

PENGARUH PROSES AGEING DAN POWDER COATING PADA ALUMINIUM PROFIL SECTION 4403

Agris Setiawan, Aurelo Wimitya

Program Studi Teknik Metalurgi, Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral,
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

Jalan Babarsari 2 Tambakbayan, Yogyakarta, DIY 55281

agrissetiawan@upnyk.ac.id , aurelowimitya@gmail.com

ABSTRAK

Proses ekstrusi merupakan proses pembentukan logam yang bertujuan untuk mereduksi atau mengecilkan penampang dengan cara menekan bahan logam melalui rongga cetakan. Penggunaan paduan aluminium AA6063 dalam bentuk profil sebagai komponen dalam bidang konstruksi bangunan. Penggunaan Profil aluminium ini semakin berkembang bersamaan dengan semakin berkembangnya keinginan untuk mengurangi berat dari komponen yang digunakan. Namun profil aluminium yang baru saja keluar dari mesin ekstrusi masih memiliki sifat mekanis yang rendah sehingga diperlukan proses lain untuk meningkatkan kekerasannya, salah satunya melalui proses perlakuan panas. Proses perlakuan panas yang dipilih adalah proses *artificial ageing* dengan suhu 185°C selama 6 jam. Selain itu profil aluminium juga melalui tahapan pengecatan dengan *powder coating*. Dalam laporan ini dijelaskan pengaruh dari proses ageing terhadap kekerasan serta pengaruh proses *powder coating* terhadap ketebalan dan berat profil aluminium section 4403. Dari hasil analisis didapatkan bahwa proses ageing dapat meningkatkan kekerasan profil, sehingga dengan kata lain sifat mekanik dari profil aluminium juga meningkat. Sedangkan proses *powder coating* menyebabkan penambahan tebal serta berat sebesar 4,6%. Proses Powder coating bisa mengalami *underweight* (berat dibawah standard) akan tetapi apabila masih dalam toleransi, profil tetap diijinkan dan lolos inspeksi.

Kata kunci : Aluminium paduan, Ageing, Ekstrusi, Powder Coating

ABSTRACT

The extrusion process is a metal forming process that aims to reduce or shrink the cross section by forcing the metal material through the mold cavity. The use of AA6063 aluminum alloy in the form of profiles as a component in building construction. The use of this aluminum profile is growing along with the growing desire to reduce the weight of the components used. However, the aluminum profile that just came out of the extrusion machine still has low properties so that other processes are needed to increase its hardness, one of which is through a heat treatment process. The heat treatment process chosen is an artificial aging process at a temperature of 185 ° C for 6 hours. In addition, aluminum profiles are also painted with powder coating. In this report, the report on the effect of the aging process on the hardness and the effect of the powder coating process on the thickness and weight of the aluminum profile section 4403. The analysis results show that the aging process can increase the hardness of the profile, so in other words the mechanics of the aluminum profile also increases. Meanwhile, the powder coating process is extra thick and heavy by 4.6%. The powder coating process can be underweight (weight under the standard) but still within tolerance, the profile is still permitted and passes inspection.

Keywords : Aluminium Alloy, Ageing, Extrusion, Powder Coating

I. Latar Belakang

Proses ekstrusi merupakan proses pembentukan logam yang bertujuan untuk mereduksi atau mengecilkan penampang dengan cara menekan bahan logam melalui rongga cetakan. Pembentukan logam metoda ini menggunakan gaya tekan yang relatif besar. Proses ini biasanya digunakan untuk membuat batang silinder, tabung berongga, pipa atau profil-profil tertentu. Ekstrusi aluminium adalah salah satu metode konvensional dalam proses pembentukan logam. Ekstrusi adalah proses modern yang mulai digunakan secara massal pada tahun 1886 (Sheppard, 1999)

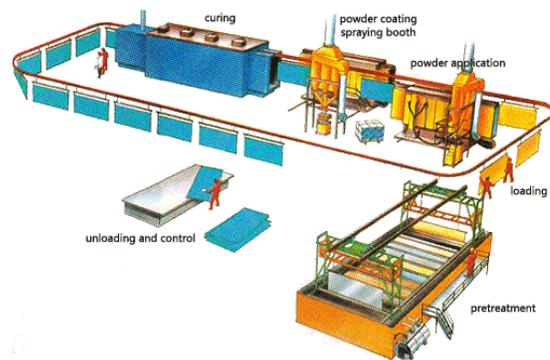
PT. Alexindo (Aluminium Extrusion Indonesia) Plant 2 Dawuan adalah perusahaan lokal yang bergerak pada industri pembuatan ekstrusi aluminium. Produk yang dihasilkan adalah profil aluminium berbagai bentuk yang digunakan sebagai komponen berbagai peralatan rumah tangga, elektronik, transportasi, bahkan proyek arsitektur. Pabrik ini didukung dengan 4 mesin ekstrusi yaitu mesin 1100T, 1880T, 2200T, dan 3500T.

Produk yang dihasilkan yaitu aluminium profil dengan berbagai jenis seperti *hollow*, *semi hollow*, dan *solid*. Salah satu yang diproduksi adalah profil aluminium section 4403 yang berjenis profil solid. Berdasarkan fungsinya, section ini digunakan untuk membuat rangka kusen. Kusen memiliki fungsi sebagai tempat perletakan daun pintu dan daun jendela. Selain itu, kusen dapat digunakan untuk menyekat dinding bangunan atau pemisah antar ruangan. Panel ini dapat digunakan untuk membuat pintu, jendela, ataupun dinding.

II. Metode Kegiatan

Metode yang dilakukan adalah analisis data kuantitatif. Bahan yang digunakan adalah aluminium profil section 4403 dari *line* ekstrusi dengan dibantu pihak QC sebanyak 2 batang dengan panjang sekitar 12-15 cm. Sebelum diberi perlakuan apapun, dilakukan hardness test, uji berat, dan uji thickness ke seluruh sampel. Setelah itu seluruh sampel di ageing selama 6 jam dengan suhu proses 185°C dan ditahap akhir, dilakukan uji hardness kembali. Untuk tahap terakhir dilakukan proses Powder Coating yang bertujuan utama untuk

menambah nilai estetika atau keindahan dari produk profil aluminium dan juga menambah ketahanan korosi dari produk profil aluminium. Sebelum proses Powder Coating, profil aluminium terlebih dahulu melalui proses chromating (pencelupan pada larutan krom) yang bertujuan agar powder coat menempel dengan sempurna pada profil aluminium. Setelah itu, profil disemprot dengan powder coating dan pada tahap akhir melalui oven curing. Oven ini berfungsi agar cat yang berupa powder atau serbuk tadi bisa merekat dengan sempurna. Pada PT. Alexindo Plant 2 menggunakan warna Krem dan Putih sebagai warna standar. Lapisan coating ini mampu bertahan hingga 10-15 tahun.



Gambar 1. Alur Proses Powder Coating

(Sumber : www.powdercoating.web.id)

Pengujian Hardness

Untuk mengetahui kekerasan pada section 4403 perlu dilakukan pengujian kekerasan dengan menggunakan alat *Webster Hardness Tester*. Cara menggunakan alat ini adalah dengan menjepit permukaan section yang akan diuji pada jarum dan penampang *webster hardness tester*. Jarum harus tegak lurus dengan benda yang akan diuji karena apabila tidak tegak lurus, kekerasan tidak akan terbaca.



Gambar 2. Webster Hardness Tester

(Sumber : indiamart.com)

Pengujian *Thickness*

Pengujian thickness dilakukan untuk memastikan ukuran dan ketebalan produk sesuai dengan gambar teknik dan tidak melebihi toleransi yang ditentukan. Alat yang digunakan untuk pengujian ini adalah digital caliper atau biasa dikenal dengan sebutan jangka sorong digital.



Gambar 3. Alat Uji Thickness (Mitutoyo Digimatic Caliper)

Pengujian *Micron Thickness*

Pengujian micron thickness bertujuan untuk mengetahui penambahan tebal dalam mikron (μ) setelah dilakukan proses powder coating. Pengujian ini dilakukan dengan alat digital yang cara kerjanya adalah menekan permukaan profil aluminium, lalu secara

otomatis ketebalan lapisan coating dapat diketahui.



Gambar 4. Alat Uji Thickness Micron

(Sumber: <https://shopee.co.id/>)

III. Hasil dan Pembahasan

Billet Aluminium Alloy 6063

Bahan Baku yang digunakan pada pembuatan profil aluminium section 4403 yaitu Billet Aluminium Alloy 6063. Material AA6063 adalah paduan aluminium yang memiliki sebagian besar paduan berupa magnesium (Mg) dan silikon (Si). AA6063 juga sering disebut paduan dengan kekuatan sedang, sehingga cocok untuk aplikasi yang tidak memerlukan sifat kekuatan khusus. Selain itu material ini mudah untuk dibentuk dengan desain sederhana hingga kompleks. AA6063 juga memiliki karakteristik kualitas permukaan yang sangat baik, dan cocok untuk berbagai proses pelapisan (*coating*) seperti *anodizing* dan *powder coating*. Paduan dengan kekuatan sedang ini sangat mudah diekstrusi dan memiliki kemampuan las, kemampuan mengeraskan, dan machinability yang sangat baik serta ketahanan yang menonjol terhadap semua jenis korosi. Karena sifat yang luar biasa ini, paduan tersebut telah digunakan dalam berbagai aplikasi yang bervariasi termasuk dalam pembuatan profil aluminium untuk bidang arsitektur, pipa, lantai truk dan trailer, furnitur, transportasi jalan raya, transportasi

kereta api, pintu, jendela, dan pipa irigasi (Smith, 1993). Dari penjelasan diatas, material AA6063 dipilih untuk menjadi bahan baku profil aluminium section 7118. Untuk kadar material Billet 6063 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia material AA6063
(sumber: Atlas Steels, 2013)

Material	%
Si	0,2-0,6
Fe	0,35
Cu	0,10
Mn	0,10
Mg	0,45-0,9
Cr	0,10
Zn	0,10
Ti	0,10
Others	
Each	0,05
Total	0,15

Profil aluminium Section 4403

PT. Alexindo Plant 2 Dawuan memproduksi berbagai macam profil aluminium dengan kegunaannya masing-masing. Bentuknya pun dibedakan menjadi 3 macam yaitu; solid, hollow, dan semi-hollow. Karena banyaknya macam profil aluminium yang diproduksi, perusahaan menggunakan sistem penamaan produk dengan istilah "section". Salah satu yang diproduksi adalah profil aluminium section 4403 yang berjenis profil solid. Berdasarkan fungsinya, section ini digunakan untuk membuat rangka kusen. Kusen memiliki fungsi sebagai sebagai tempat

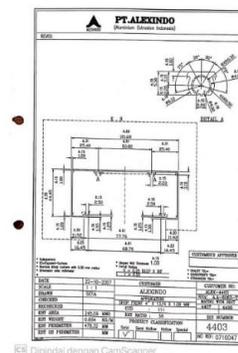
perletakan daun pintu dan duan jendela. Selain itu, kusen dapat digunakan untuk menyekat dinding bangunan atau pemisah antar ruangan.. Panel ini dapat digunakan untuk membuat pintu, jendela, ataupun dinding.



Gambar 1. Sampel section 4403 Tampak Atas



Gambar 2. Gambar Section 4403 Tampak Depan



Gambar 3. . Gambar Teknik section 4403 Tampak Depan
(Sumber: Divisi Ekstrusi PT. Alexindo Plant 2 Dawuan)

Proses Ageing

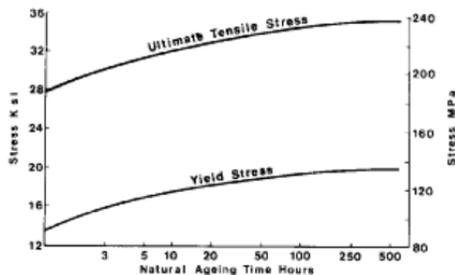
Salah satu cara untuk meningkatkan kekuatan dan sifat mekanik dari paduan aluminium yaitu melalui proses perlakuan panas. Proses perlakuan panas tersebut bertujuan untuk mengubah struktur mikro paduan sehingga sifat mekaniknya dapat berubah. Ada berbagai macam perlakuan panas, salah satunya adalah proses ageing.

Pada proses ageing, unsur-unsur paduan dalam solid solution secara bertahap keluar dan membentuk presipitat yang dapat meningkatkan kekuatan paduan (Warmuzek et al., 2005). Profil aluminium hasil ekstrusi biasanya melewati proses ageing untuk meningkatkan mechanical properties dari paduan tersebut. Ageing akan terjadi secara alami seiring waktu, akan tetapi artificial ageing dengan perlakuan panas lebih dipilih karena, sangat tidak mungkin menyimpan hasil produksi dalam waktu yang lama.

Proses ini sering dikenal dengan istilah "age hardening", hasil yang diinginkan adalah meningkatnya ultimate tensile strength (UTS) dan yield stress. Kekerasan/hardness adalah parameter yang mudah untuk ditinjau untuk memastikan peningkatan UTS dan yield stress.

Natural Ageing

Proses pengendapan cukup kompleks dan melibatkan kelarutan gugus inter-metallic yang mengendap dalam paduan. Pada temperatur ruangan, paduan Al-Mg-Si yang biasanya digunakan pada produk ekstrusi akan mendapatkan peningkatan kekuatan dalam kurun waktu 100 hingga 500 jam (Barry dan Harris, 1977).



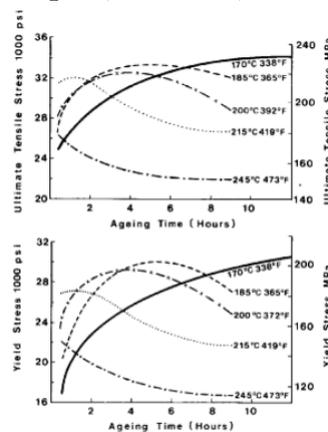
Gambar X. Grafik fungsi Ultimate Tensile Strength dan Yield Stress Terhadap Waktu Natural Ageing.

(Sumber : Extrusion Technology Seminar, 1977)

Berdasarkan grafik, proses natural ageing ini tidak praktis karena membutuhkan paling sedikit 100 jam (4 hari penyimpanan). Ruang yang diperlukan untuk penyimpanan selama itu akan sangat banyak dan besar sehingga tidak praktis. Selain itu, permintaan untuk pengiriman yang cepat juga tidak memungkinkan apabila menggunakan proses natural ageing.

Artificial Ageing

Proses artificial ageing dilakukan untuk memperoleh pengerasan presipitat, yaitu pengerasan akibat terjadinya pengendapan fasa kedua yang menyebar secara merata. Pengerasan presipitat bertujuan untuk mempertinggi ketahanan logam terhadap deformasi dengan menghambat gerakan dislokasi oleh presipitat. Pengerasan presipitat dapat dilakukan pada logam paduan dimana kelarutan unsur paduan terbatas dan kelarutan tersebut semakin berkurang jika terjadi penurunan temperatur (Demir dan Gündüz, 2009). Artificial Ageing melibatkan proses dekomposisi pada suhu tinggi, biasanya sekitar 100-200°C, dengan waktu selama 2-10 jam. Dengan memanaskan profil aluminium ke suhu tinggi dan menahannya selama waktu tertentu, pembentukan presipitat menjadi lebih cepat. Hal ini yang menyebabkan kekuatannya meningkat (Dahle, 2001).



Gambar X. Grafik fungsi Ultimate Tensile Strength dan Yield Stress Terhadap Waktu dan Suhu Artificial Ageing

(sumber: Extrusion Technology Seminar, 1977)

Proses Ageing/Aging di PT. Alexindo Plant 2 Dawuan bertujuan untuk meningkatkan hardness pada profil hasil extrude dengan memasukan profil yang sudah ditata dalam pallet ke dalam oven dengan suhu 185oC dan waktu selama 6 jam. Oven yang digunakan dalam proses ageing tidak menggunakan semburan api, melainkan uap panas. Profil yang baru saja keluar dari mesin ekstrusi biasanya hanya memiliki kekerasan sekitar 5-6 wbs. Sedangkan profil yang telah mengalami proses ageing akan mengalami peningkatan hardness. Hal ini tergantung pada jenis billet AA yang digunakan, nilai hardness yang sering didapatkan setelah proses ageing berkisar 10 – 16 wbs. Profil yang masih dikategorikan low hardness, akan dilakukan ageing ulang sampai maksimal 2 kali pengulangan. Jika tidak mengalami perubahan, maka profil tersebut akan dijadikan bahan untuk di remelting. Profil low hardness dapat dicirikan dengan adanya seperti “sisik” pada permukaan profil, ciri tersebut dapat terlihat dengan kasat mata.

Powder Coating

Pada PT. Alexindo Plant 2 setelah profil aluminium lolos uji Hardness maka dilanjutkan untuk dilakukan proses Powder Coating. Apabila customer tidak meminta produk diberi warna maka produk selesai dengan metode mill Finish. Tujuan utama dari powder coating sendiri yaitu untuk menambah nilai estetika atau keindahan dari produk profil aluminium dan juga menambah ketahanan korosi dari produk profil aluminium. Warna standar yang digunakan adalah krem dan putih Lapisan coating ini mampu bertahan hingga 10-15 tahun.

Uji Kekerasan

Pada PT. Alexindo Plant 2 standar minimum kekerasan untuk produk aluminium profil yaitu sebesar 10-12 wbs. Ketika produk keluar dari mesin ekstrusi hardness yang didapatkan sekitar 5-6 wbs. Lalu dimasukkan ke mesin ageing untuk pengerasan. Untuk melakukan pengujian kekerasan, dilakukan dengan alat yang bernama Webster Hardness Tester. Produk dikatakan memiliki kekuatan yang baik apabila diperoleh kekerasan sebesar

15-16 webster setelah proses ageing. Praktikan melakukan pengambilan sampel berupa profil aluminium section 4403 sebanyak 2 batang. Sampel diambil langsung dari line ekstrusi, dengan dibantu oleh pihak QC. Masing-masing sampel memiliki panjang sekitar 12-15 cm.

Tabel 1. Hasil Uji Hardness Sampel Profil Aluminium Section 4403

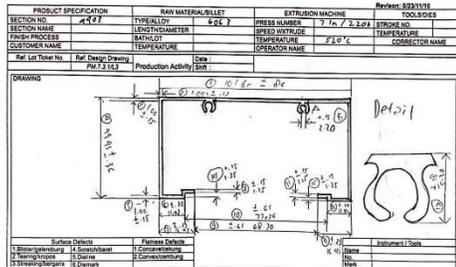
No. Sample	Section No.4403	
	Before	After
I	4	15
II	4	15

Kedua sampel ini memiliki hardness sebesar 4 wbs sebelum mengalami proses ageing. Setelah dilakukan proses ageing dengan suhu 185°C dan waktu selama 6 jam nilai hardness sampel mengalami peningkatan. Nilai hardness pada sampel I menjadi 15 wbs dan sampel II menjadi 15 wbs. Hasil tersebut termasuk kedalam spesimen yang sangat bagus. Karena sudah melebihi target minimum hardness yang ditentukan.

Uji Thickness dan Micron Thickness

Pengujian thickness dilakukan untuk memastikan ukuran dan ketebalan produk sesuai dengan gambar teknik dan tidak melebihi toleransi yang ditentukan. Alat yang digunakan untuk pengujian ini adalah digital caliper atau biasa dikenal dengan sebutan jangka sorong digital.

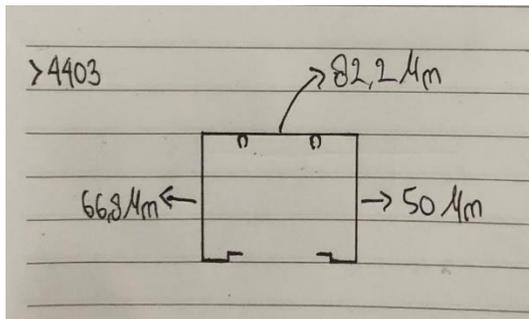
Pengujian micron thickness bertujuan untuk mengetahui penambahan tebal dalam mikron (μ) setelah dilakukan proses powder coating. Pengujian ini dilakukan dengan alat digital yang cara kerjanya adalah menekan permukaan profil aluminium, lalu secara otomatis ketebalan lapisan coating dapat diketahui.



Gambar 4.11 Gambar Teknik dan ukuran Thickness Section 4403

Tabel 2. Tabel Ukuran Before and After Coating

No	Standard (inc/mm)	Toleransi	Before Coating	After Coating
1	101.6	±.86	101.90	101.95
2	1.00	±.15	0.98	1.16
3	1.00	±.15	1.05	1.20
4	44.45	±.36	44.61	44.83
5	1.00	±.15	1.08	1.22
6	11.92	±.20	11.97	12.19
7	16.45	±.23	16.50	16.63
8	1.25	±.15	1.34	1.51
9	68.70	±.61	68.16	66.57
10	77.76	±.61	75.47	74.92
11	1.25	±.15	1.39	1.52
12	11.92	±.20	12.01	12.37
13	16.45	±.23	16.52	16.69
14	1.35	±.15	1.41	1.64
15	1.35	±.15	1.36	1.55
16	2.20	±.15	2.34	2.29
17	5.30	±.18	5.21	5.58



Gambar 1. Hasil Uji Thickness micron section 4403

Setelah coating, terjadi penambahan tebal di setiap bagian yang diukur saat uji thickness. Selain itu dari hasil uji thickness micron, tebal coating sampel section 4403 adalah 82,2 μm

pada bagian atas 66,8 μm pada sebelah kiri dan 50 μm pada sebelah kanan profil ini masih masuk toleransi yang diizinkan oleh perusahaan. Standar yang ditetapkan oleh perusahaan adalah sebesar 50-80 μm.

Uji Berat Actual dan Berat Under/Over

Berat Actual adalah berat yang didapat dari hasil penimbangan produk ekstrusi. Satuan Berat Actual adalah kg/m dan dinyatakan dengan rumus:

$$B. Actual = \frac{\text{Berat Profil (gr)}}{\text{Panjang Profil (mm)}}$$

(Sumber : Divisi Quality Control PT.Alexindo Plant 2)

Sedangkan Under/Over weight menyatakan sisa atau kelebihan dari penggunaan bahan baku aluminium. Satuan Under/Over Weight adalah % (persen) dan dinyatakan dengan rumus:

$$\text{Under/Over Weight} = \frac{\text{Berat Actual} - \text{Berat Standar}}{\text{Berat Standar}} \times 100\%$$

(Sumber : Divisi Quality Control PT.Alexindo Plant 2)

Under/over weight ini memiliki batas toleransi yaitu ±3% untuk profil solid dan ±5% untuk profil hollow. Selama kami melaksanakan kerja praktik Di PT. Alexindo Plant 2 kami mempelajari beberapa section yang memiliki berat standar berbeda-beda. Berikut beberapa berat standar dari masing-masing section yang sudah dirangkum.

Tabel 4.5 Berat Standar pada Section

Section	Berat Standar
13804	1,458 kg/m
4406	0,608 kg/m
7118	0,360 kg/m
4403	0,664 kg/m
11309	0,200 kg/m

Selain dilakukan pengujian hardness, thickness, serta thickness micron, pada sampel section 4403 yang praktikan teliti juga dilakukan uji berat actual dan penghitungan under/over weight.

a. Berat actual (Before Coating)

$$B. Actual = \frac{Berat Profil (gr)}{Panjang Profil (mm)}$$

- Section 4403

Sampel I

$$B. Actual = \frac{76,84 \text{ gr}}{122 \text{ mm}}$$

$$B. Actual = 0,629 \text{ kg/m}$$

Sampel II

$$B. Actual = \frac{77,26 \text{ gr}}{122,5 \text{ mm}}$$

$$B. Actual = 0,630 \text{ kg/m}$$

b. Under/Over Weight (Before Coating)

$$Under/Over Weight = \frac{Berat Actual - Berat Standar}{Berat Standar} \times 100\%$$

- Section No. 4403 (Berat std = 0,664 kg/m)

Sampel I

$$Under/Over Weight = \frac{0,629 - 0,664}{0,664} \times 100\%$$

$$Under / Over Weight = -5,271 \% (underweight)$$

Sampel II

$$Under/Over Weight = \frac{0,630 - 0,664}{0,664} \times 100\%$$

$$Under / Over Weight = -5,120 \% (underweight)$$

c. Berat Actual (After Coating)

$$B. Actual = \frac{Berat Profil (gr)}{Panjang Profil (mm)}$$

- Section 4403

$$B. Actual = \frac{80,82 \text{ gr}}{122,5 \text{ mm}}$$

$$B. Actual = 0,659 \text{ kg/m}$$

d. Under/Over weight (After Coating)

$$Under/Over Weight = \frac{Berat Actual - Berat Standar}{Berat Standar} \times 100\%$$

- Section No. 4403 (Berat std = 0,664 kg/m)

$$Under/Over Weight = \frac{0,659 - 0,664}{0,664} \times 100\%$$

Under / Over Weight

= -0,7 % (*underweight*)

e. Persen Penambahan Berat

$$\% = \frac{x - y}{y} \times 100\%$$

Keterangan :

x = Berat actual setelah coating

y = Berat actual sebelum coating

- Persen penambahan berat

$$\% = \frac{0,659 - 0,630}{0,630} \times 100\%$$

= 4,6%

IV. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis serta pembahasan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Proses ageing yang dilakukan menyebabkan peningkatan hardness pada profil aluminium section 4403. Yang awalnya memiliki kekerasan sebesar 4 wbs (sebelum ageing), kemudian meningkat menjadi 15 wbs.
2. Proses powder coating dapat meningkatkan Thickness dan juga berat actual profil aluminium.
3. Penambahan berat pada sampel uji setelah proses coating adalah sebesar 4,6%.
4. Sampel yang telah di-coating masuk kategori under weight yang artinya berat dibawah standar, yang nilainya - 0,7%. Hal ini dikarenakan pengambilan sampel dari skrap . Tetapi masih berada didalam toleransi perusahaan yaitu sebesar $\pm 5\%$.

Daftar Pustaka

- Atlas Steels. (2013). Aluminium Alloy Data Sheet 6063. Diakses pada 21 Maret 2021, dari <http://www.atlassteels.com.au/documents/Atlas%20Aluminium%20datasheet%206063%20rev%20Oct%202013.pdf>
- Barry, W.G. and Harris, R.W. (1977) Proc. 2nd International Extrusion Technology Seminar, Atlanta, 1, 271. Aluminum Association, Washington DC
- Dahle, A. K. (2001). Aluminum Alloys, Heat Treatment of. Encyclopedia of Materials: Science and Technology, 111–113.
- Demir, H., & Gündüz, S. (2009). The effects of aging on machinability of 6061 aluminium alloy. Materials & Design, 30(5), 1480–1483.
- Digital Blue W20 Webster Hardness Tester. (2020). Diakses pada 22 Maret 2021, dari www.indiamart.com/proddetail/w20-webster-hardness-tester-12945136855.html
- Powder Coating. (2019). Diakses pada 21 Maret 2021, dari www.powdercoating.web.id
- R&D TC100 Coating Thickness Gauge. (2020). Diakses pada 22 Maret 2021, dari <https://shopee.co.id/R-D-TC100-Coating-Thickness-Gauge-0.1micron-0-1300-Car-Paint-Film-Thickness-Tester-Measuring-i.143372412.6110960921>
- Sheppard, T. (1999). Extrusion of aluminium Alloys. Kluwer Academic
- Warmuzek, M., Ratuszek, W., & Sęk-Sas, G. (2005). Chemical inhomogeneity of intermetallic phases precipitates formed during solidification of Al-Si alloys. Materials Characterization, 54(1), 31-40.