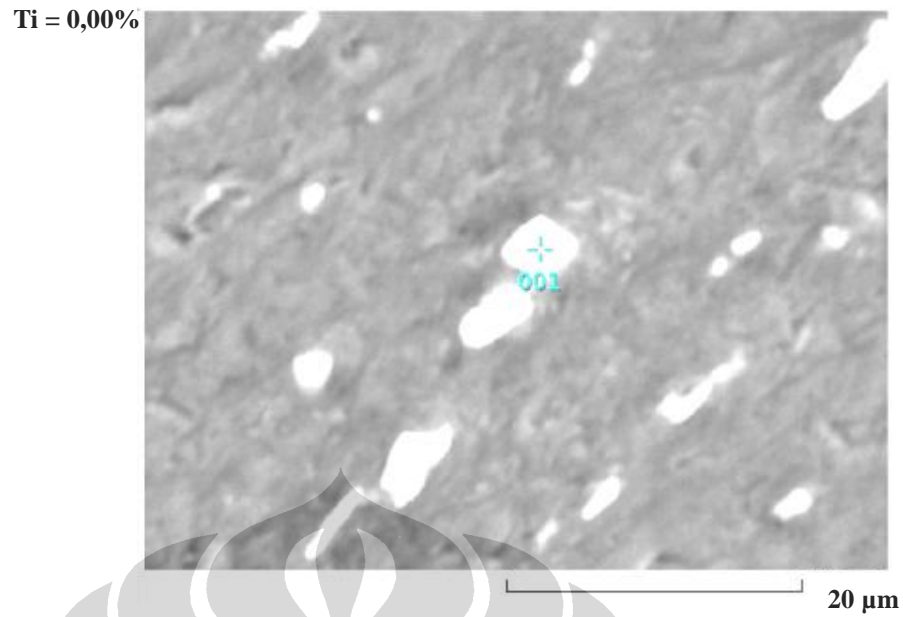
Fitting Coefficient : 0.2374

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%

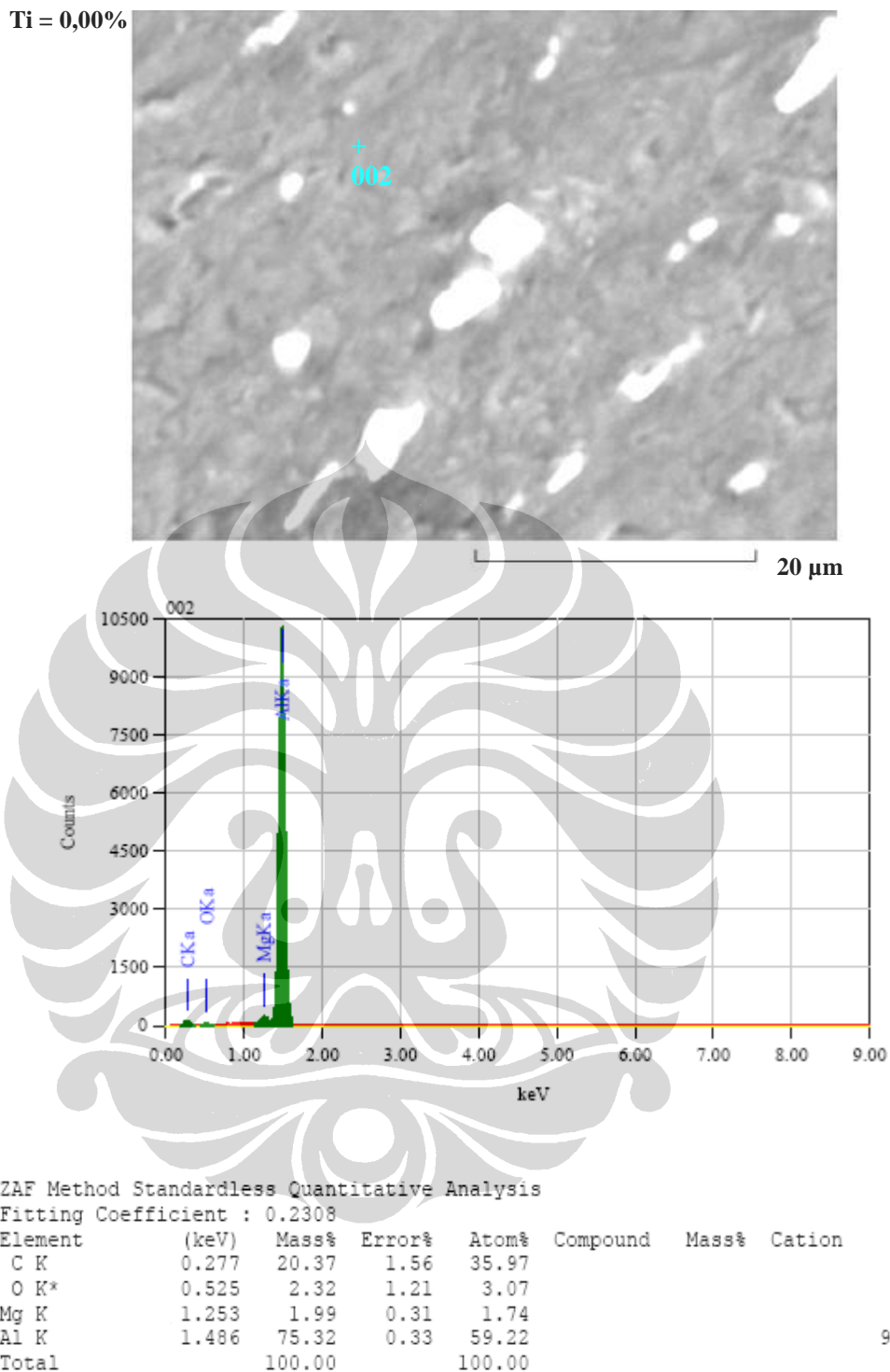


ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

Fitting Coefficient : 0.2463

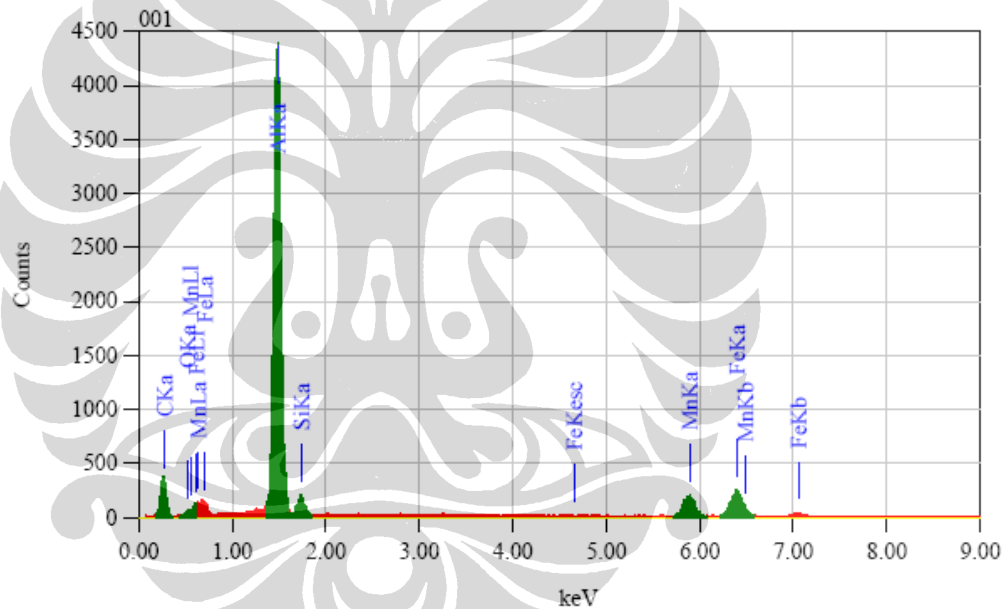
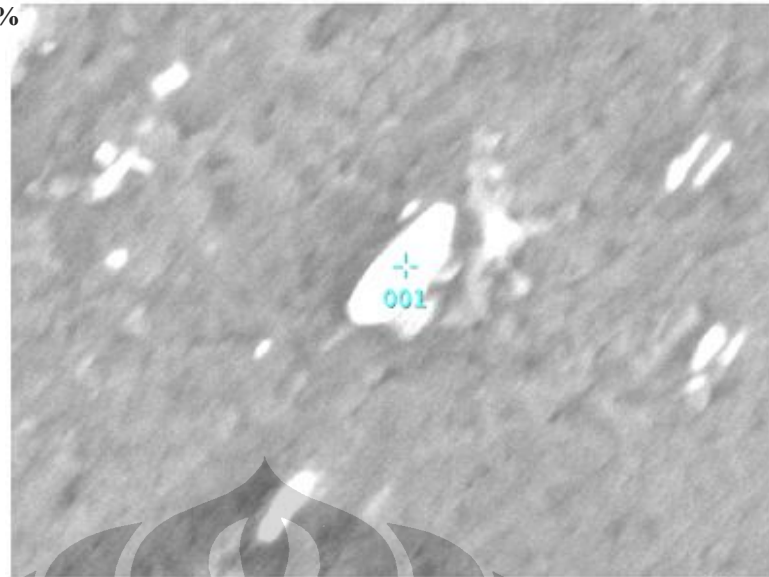
Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
C K*	0.277	24.29	0.68	45.32				3.9228
O K*	0.525	1.53	0.68	2.14				1.4423
Al K*	1.486	49.29	0.25	40.94				60.5270
Si K*	1.739	3.91	0.44	3.12				3.1895
Mn K*	5.894	8.30	0.83	3.38				12.0648
Fe K*	6.398	12.69	0.86	5.09				18.8535
Total		100.00		100.00				

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%

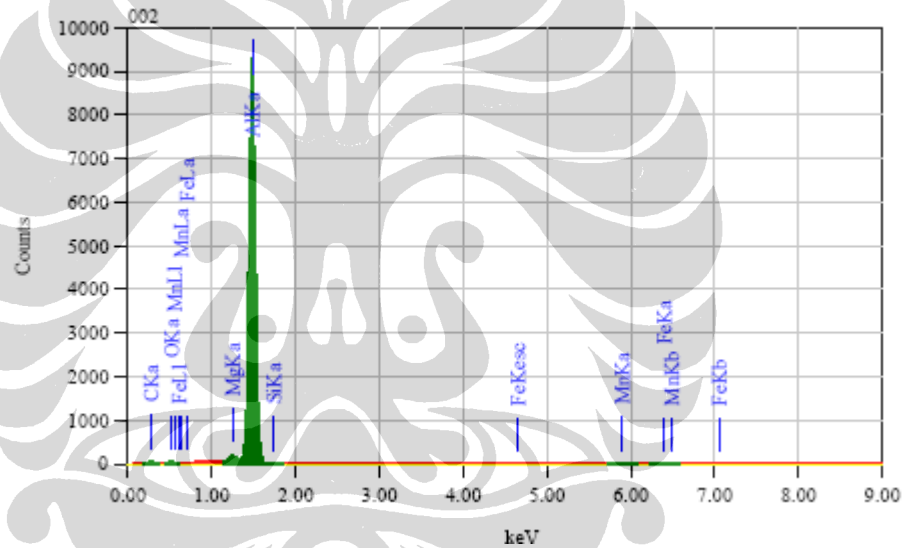
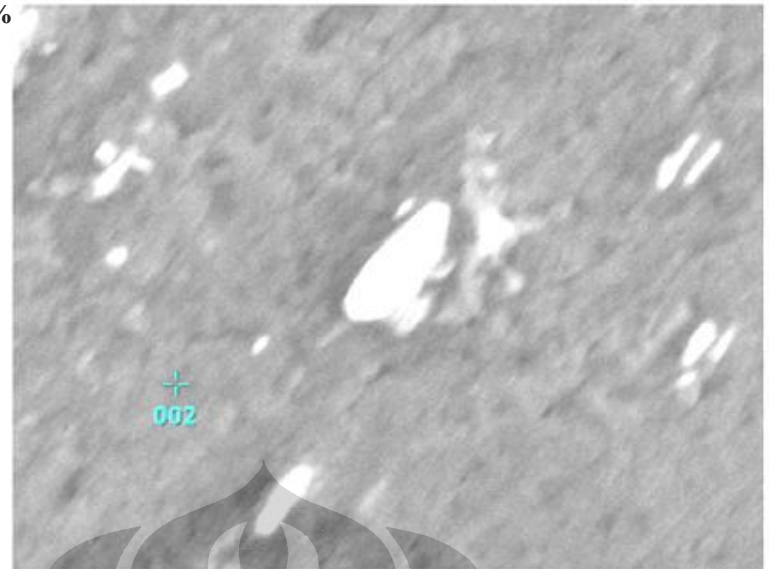


ZAF Method Standardless Quantitative Analysis
Fitting Coefficient : 0.2561

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%

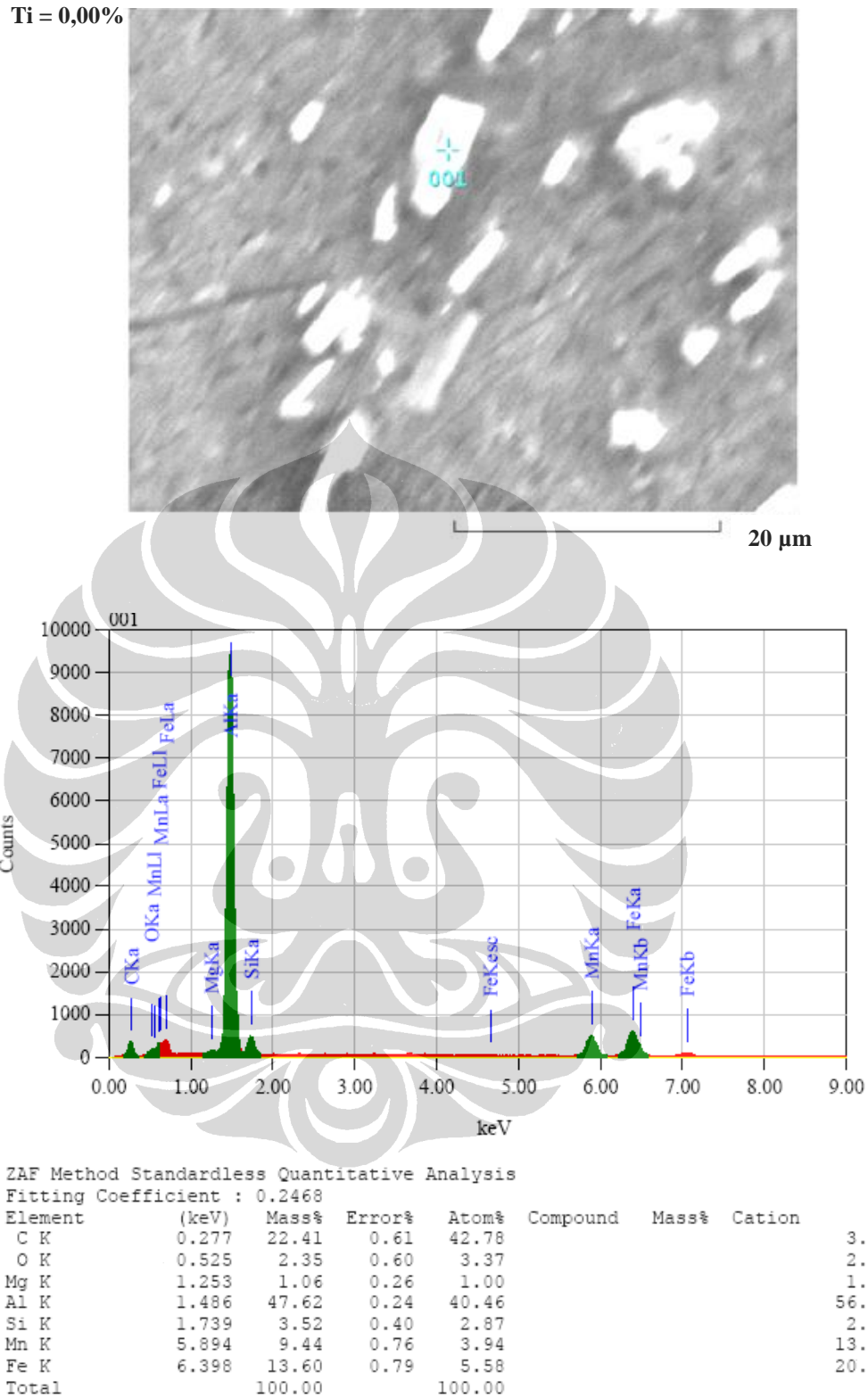


ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

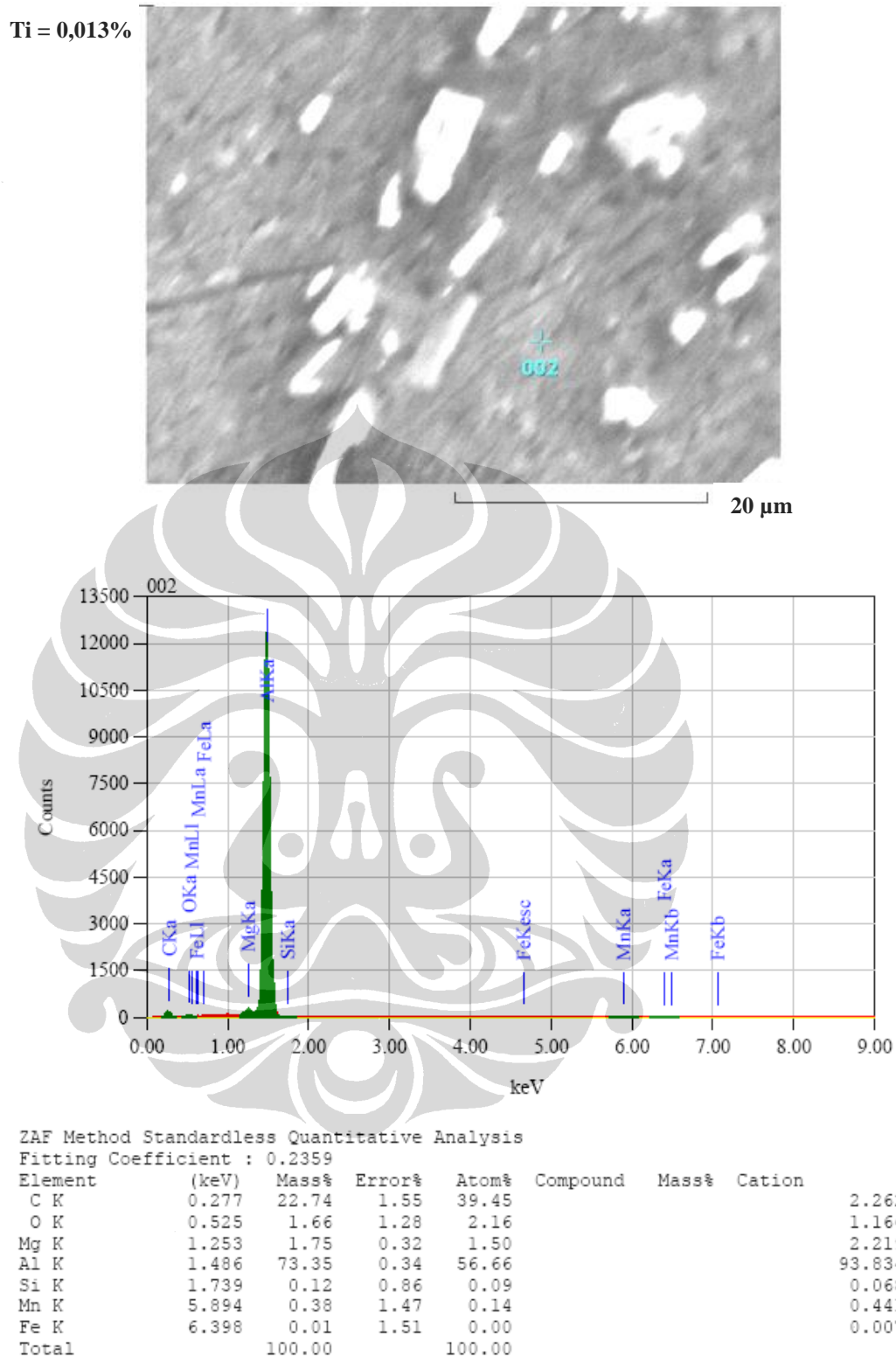
Fitting Coefficient : 0.2390

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%



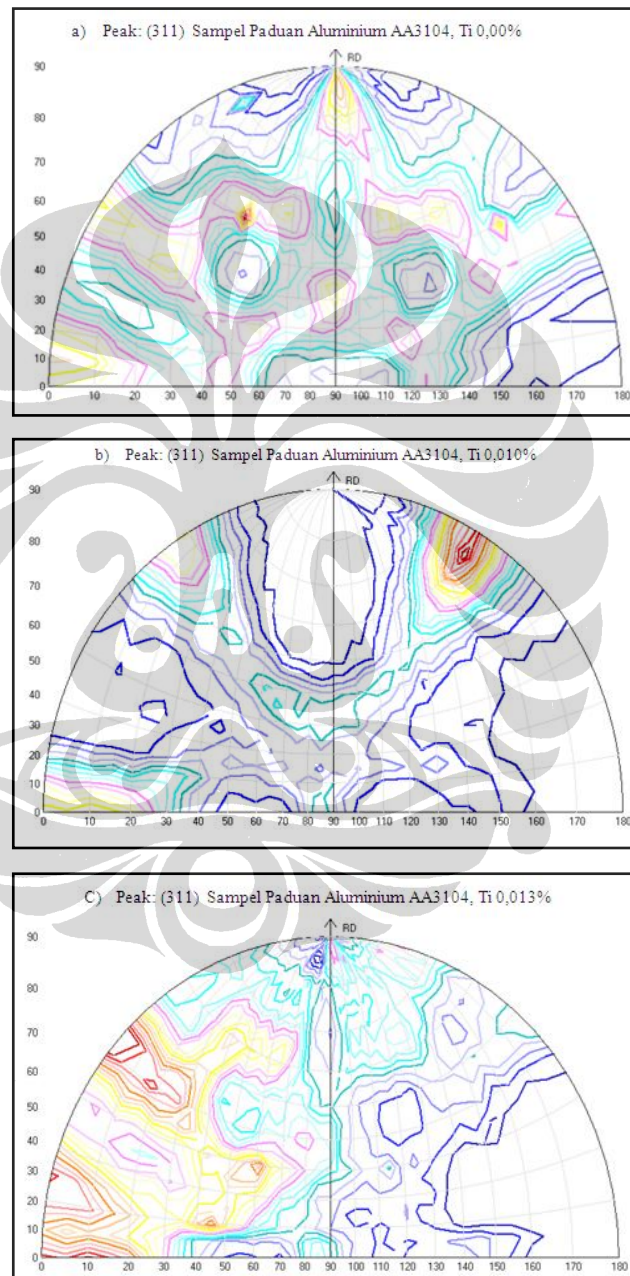
Gambar 4.19 Hasil Analisis EDX Pada Permukaan Samping Area Presipitasi Paduan Aluminium AA3104 Komposisi Titanium 0,013%



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.	(ϕ, κ)	$I/I_{maks}(\%)$
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.	(ϕ, κ)	$I/I_{maks}(\%)$
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.	(ϕ, κ)	$I/I_{maks}(\%)$
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

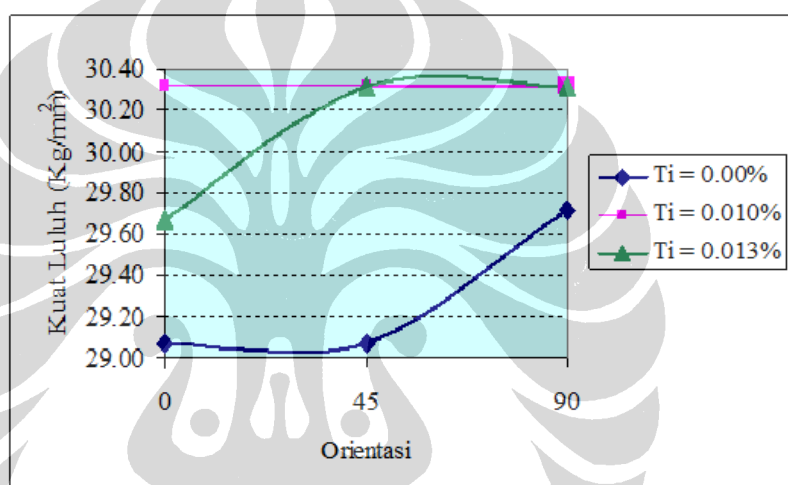
Analisis ini dilakukan untuk mengetahui sampai seberapa jauh pengaruh kandungan titanium pada paduan Aluminium AA3104 terhadap sifat mekanik material tersebut. Untuk itu maka dilakukan analisis uji tarik untuk mendapatkan nilai kekuatan tarik (*tensile strength*), kekuatan luluh (*yield strength*) dan perpanjangan atau regangan (*elongation*) pada 3 macam orientasi yaitu 0° , 45° dan 90° 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%

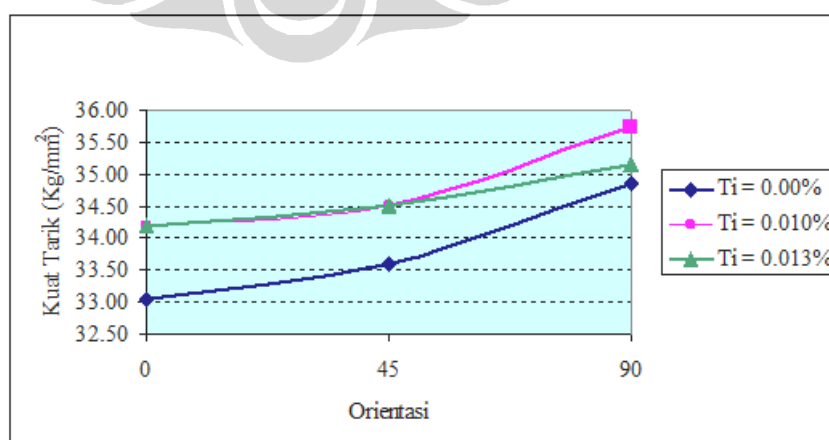
Gambar 4.22 dan 4.23 memperlihatkan pengaruh titanium terhadap kekuatan luluh dan kekuatan tarik dari paduan Aluminium AA3104. Kekuatan luluh paduan aluminium dengan titanium 0,00%, 0,010%, dan 0,013% secara berurutan adalah 29,07 – 29,72 kg/mm², 30,32 kg/mm², dan 29,07 - 30,32 kg/mm². Sedangkan kekuatannya adalah 33,06 – 34,86 kg/mm², 34,19 - 35,75 kg/mm², dan 34,19 - 35,16 kg/mm².

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 Ti₃Al 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*).

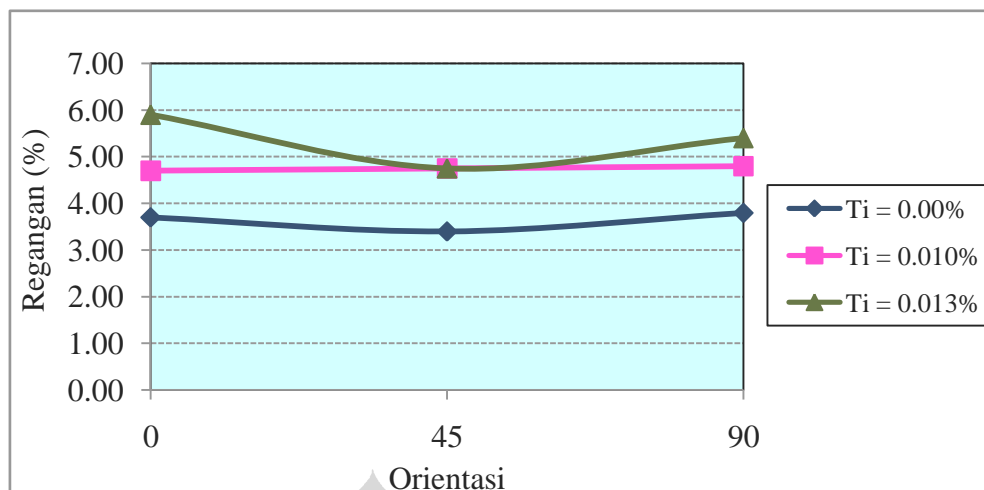
Gambar 4.24 memperlihatkan pengaruh titanium terhadap regangan paduan Aluminium AA3104 yang mengandung titanium 0,00%, 0,010%, dan 0,013%, dimana regangan secara berurutan adalah 3,45 – 3,85 %, 4,63 - 4,87 %, dan 4,73 - 5,93 %. Berdasarkan hal tersebut menunjukkan bahwa penambahan titanium menyebabkan 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



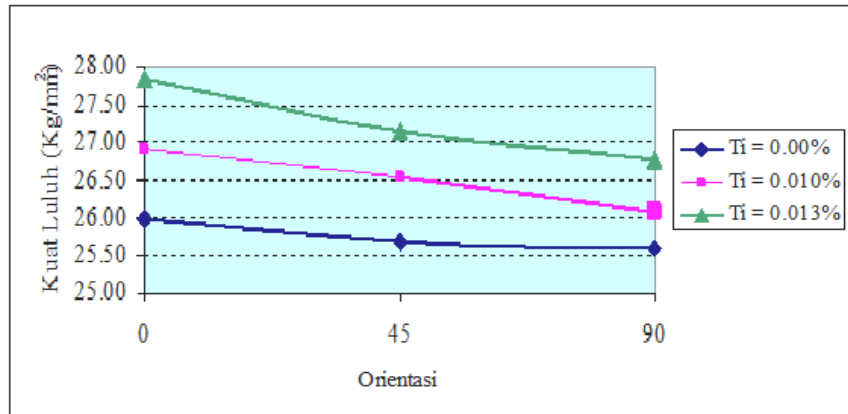
Gambar 4.23 Grafik Kekuatan Tarik Paduan Aluminium AA3104 Pada Orientasi 0°, 45° dan 90° Sebelum Pemanasan



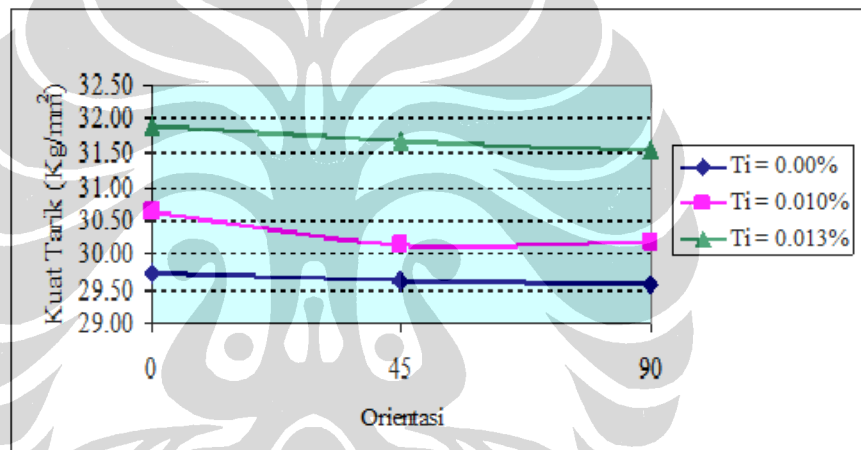
Gambar 4.24 Grafik Regangan Paduan Aluminium AA3104 Pada Orientasi 0°, 45° dan 90°

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.

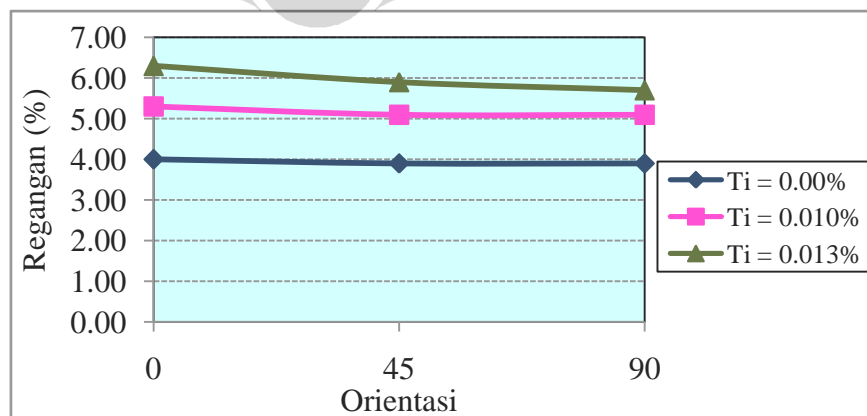
Gambar 4.25, 4.26 dan 4.27 memperlihatkan pengaruh pemanasan terhadap kekuatan luluh, kekuatan tarik dan regangan paduan aluminium AA3104 yang mengandung titanium 0,00%, 0,010% dan 0,013%. Kekuatan luluh dan kekuatan tarik menurun setelah dilakukann pemanasan. Fenomena penurunan kekuatan tarik ini disebabkan 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



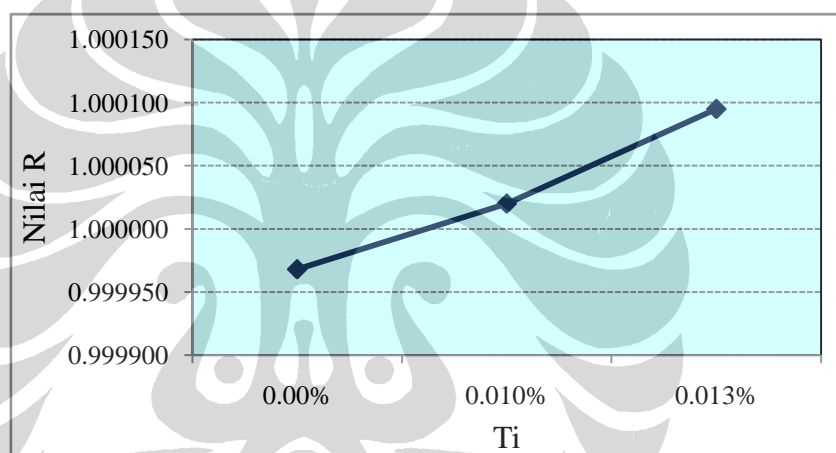
Gambar 4.26 Grafik Kekuatan Tarik Paduan Aluminium AA3104 Pada Orientasi 0°, 45° dan 90° Setelah Pemanasan 210°C Selama 10 Menit



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 $139,57/86,28 = 1,62$.

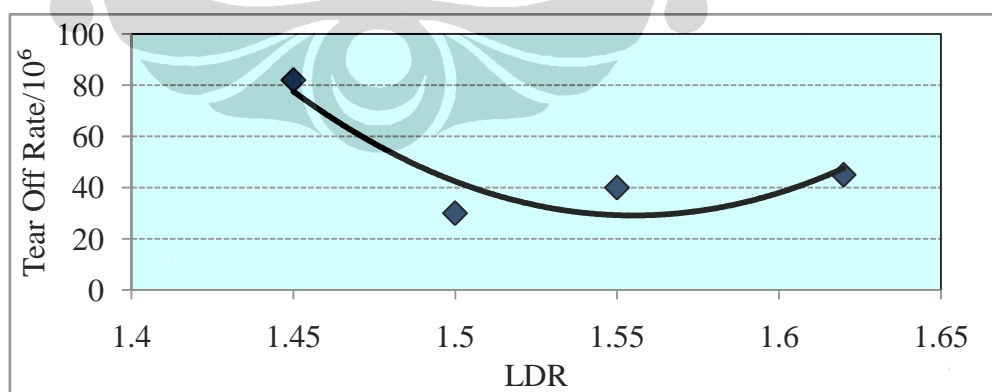
LDR untuk punch diameter 90,00 mm adalah $139,57/90,00 = 1,55$.

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

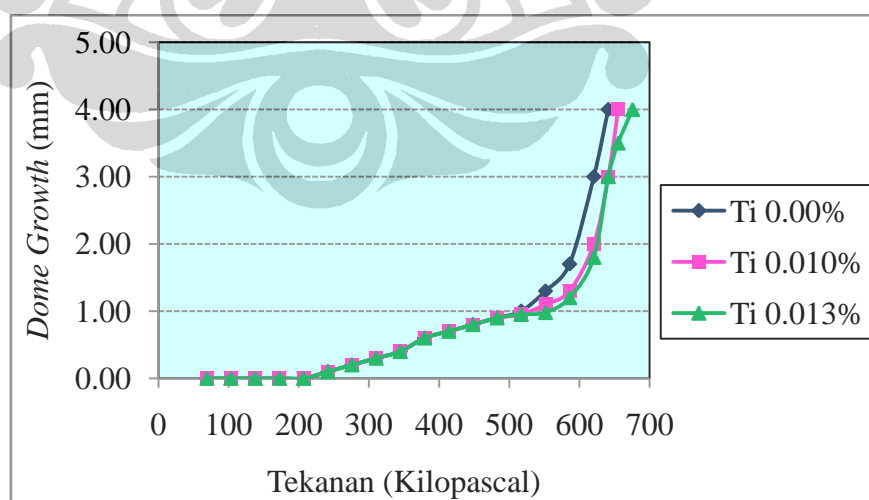
Diketahui bahwa disamping paduan Aluminium yang dipakai, bentuk bagian bawah kaleng (*dome profile*) juga mempunyai pengaruh besar terhadap kekuatan dome. Dalam hal kekuatan kaleng ada 3 parameter penting yang perlu diperhatikan, yaitu perubahan dome (*dome growth*), kekuatan dome secara keseluruhan (*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 (CO₂) 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 (CO₂) pada minuman dengan pengisian dingin maupun nitrogen cair (N₂) 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 (25⁰ 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.

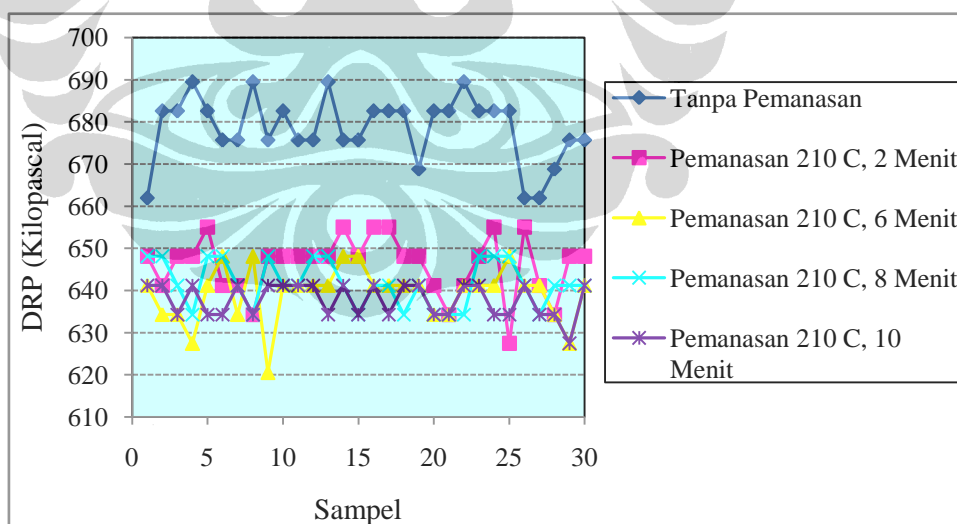
Gambar 4.33 memperlihatkan perbandingan DRP secara individual kaleng yang dibuat dari lembaran paduan Aluminium dengan kandungan Ti 0,010% sebelum dan sesudah pemanasan, dimana dapat terlihat dengan jelas bahwa setelah pemanasan DRP turun rata-rata 6 PSI (41,3 kilopascal) atau 5,88%, adapun jumlah pemanasan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

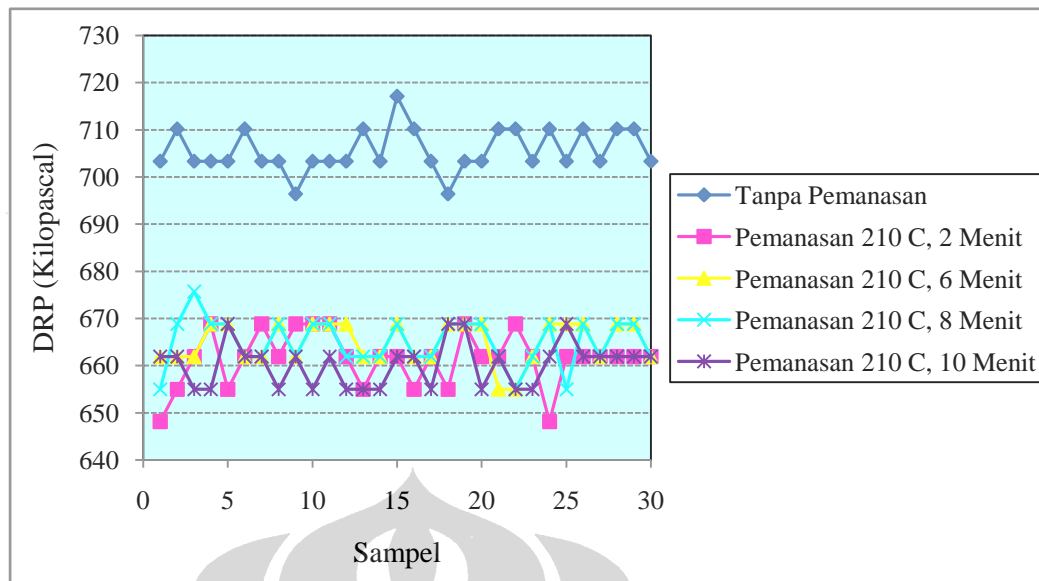
Gambar 4.35 memperlihatkan perbandingan rata-rata DRP dari lembaran paduan Aluminium dengan kandungan Ti 0,00%, Ti 0,010%, dan Ti 0,013% sebelum dan sesudah pemanasan. Dimana dapat dilihat secara jelas bahwa semakin tinggi persentase titanium pada paduan aluminium AA3104 menghasilkan DRP yang semakin 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%.

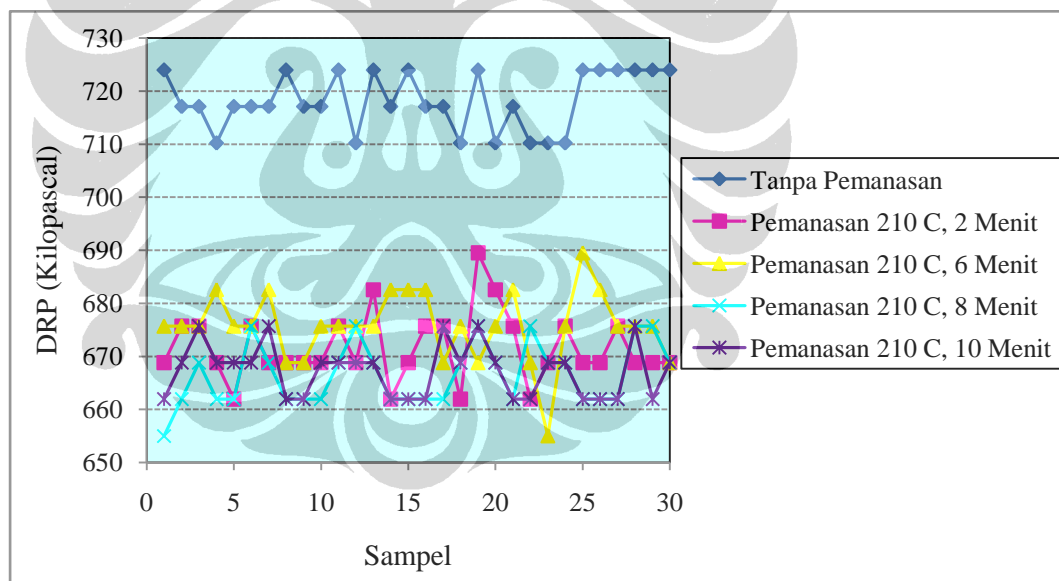
Adapun penurunan rata-rata DRP setelah pemanasan dari ketiga sampel relatif sama, yaitu aluminium dengan kandungan Ti 0,00% turun 6 PSI (6,12%), aluminium dengan kandungan Ti 0,010% turun 6 PSI (5,88%). Aluminium dengan kandungan Ti 0,013% turun 7 PSI (6,7%). Analisis dari data tersebut diatas dapat 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.



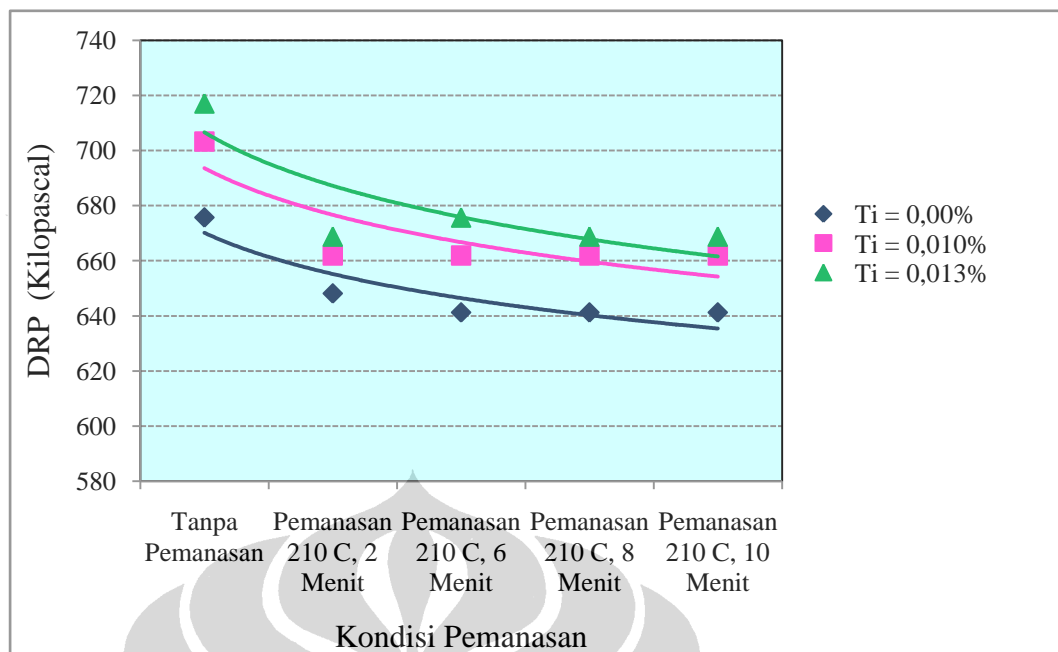
Gambar 4.32 Grafik Individual DRP Kaleng Yang Dibuat Dari Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti 0,00% Sebelum dan Sesudah Pemanasan



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



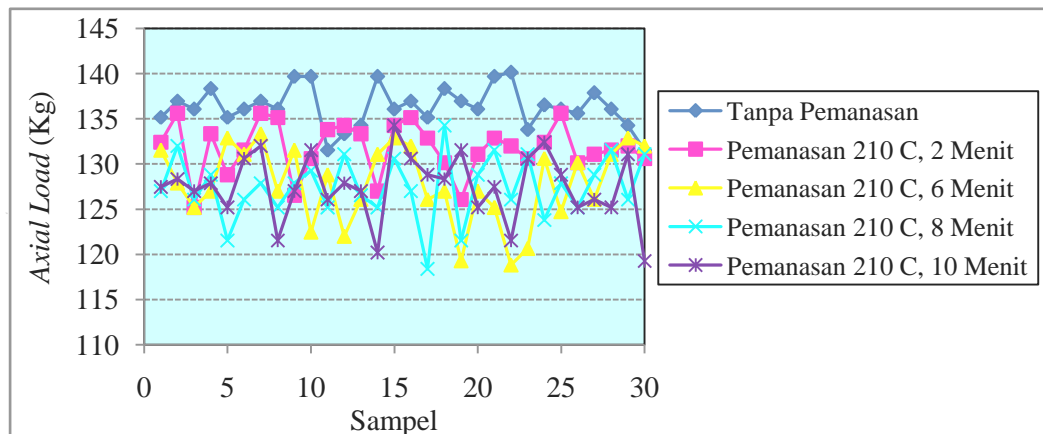
Gambar 4.35 Grafik Rata-Rata DRP Kaleng Yang Dibuat Dari Paduan Aluminium AA3104 Dengan Kandungan Ti 0,00 %, Ti 0,010% dan Ti 0,013%

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

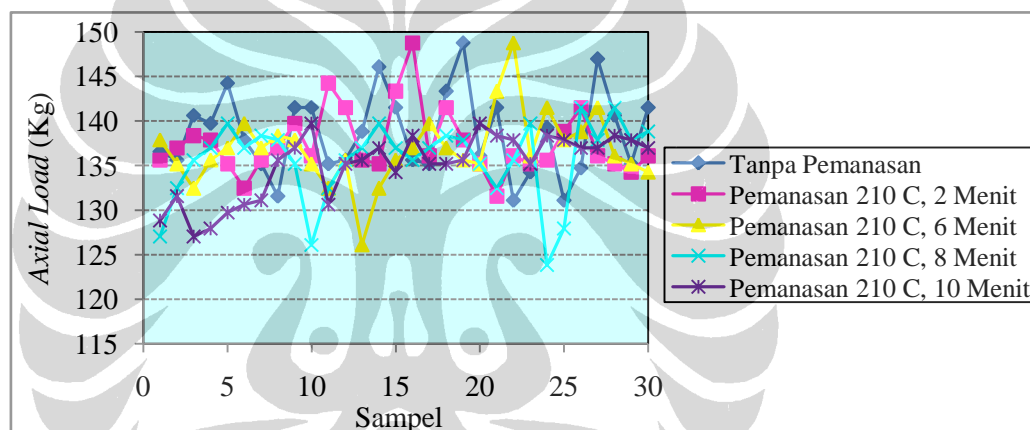
Seperti halnya kekuatan menahan tekanan dari dalam, kekuatan menahan gaya vertikal (*axial load*) terhadap kemasan kaleng juga perlu dianalisis pada setiap penggantian material agar tidak terjadi kegagalan pada proses pengisian di pabrik pelanggan. Gaya vertikal ini adalah sesuai dengan proses penutupan 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.

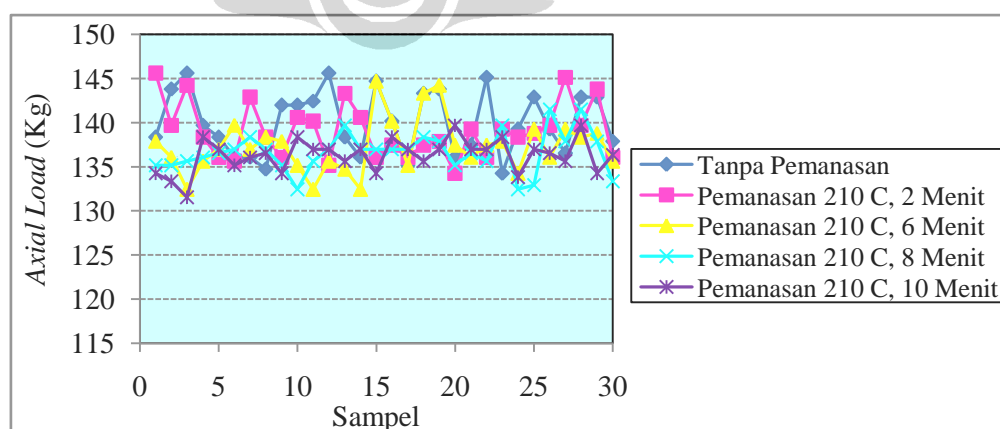
Gambar 4.36 memperlihatkan perbandingan *Axial Load* secara individual kaleng yang dibuat dari Aluminium dengan kandungan Ti 0,00% tanpa pemanasan ulang dan sesudah pemanasan, dimana dapat terlihat dengan jelas bahwa setelah pemanasan pertama kekuatan axial load turun rata-rata 11 pound (4,95 kg) atau 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.



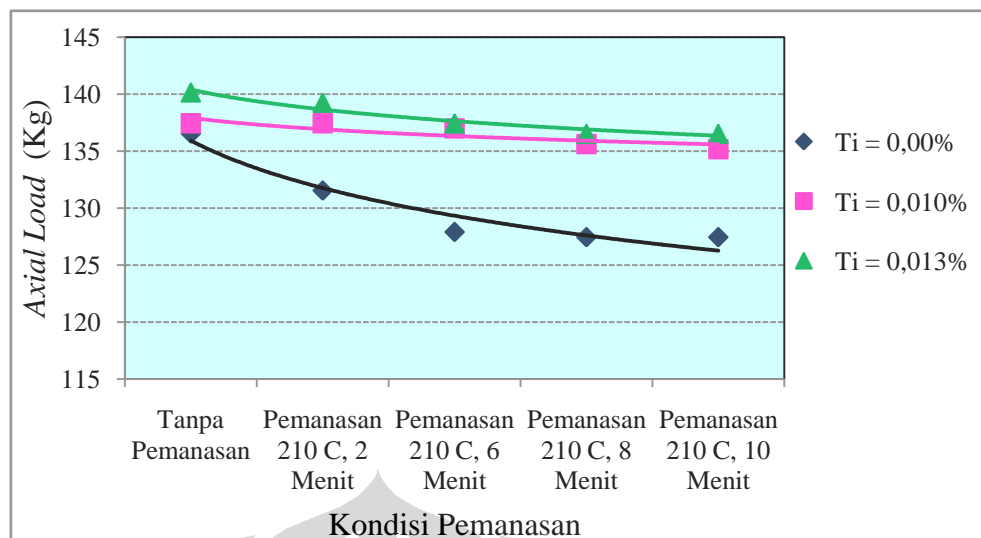
Gambar 4.36 Grafik Individual *Axial Load* Kaleng Yang Dibuat Dari Paduan Aluminium Dengan Kandungan Ti 0,00 % Sebelum dan Sesudah Pemanasan



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

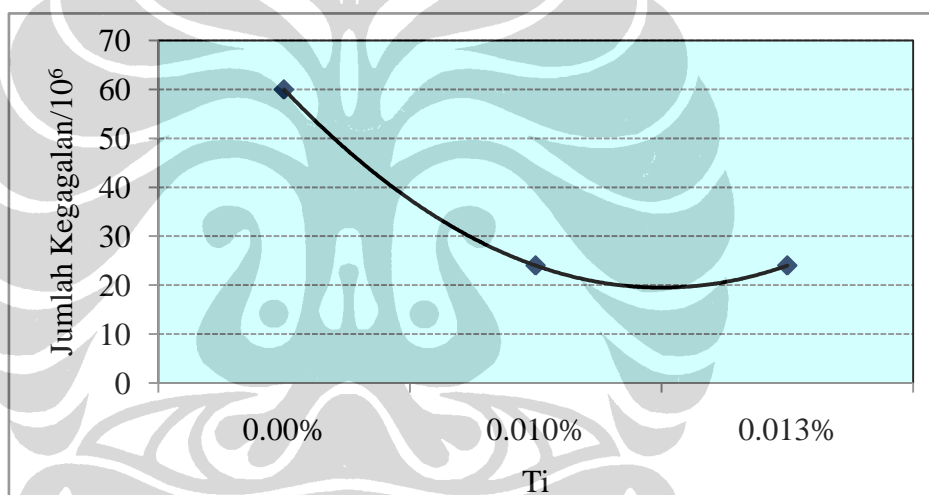
Dengan proses *drawn wall ironing* (DWI), pembentukan kaleng berlangsung melalui perubahan bentuk dan penipisan pada sekeliling dindingnya. Penipisan dilakukan dari ketebalan awal 0,270 mm menjadi 0,100 mm (63%), dengan penipisan sebesar itu perlu material dan dukungan *tooling* yang prima agar proses 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*

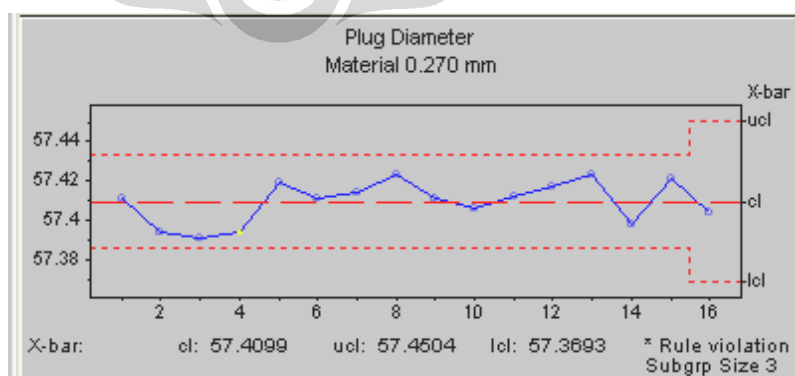
Lampiran 16, memperlihatkan data hasil pengukuran *neck plug diameter* dari 16 *head* mesin *spin necker flanger* yang selanjutnya diolah menggunakan software *NWA Quality Analyst 5.1*.

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).

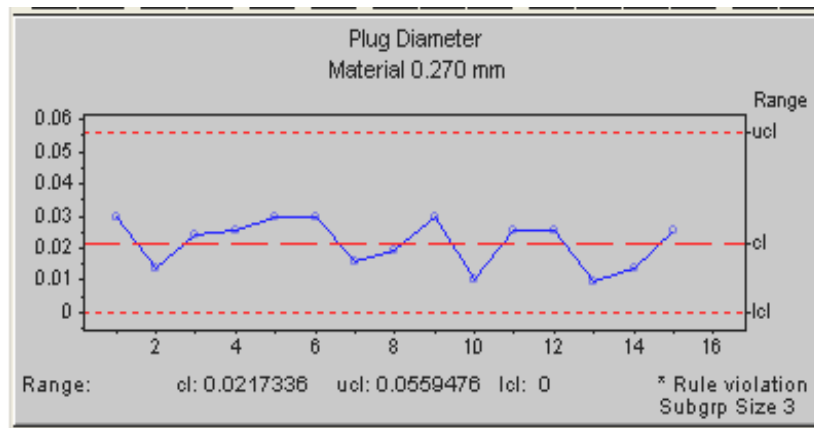
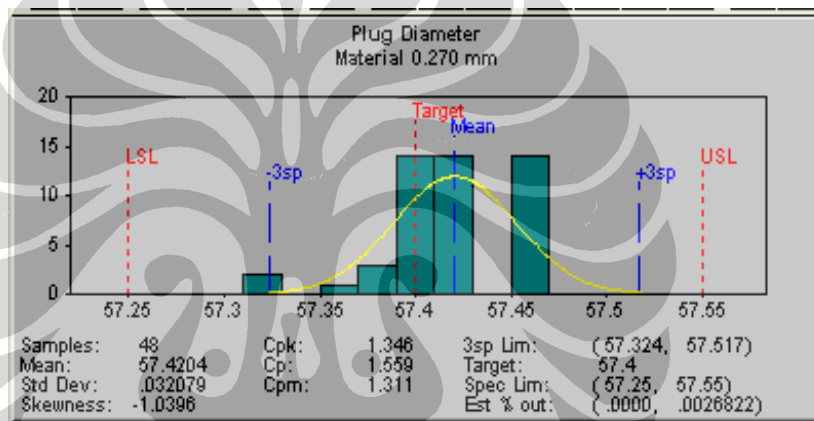
Gambar 4.42 memperlihatkan grafik range (R) hasil pengolahan data pengukuran *neck plug diameter*, dimana semua nilai berada diantara garis UCL dan LCL, dan tidak ada kecenderungan keatas maupun kebawah. Kondisi seperti ini berarti proses pembentukan *neck plug diameter* ditinjau dari grafik nilai rata-rata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

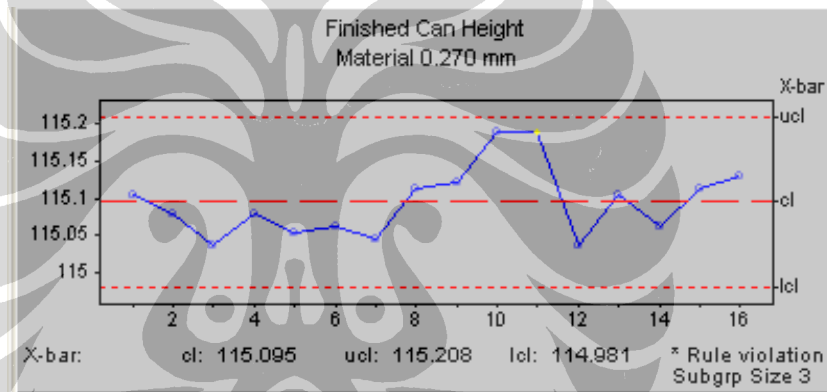
Lampiran 17, memperlihatkan data hasil pengukuran ketinggian kaleng (*can height*) dari 16 *head* mesin *spin necker flanger* yang selanjutnya diolah menggunakan software NWA *Quality Analyst* 5.1.

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).

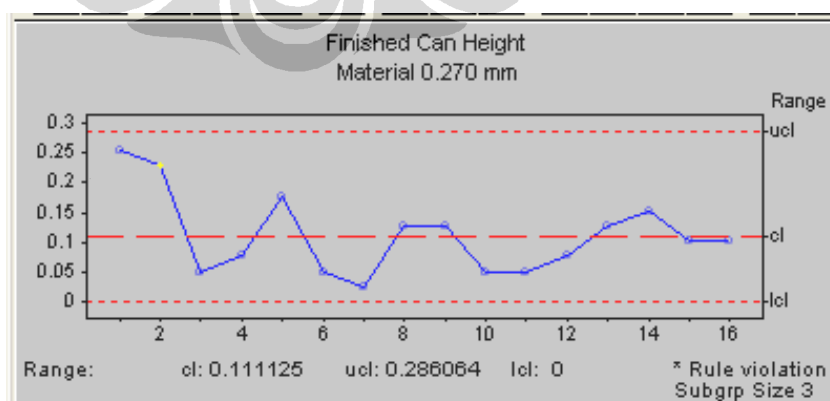
Gambar 4.45 memperlihatkan grafik Range (R) hasil pengolahan data pengukuran *finished can height*, dimana semua nilai berada diantara garis UCL

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).

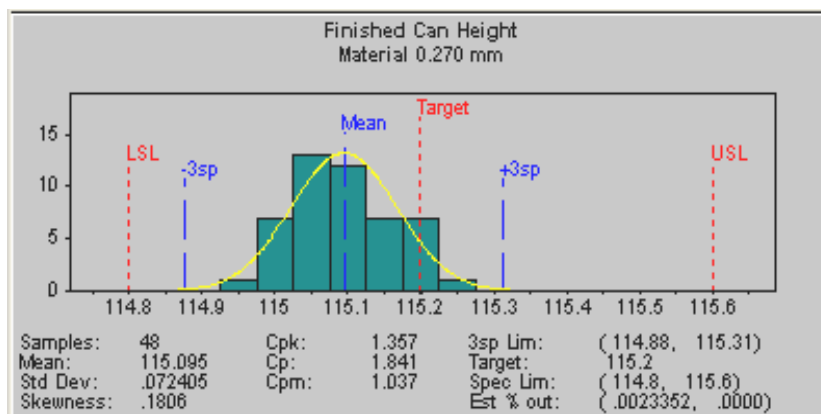
Gambar 4.46 memperlihatkan histogram hasil pengolahan data pengukuran tinggi kaleng, dimana penebaran datanya tidak mengikuti distribusi secara normal dan cenderung berada dibawah garis target akan tetapi mempunyai indeks $C_{pk} = 1,357$ (diatas 1,33) yang berarti proses pembentukan tinggi kaleng (*can 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*

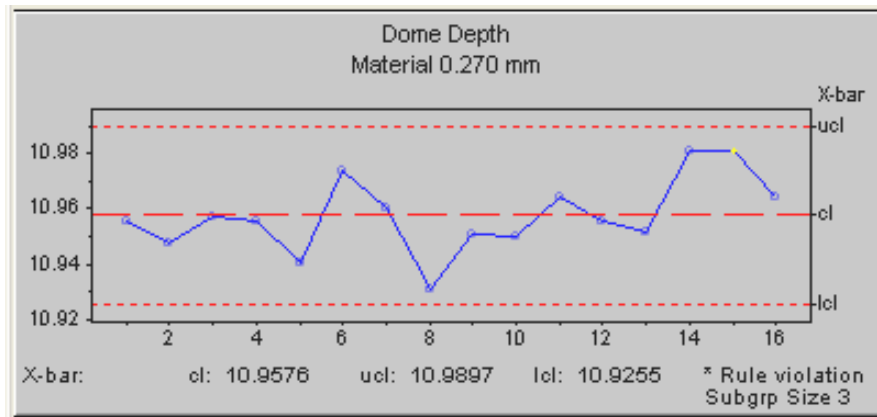
Lampiran 18 memperlihatkan data hasil pengukuran kedalaman *dome* (*dome depth*) yang selanjutnya diolah menggunakan software NWA *Quality Analyst 5.1*.

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).

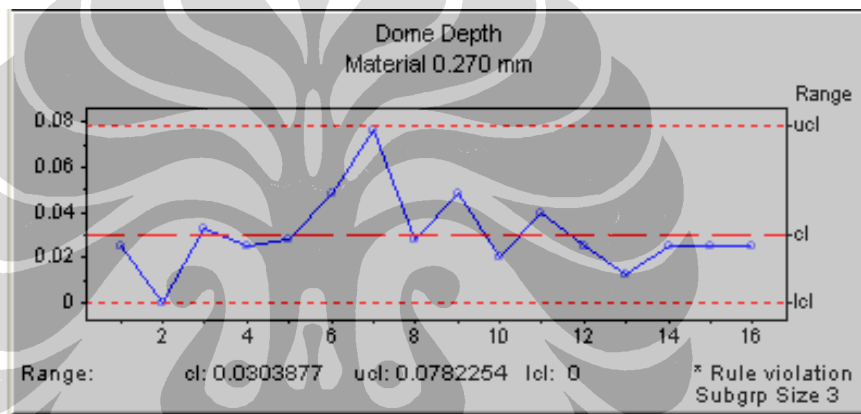
Gambar 4.48 memperlihatkan grafik Range (R) hasil pengolahan data pengukuran kedalaman *dome*, dimana semua nilai berada diantara garis UCL dan LCL, dan tidak ada kecenderungan keatas maupun kebawah. Kondisi seperti ini berarti proses pembentukan kedalaman *dome* ditinjau dari grafik nilai R dianggap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

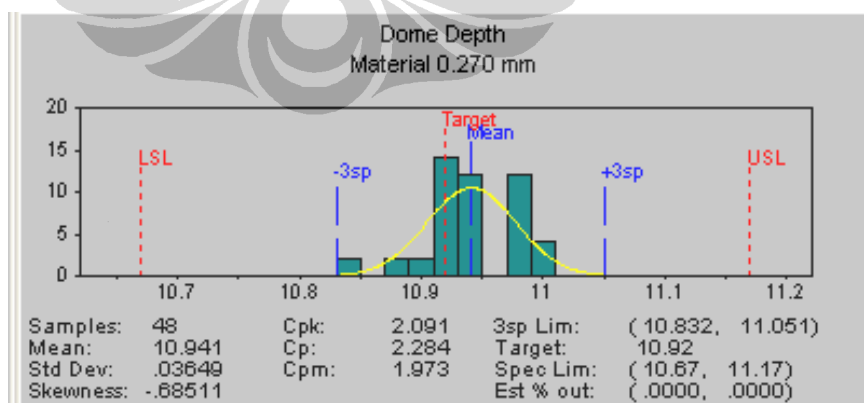
Berdasarkan analisis kestabilan dan kemampuan proses pembentukan kedalaman *dome* kemasan kaleng ukuran 330 ml. menggunakan paduan aluminium AA3104 dengan titanium 0,013% dianggap stabil dan mampu.



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*

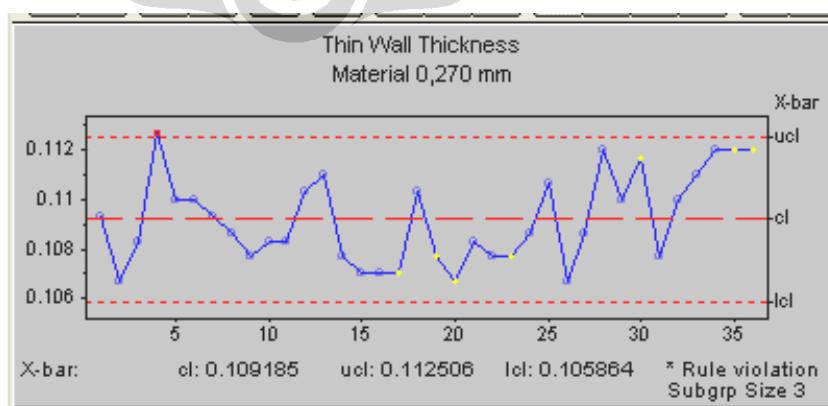
Lampiran 19 memperlihatkan data hasil pengukuran ketebalan bagian tengah badan kaleng (*thin wall thickness*) yang selanjutnya diolah menggunakan software NWA *Quality Analyst* 5.1.

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).

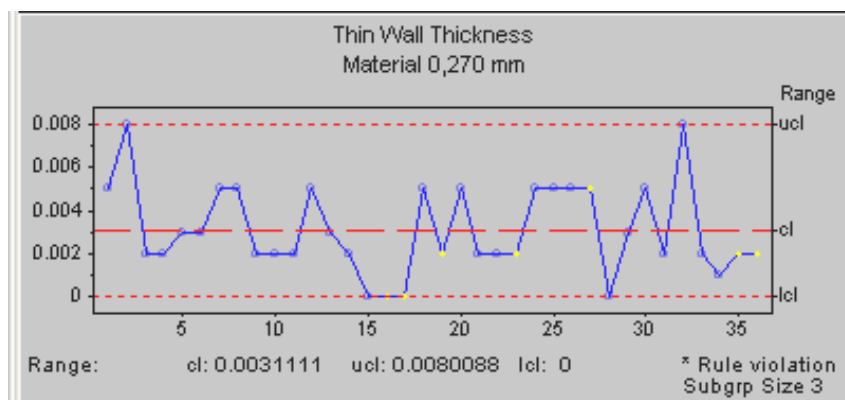
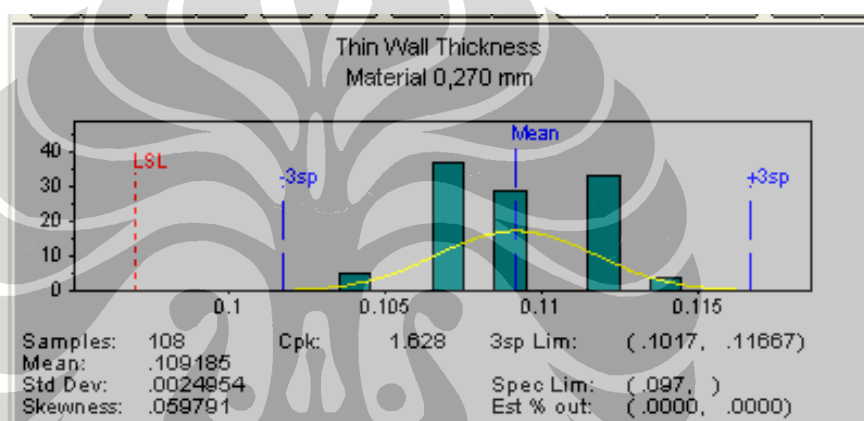
Gambar 4.51 memperlihatkan grafik Range (R) hasil pengolahan data pengukuran *thin wall thickness*, dimana semua nilai berada diantara garis UCL dan LCL, dan tidak ada kecenderungan keatas maupun kebawah. Kondisi seperti ini berarti proses pembentukan *thin wall thickness* ditinjau dari grafik nilai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

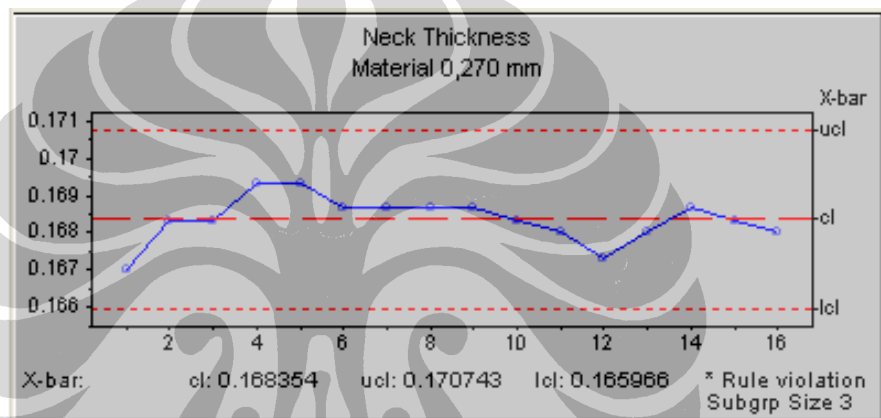
4.10.5 Hasil Analisis *Top Wall Thickness*

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

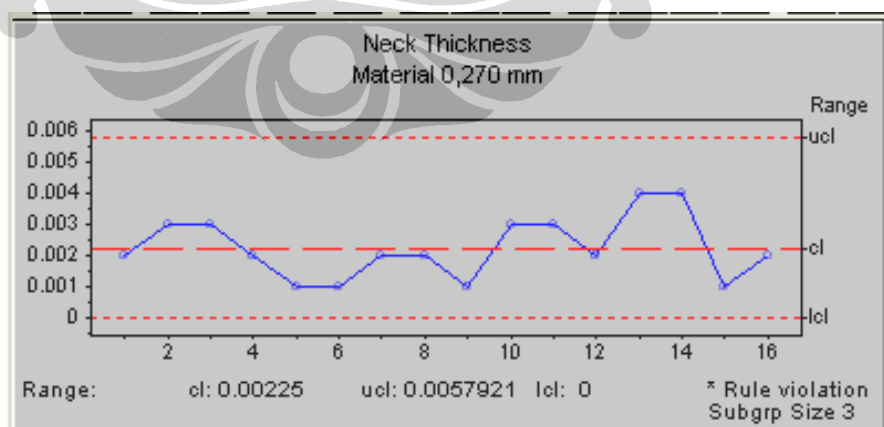
Gambar 4.53 memperlihatkan grafik X-bar hasil pengolahan data pengukuran *top wall thickness*, dimana semua nilai berada diantara garis UCL dan LCL, dan tidak ada kecenderungan keatas maupun kebawah. Kondisi seperti ini berarti proses pembentukan *thin wall thickness* ditinjau dari grafik nilai rata-rata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

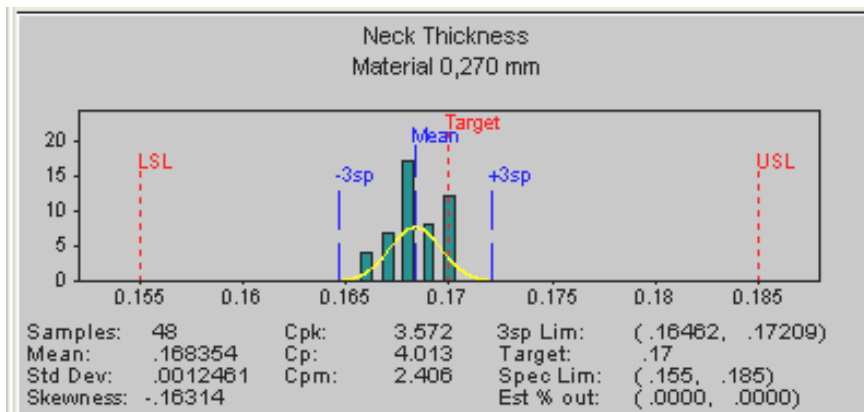
berarti proses pembentukan *top wall thickness* ditinjau dari grafik nilai R dianggap stabil (Gasversz, 1998). Gambar 4.55 memperlihatkan histogram hasil pengolahan data pengukuran *top wall thickness*, dimana penebaran datanya walaupun tidak mengikuti distribusi secara normal akan tetapi mempunyai indeks $C_{pk} = 3,572$ (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 $Cpk = 3,572$

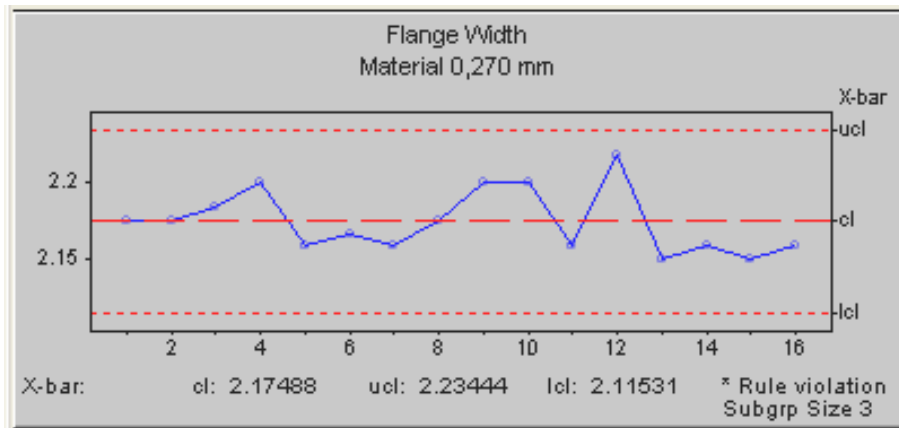
4.10.6 Hasil Analisis Lebar Bibir Kaleng (*Flange Width*)

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

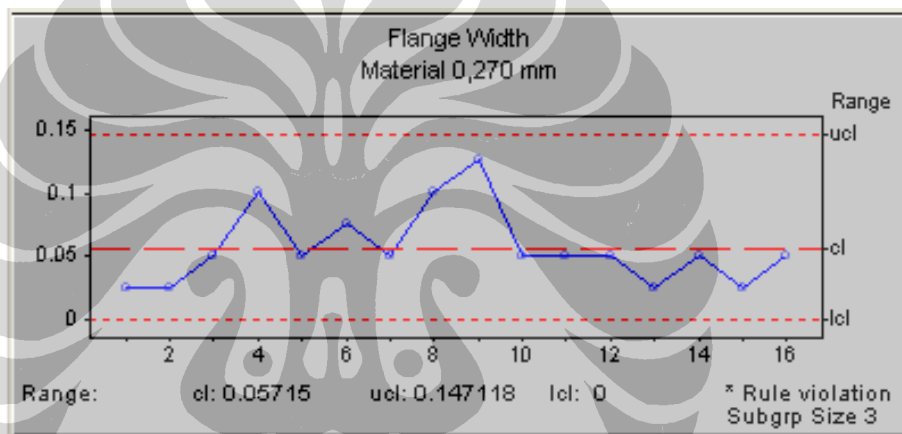
Gambar 4.56 memperlihatkan grafik *X-bar* hasil pengolahan data pengukuran *flange width*, dimana semua nilai berada diantara garis UCL dan LCL, dan tidak ada kecenderungan keatas maupun kebawah. Kondisi seperti ini berarti proses pembentukan *thin wall thickness* ditinjau dari grafik nilai rata-rata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

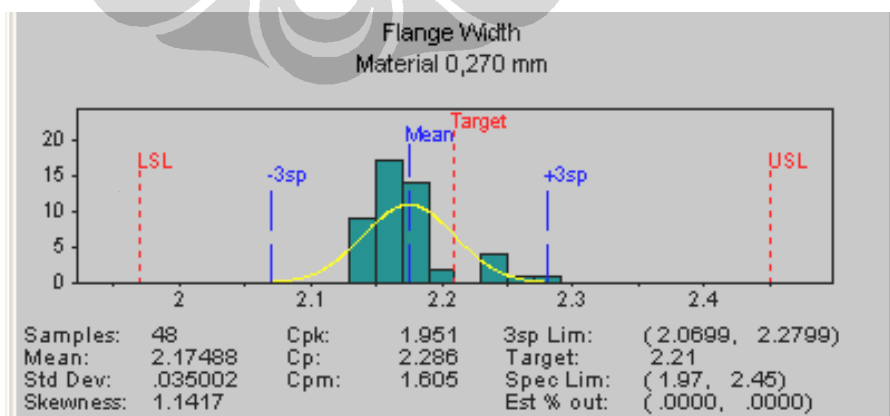
Gambar 4.58 memperlihatkan histogram hasil pengolahan data pengukuran *flange width*, dimana penebaran datanya walaupun tidak mengikuti distribusi secara normal akan tetapi mempunyai indeks $Cpk = 1,951$ (diatas 1,33) yang berarti proses pembentukan *flange width* dianggap mampu (Gasversz, 1998). Berdasarkan 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*

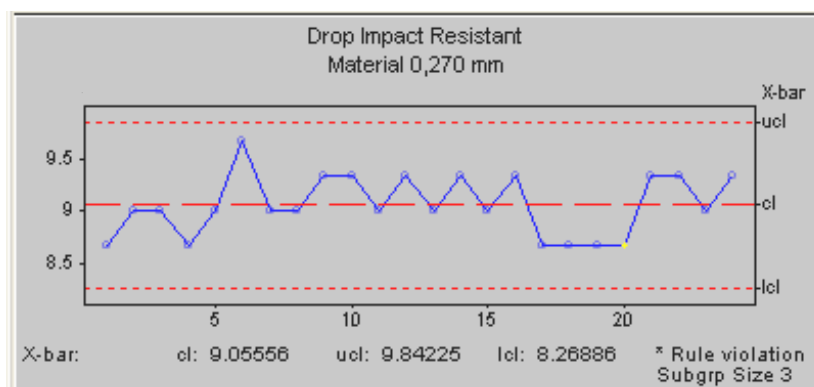
Lampiran 22 memperlihatkan data hasil pengukuran *drop impact resistance* badan kaleng yang selanjutnya diolah menggunakan software NWA *Quality Analyst* 5.1.

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).

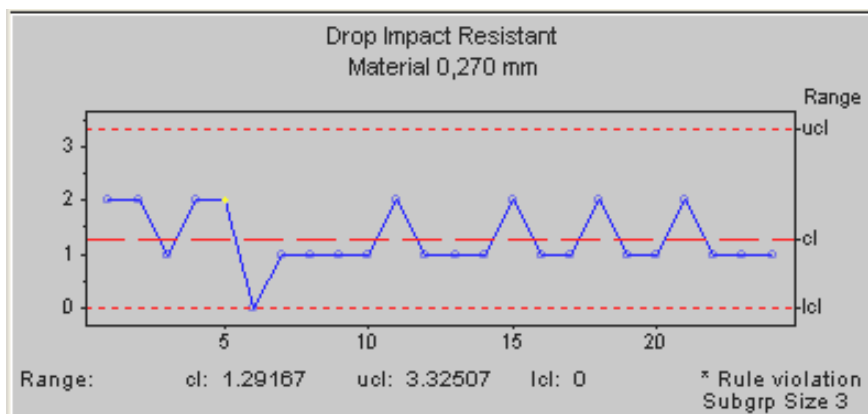
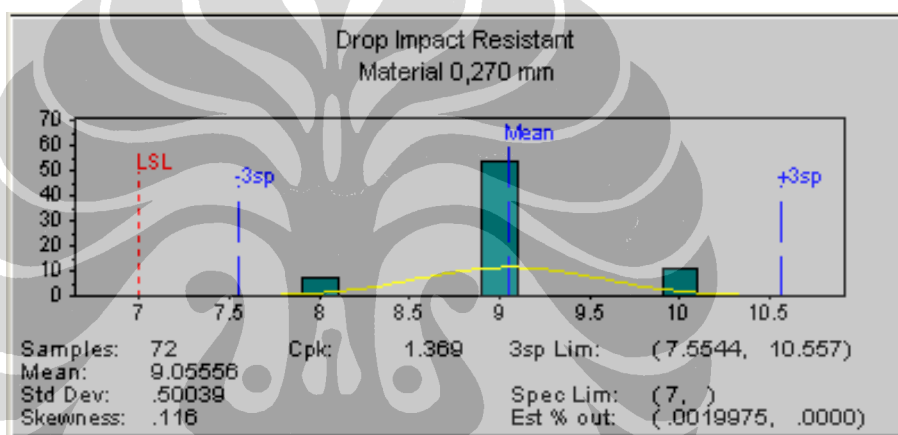
Gambar 4.60 memperlihatkan grafik Range (R) hasil pengolahan data pengukuran *drop impact resistance*, dimana semua nilai berada diantara garis UCL dan LCL, dan tidak ada kecenderungan keatas maupun kebawah. Kondisi seperti ini berarti *drop impact resistance* ditinjau dari grafik nilai R dianggap stabil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

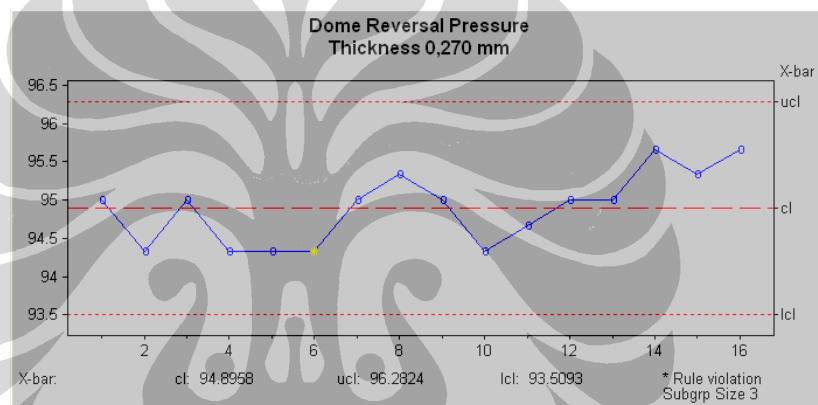
Gambar 4.60 Grafik R *Drop Impact Resistant*Gambar 4.61 Histogram *Drop Impact Resistance* Dengan Cpk = 1,369

4.10.8 Hasil Analisis *Dome Reversal Pressure* (DRP)

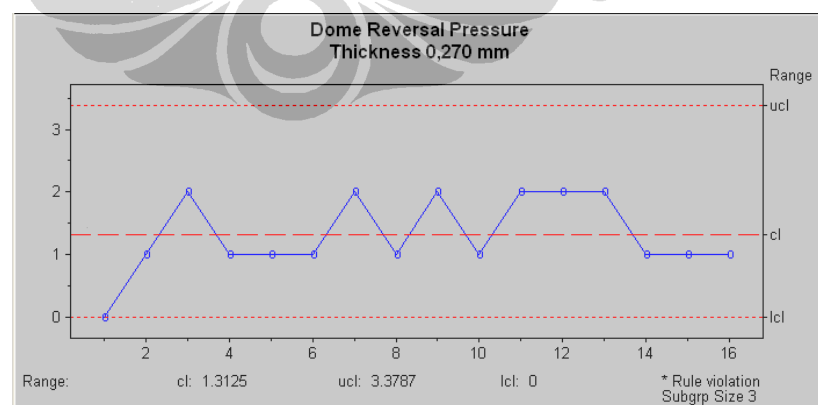
Lampiran 23 memperlihatkan data hasil pengukuran *Dome Reversal Pressure* badan kaleng yang selanjutnya diolah menggunakan software *NWA Quality Analyst 5.1*.

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

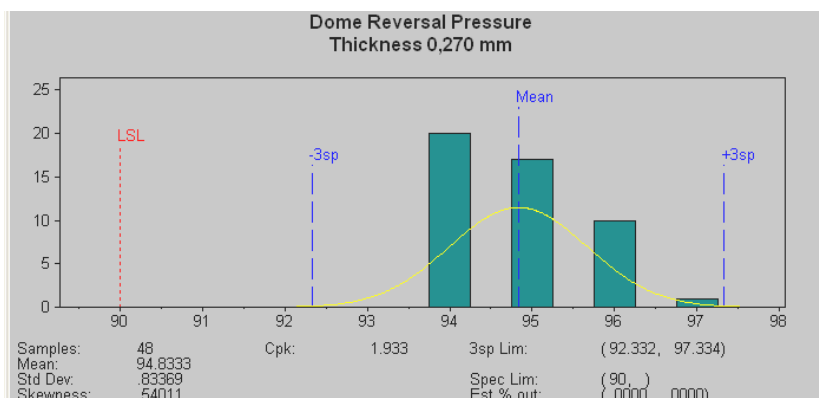
kebawah. Kondisi seperti ini berarti *dome reversal pressure* ditinjau dari grafik nilai R dianggap stabil (Gasversz, 1998). Gambar 4.64 memperlihatkan histogram hasil pengolahan data pengukuran *Dome Reversal Pressure*, dimana penebaran datanya walupun tidak mengikuti distribusi secara normal akan tetapi 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

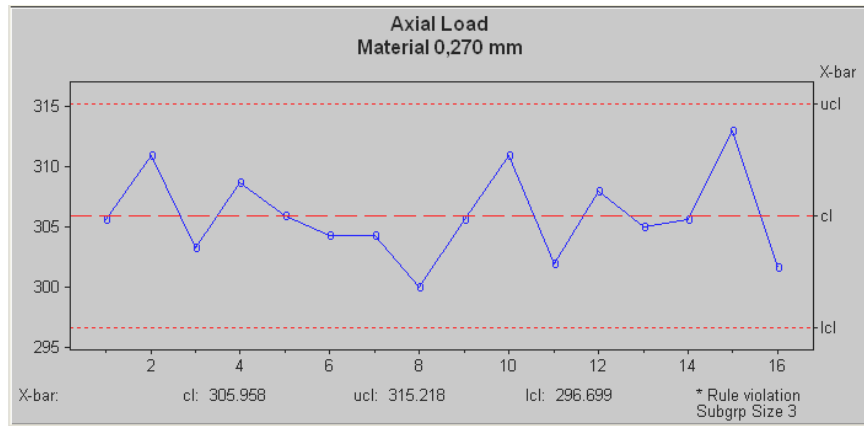
4.10.9 Hasil Analisis *Axial Load*

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

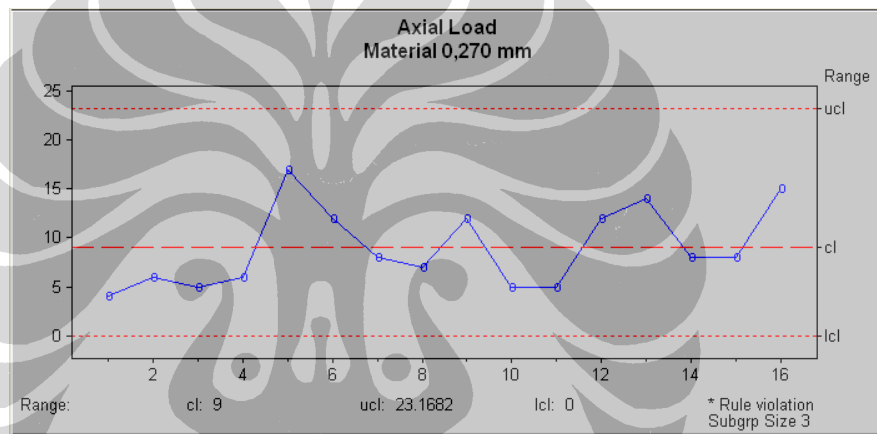
Gambar 4.65 memperlihatkan grafik X-bar hasil pengolahan data pengukuran *Axial Load*, dimana semua nilai berada diantara garis UCL dan LCL, dan tidak ada kecenderungan keatas maupun kebawah. Kondisi seperti ini berarti kekuatan *axial load* ditinjau dari grafik nilai rata-rata dianggap stabil (Gasversz,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

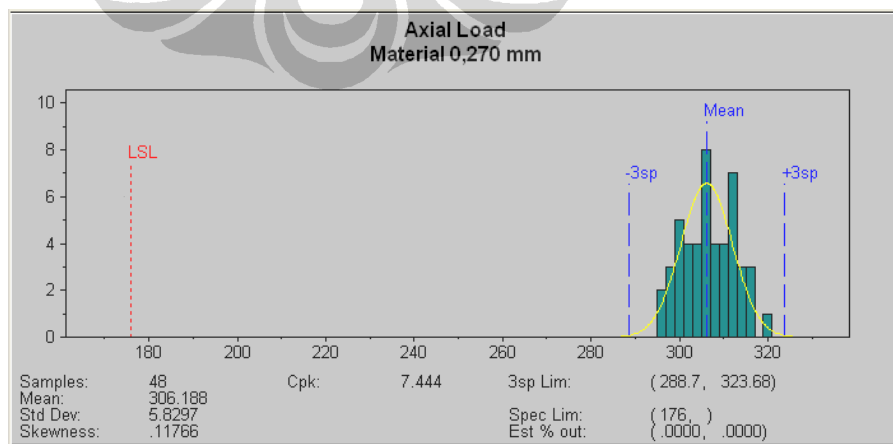
Berdasarkan analisis kestabilan dan kemampuan proses maka proses pembentukan badan kemasan kaleng ukuran 330 ml. menggunakan paduan aluminium AA3104 dengan titanium 0,013% yang dianalisis melalui parameter *axial load* dianggap stabil dan mampu.



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