

**PENGARUH PROSES AGEING DAN POWDER COATING PADA ALUMINIUM PROFIL
SECTION 7118**

Agris Setiawan, Ahmad Salman Taufiqi Firas

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, contact.ahmdfrs@gmail.com

ABSTRACT

The use of AA6063 aluminium alloy in profile form as a component for building construction is developing, along with the desire to reduce the weight of used components. However, the aluminium profile which came out of the extrusion machine doesn't have high mechanical properties, so the other processes are needed to increase aluminium profile's hardness. One of the processes which can increase its hardness is through a heat treatment process. Artificial ageing as heat treatment process was chosen, by using 185 °C temperature for 6 hours. Furthermore, aluminium profiles are also going through painting stages with powder coating. This internship report describes the effect of aging process on hardness of aluminium profiles and the effect of powder coating process on the thickness and weight of the aluminium profile section 7118. The result is, it was found that the aging process can increase the hardness of aluminium profile, from 3 wbs to 11 - 12 wbs. In other words, the mechanical properties of aluminium profiles have improved. Also, the powder coating process caused increase in thickness of aluminium profiles. From the analysis, it was found that in each part of the profile which was exposed to the paint is increasing in weight by 7.6%. However, the wrong coating process can cause aluminium profile to become overweight. This will cause significant losses for the company.

Keywords: Aluminium alloy, Ageing, Extrusion, Powder Coating

ABSTRAK

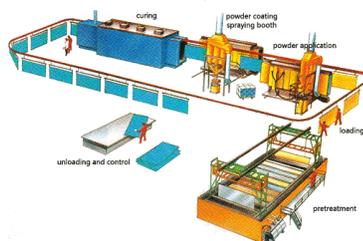
Penggunaan paduan aluminium AA6063 dalam bentuk profil sebagai komponen dalam bidang konstruksi bangunan semakin berkembang bersamaan dengan semakin berkembangnya keinginan untuk mengurangi berat dari komponen yang digunakan. Namun profil aluminium yang baru saja keluar dari mesin ekstrusi masih memiliki 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 7118*. Dari hasil analisis didapatkan bahwa proses *ageing* dapat meningkatkan kekerasan profil, yang semula 3 wbs menjadi 11-12 wbs sehingga dengan kata lain sifat mekanik dari profil aluminium juga meningkat. Sedangkan proses *powder coating* menyebabkan penambahan tebal pada setiap bagian profil yang terkena cat serta berat sebesar 7,6%. Akan tetapi, proses *coating* yang salah akan menyebabkan profil aluminium mengalami *overweight*. Hal ini dapat menimbulkan kerugian cukup besar bagi perusahaan.

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

proses penting karena akan berpengaruh pada peningkatan kualitas dari profil aluminium. Berdasarkan hal tersebut, maka penulis mencoba melakukan analisis terhadap pengaruh proses *ageing* dan *powder coating* pada profil aluminium *section 7118*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui apa saja pengaruh yang disebabkan kedua proses tersebut.

II. Metode dan Material Percobaan

Pada penelitian kali ini, metode yang dilakukan adalah analisis data kuantitatif. Dengan spesimen berupa profil aluminium *section 7118* sebanyak 2 batang dengan ukuran panjang sekitar 12-15 cm. Spesimen ini diambil langsung dari *line* ekstrusi, dengan dibantu oleh pihak *quality control* (QC) pabrik. Sebelum diberi perlakuan apapun, dilakukan *hardness* test, uji berat, dan uji *thickness* ke seluruh sampel. Setelah melalui serangkaian pengujian, dilakukan proses *ageing* pada kedua sampel tersebut. Proses ini dilakukan dalam oven *ageing* dengan suhu 185°C selama 6 jam. Setelah proses ini, kembali dilakukan pengujian *hardness* terhadap spesimen. Pada tahap terakhir, spesimen yang telah dicek kekerasannya, dibawa menuju *line coating* untuk dilakukan pengecatan pada spesimen.



Gambar 3. Alur Proses Powder Coating (sumber: www.powdercoating.web.id)

Proses *coating* ini dimulai dengan 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 melekat dengan sempurna. Selesai dari tahap *coating*, spesimen diuji *thickness*, *micron thickness*, berat aktual dan *under/overweight*-nya.

Pengujian *hardness* pada spesimen dilakukan dengan menggunakan Webster *Hardness Tester*. Penggunaan alat ini harus dengan sangat berhati-hati karena sangat sensitif. Jarum pada bagian bawah alat dan benda uji tegak lurus. Apabila tidak rata, maka jarum penunjuk angka kekerasan tidak akan bergerak sehingga nilai kekerasan tidak akan naik dan tidak terbaca.



Gambar 4. Webster *Hardness Tester* (sumber: www.google.com)

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 5. Alat Uji *Thickness* (Mitutoyo *Digital Caliper*)

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 6. Alat Uji *Thickness Micron* (sumber: www.google.com)

III. Hasil dan Pembahasan

Aluminium Alloy 6603

Bahan baku yang digunakan untuk membuat profil aluminium *section* 7118 adalah material AA6063 dalam bentuk bilet. 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*.

Dalam dunia industri, material AA6063 adalah salah satu paduan Al yang paling umum digunakan pada seri aluminium 6xxx yang dapat di *heat treatment*. 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).

PT. Alexindo Plant 2 Dawuan tidak hanya menggunakan AA6063 sebagai bahan baku ekstrusi. Material lain yang digunakan yaitu AA6005 dan AA6061. Masing-masing memiliki karakteristik dan sifat mekaniknya sendiri. Sifat mekanik yang diperhatikan oleh perusahaan adalah kekerasannya. Kekerasan yang dihasilkan oleh setiap bahan baku pun berbeda. Untuk membedakan bahan baku bilet yang ada di perusahaan, masing-masing bilet diberi coretan dengan warna identitas sebagai berikut:

Tabel 1. Jenis Bilet PT. Alexindo Plant 2 (sumber: Divisi Ekstrusi PT. Alexindo Plant 2 Dawuan)

Jenis Bilet	Hardness (wbs)	Warna Identitas	Keterangan
AA6063	10 – 13	Polos	-
AA6061	15 – 16	Merah	Tidak bisa di <i>anodizing</i> . Biasa digunakan untuk sektor dirgantara dan militer.
AA6005	15 – 16	Kuning	-

Tabel 2. Komposisi kimia material AA6063 (sumber: Atlas Steels, 2013)

Material	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Others	
										Each
%	0.20-0.6	0.35	0.10	0.10	0.45-0.9	0.10	0.10	0.10	0.05	0.15

Proses Ageing

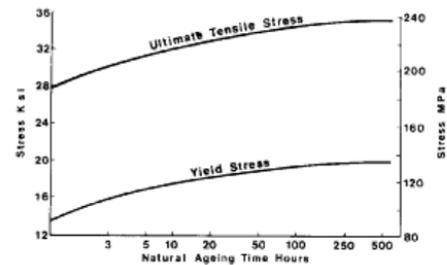
Dalam dunia industri saat ini, diharapkan bahwa substitusi paduan aluminium untuk baja akan menghasilkan peningkatan yang besar dalam ekonomi energi, kemampuan daur ulang, dan *life cycle cost*. Namun, kekuatan dan sifat mampu bentuk paduan aluminium perlu ditingkatkan untuk aplikasi lebih lanjut dalam industri (Lee et al., 2002). Paduan aluminium 6063 yang dapat dikeraskan banyak digunakan dalam aplikasi struktur bangunan, dimana ketahanan aus merupakan sifat dasar yang harus dimiliki (Smith, 1993). 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. Salah satu cara yang diketahui dapat meningkatkan ketahanan aus paduan aluminium adalah dengan proses *artificial ageing* (Suresh et al., 1984).

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 7. Grafik fungsi *Ultimate Tensile Strength* dan *Yield Stress* Terhadap Waktu *Natural Ageing*

(sumber: Extrusion Technology Seminar, 1977)

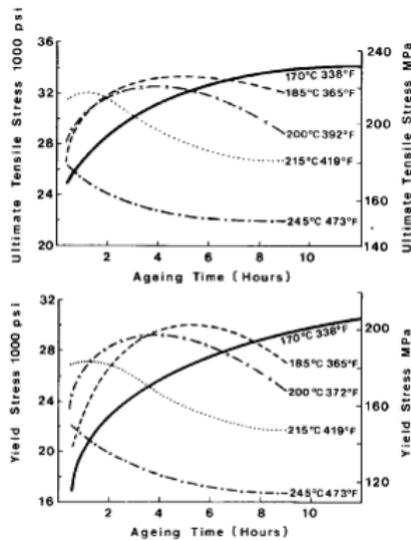
Berdasarkan grafik, proses *natural ageing* ini tidak praktis karena membutuhkan paling sedikit 100 jam (4 hari penyimpanan). Ruang yang diperlukan untuk penyimpanan selama itu akan sangat banyak dan besar sehingga tidak praktis. Selain itu, permintaan untuk pengiriman yang cepat juga tidak memungkinkan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

Artificial Ageing

Artificial ageing merupakan proses perlakuan panas yang biasa dilakukan pada paduan aluminium untuk meningkatkan sifat mekaniknya (Holmen et al., 2013). 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). Pemilihan dalam

jangka waktu berapa proses tersebut seharusnya dilakukan haruslah diperhitungkan secara cermat. Hal itu disebabkan karena waktu dilakukannya proses aging dapat menyebabkan perbedaan pada jenis, fraksi volume, ukuran dan distribusi partikel endapan, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi struktur akhir dan menghasilkan sifat mekanik yang berbeda (ASM Vol. 4, 1991).



Gambar 8. Grafik fungsi *Ultimate Tensile Strength* dan *Yield Stress* Terhadap Waktu dan Suhu *Artificial Ageing* (sumber: Extrusion Technology Seminar, 1977)

Grafik tersebut menunjukkan bahwa *mechanical properties* yang maksimal dapat dicapai dengan melakukan kontrol pada suhu dan waktu. Proses *ageing* yang umum dilakukan untuk AA6063 adalah pada suhu 185°C selama 4-6 jam. Proses ini sering dikenal dengan istilah “*age hardening*”, akan tetapi tujuan dari *ageing* bukan untuk membuat profil menjadi “keras” namun untuk meningkat sifat mekanik *ultimate tensile strength* dan *yield stress*. Pengujian untuk sifat mekanik itu memerlukan persiapan sampel dengan bentuk tertentu dan mengujinya di mesin uji tarik. Pengujian seperti itu sulit dilakukan dan tidak praktis untuk pengujian rutin dalam produksi. Karena alasan ini sebagian besar pabrik ekstrusi menggunakan uji kekerasan sederhana seperti

webster atau *rockwell* untuk memastikan proses *ageing* berlangsung secara benar.

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 185°C dan waktu selama 6 jam. Oven yang digunakan dalam proses *ageing* tidak menggunakan semburan api, melainkan uap panas.



Gambar 9. Oven *ageing* PT. Alexindo Plant 2 Dawuan

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

Karena masalah lingkungan dengan pelarut organik yang dilepaskan ke atmosfer, *powder coating*, semakin banyak menggantikan pelapis berbasis pelarut (Belder et al., 2001). *Powder coating* biasanya diaplikasikan dengan pistol semprot elektrostatis untuk menghasilkan lapisan tipis untuk tujuan dekoratif dan pelindung. Lapisan organik banyak digunakan untuk melindungi logam dari korosi. Ini terutama karena penerapannya yang sederhana;

biaya produksi yang rendah dan hasil akhir yang menarik (Mirabedini et al., 2003).

Pada PT. Alexindo Plant 2 setelah profil alumunium 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 alumunium dan juga menambah ketahanan korosi dari produk profil alumunium. Warna standar yang digunakan adalah krem dan putih Lapisan *coating* ini mampu bertahan hingga 10-15 tahun.

Uji *Hardness*

Standar minimum kekerasan untuk produk alumunium profil dengan bahan baku AA6063 yaitu sebesar 10-12 wbs. Prosedur Uji *Hardness* untuk keperluan *quality control* pada PT. Alexindo Plant 2 yaitu dengan menguji 5 benda dari setiap *section* pada 1 *pallet*. Setelah semua memenuhi syarat kekerasan dari uji Webster, maka diberi keterangan “*Hardness OK*” oleh QC.

Profil alumunium yang tidak lolos uji *hardness* diberi istilah dengan profil *low hardness*. Hal ini merupakan cacat yang bisa ditemukan pada profil hasil ekstrusi. Bisa disebabkan karena *exit temperature* ketika profil keluar dari mesin ekstrusi yang tidak sesuai dengan standar (minimal 520°C), salah penataan saat *racking* (terlalu dempet dan padat) yang menyebabkan ketika proses *ageing* sirkulasi udara panas pada oven *ageing* tidak merata ke seluruh produk profil, atau yang terakhir dapat disebabkan oleh kualitas *billet* yang buruk.

Pada spesimen yang diuji, didapat hasil seperti berikut:

Tabel 3. Hasil Uji *Hardness* Sampel Profil Alumunium *Section 7118* (dalam wbs)

No. Sample	Section No. 7118	
	Before	After
I	3	11
II	3	12

Kedua sampel memiliki *hardness* sebesar 3 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 11 wbs dan sampel II menjadi 12 wbs. Nilai kekerasan ini apabila dikonversi ke satuan Brinell menjadi bernilai 62 dan 68 BHN. Perbedaan *hardness* antara kedua sampel terjadi karena sirkulasi udara panas di dalam oven *ageing* yang tidak merata. Tetapi hal tersebut tidak menjadi masalah, karena nilai *hardness* sampel masih berada pada *hardness* standar yang ditentukan perusahaan.

Dari tabel diatas dan dasar teori tentang *artificial ageing* yang telah dijelaskan sebelumnya, terbukti bahwa proses *artificial ageing* dapat meningkatkan sifat mekanik profil alumunium. Hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya nilai *hardness* pada sampel.

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:

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

(sumber: Divisi *Quality Control* PT. Alexindo Plant 2 Dawuan)

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

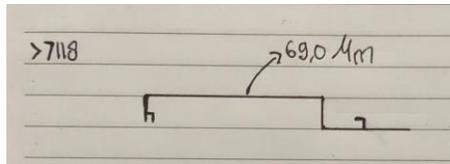
$$Under/Over Weight = \frac{BA - BS}{BS} \times 100\%$$

Keterangan: BA = Berat Actual

BS = Berat Standar

(sumber: Divisi *Quality Control* PT. Alexindo Plant 2 Dawuan)

Under/over-weight ini memiliki batas toleransi yaitu ±3% untuk profil *solid* dan ±5% untuk profil *hollow*. Dengan menggunakan rumus diatas dilakukan penghitungan terhadap



Gambar 11. Hasil Uji *Thickness Micron*

Sampel yang kami teliti diberi lapisan cat warna putih. Setelah *coating*, rata-rata terjadi penambahan tebal sekitar 0,279 mm di setiap bagian. Selain itu dari hasil uji *thickness micron*, tebal *coating* sampel *section 7118* adalah 69 μm ini masih masuk toleransi yang diizinkan oleh perusahaan. Standar yang ditetapkan oleh perusahaan adalah sebesar 50-80 μm .



Gambar 12. Sampel *Section 7118* Tampak Atas & Tampak Samping (*Before & After Coating*)

IV. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dari hasil serta pembahasan diatas, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses *artificial ageing* yang dilakukan menyebabkan peningkatan *hardness* pada profil aluminium *section 7118*. Yang awalnya memiliki kekerasan sebesar 3

wbs (sebelum *ageing*), kemudian meningkat menjadi 11-12 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 7,6%.
4. Sampel yang telah di-*coating* masuk kategori *over weight* yang melebihi toleransi, karena besarnya hingga 10%. Hal ini dikarenakan proses *coating* yang salah. Bagian dalam yang seharusnya tidak perlu di-*coating* tetap terlapisi cat. Ini dapat menimbulkan kerugian bagi perusahaan.

Daftar Pustaka

- ASM Handbook. (1991). Vol. 4: Heat treating. ASM International. *Materials Park*
- 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
- Belder, E. G., Rutten, H. J. J., & Perera, D. Y. (2001). Cure characterization of powder coatings. *Progress in organic coatings*, 42(3-4), 142-149.
- Dahle, A. K. (2001). Aluminum Alloys, Heat Treatment of. *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*, 111-113.
- Holmen, J. K., Johnsen, J., Jupp, S., Hopperstad, O. S., & Børvik, T. (2013). Effects of heat treatment on the ballistic properties of AA6070 aluminium alloy. *International Journal of Impact Engineering*, 57, 119-133.
- Lee, S. H., Saito, Y., Sakai, T., & Utsunomiya, H. (2002). Microstructures and mechanical properties of 6061 aluminum alloy processed by accumulative roll-bonding. *Materials Science and Engineering: A*, 325(1-2), 228-235.

- Mirabedini, S. M., Moradian, S., Scantlebury, J. D., & Thompson, G. E. (2003). Characterization and corrosion performance of powder coated aluminium alloy.
- Pilihan Panel Pintu. (2019). Diakses pada 21 Maret 2021, dari www.kikialuminium.co.id/pilihan-panel-pintu/
- Powder Coating. (2019). Diakses pada 21 Maret 2021, dari www.powdercoating.web.id
- Saha, P. K. (2000). Aluminum extrusion technology. Asm International.
- Smith, W. F. (1993). Structure and properties of engineering alloys. McGraw-Hill.
- Suresh, S., Vasudevan, A. K., & Bretz, P. E. (1984). Mechanisms of slow fatigue crack growth in high strength aluminum alloys: role of microstructure and environment. *Metallurgical Transactions A*, 15(2), 369-379.
- 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.
- Zulfia, A., Juwita, R., Uliana, A., Jujur, I. N., & Raharjo, J. (2010). Proses Penuaan (Aging) pada Paduan Aluminium AA 333 Hasil Proses Sand Casting. *Jurnal Teknik Mesin*, 12(1), 13-20.