

**DISERTASI**

**PENGARUH PERLAKUAN PANAS PADA HASIL  
CORAN ULANG ALUMINIUM ALLOY 6061 YANG  
DITAMBAH SERBUK BATUBARA KE DALAM  
CETAKAN SILINDER BAJA TERHADAP ENERGI  
AKTIVASI DAN SIFAT MEKANIK**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Doktor Dalam Bidang Ilmu Teknik Mesin**



**INDRA SURYA**

**03043611823002**

**PROGRAM STUDI ILMU TEKNIK PROGRAM DOKTOR  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2023**

## HALAMAN PENGESAHAN

# PENGARUH PERLAKUAN PANAS PADA HASIL CORAN ULANG ALUMINIUM ALLOY6061 YANG DITAMBAH SERBUK BATUBARA KE DALAM CETAKAN SILINDER BAJA TERHADAP ENERGI AKTIVASI DAN SIFAT MEKANIK

## DISERTASI

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Doktor Dalam Bidang Ilmu Teknik Mesin

Oleh:

**INDRA SURYA**  
03043611823002

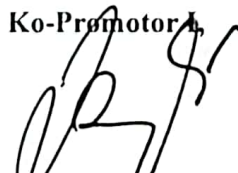
Indralaya, September 2023

Promotor,



Prof. Dr. Ir. Nukman, MT.  
NIP. 195903211987031001

Ko-Promotor I,



Ihsyadi Yani, ST., M.Eng., Ph.D  
NIP. 197112251997021001

Ko-Promotor I,



Prof. Amir Arifin, ST., M.Eng., Ph.D  
NIP. 197909272003121004

Mengetahui,

Koordinator Program Studi,



Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.  
NIP. 195903211987031001

Dekan Fakultas Teknik,



Prof. Dr. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T.  
NIP. 196706151995121002

## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Disertasi ini dengan judul “Pengaruh Perlakuan Panas Pada Hasil Coran Ulang Aluminium Alloy6061 yang Ditambah Serbuk Batubara ke dalam Cetakan Silinder Baja Terhadap Energi Aktivasi dan Sifat Mekanik” telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 29 September 2023.

Palembang, 29 September 2023

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Berupa Disertasi

**Ketua:**

Agung Mataram.ST., MT., Ph.D  
NIP. 197901052003121002

(  )

**Anggota:**

1. Gusri Akhyar Ibrahim, ST, MT, PhD.  
NIP. 197108171998021003

(  )

2. Dr. Ir. H. Hendri Chandra, MT.  
NIP. 196004071990031003


(  )

Mengetahui,

**Dekan Fakultas Teknik,**

  
Prof. Dr. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T.  
NIP. 196706151995121002

**Koordinator Program Studi,**

  
Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.  
NIP. 195903211987031001

# RINGKASAN DISERTASI

## PENGARUH PERLAKUAN PANAS PADA CORAN ULANG ALUMINIUM ALLOY 6061 YANG DITAMBAH SERBUK BATUBARA HALUSKE DALAM CETAKAN SILINDER BAJA TERHADAP ENERGI AKTIVASI DAN SIFAT MEKANIK

Oleh

**Indra Surya**  
03043611823002

Aluminium merupakan salahsatu material logam yang banyak digunakan dalam berbagai kegunaan dan oleh karenanya memerlukan banyak modifikasi yang disesuaikan dengan keperluan itu. Beberapa jenis beban yang diberikan kepada aluminun berdampak kepada perlunya modifikasi tersebut. Kekuatan material seperti mampu menahan beban tarikan atau tekanan, goresan, kejutan mupun beban fatik/kelelahan, harus dapat diatasi oleh material tersebut. Modifikasi yang dimaksud dapat berupa menambahkan unsur kimia maupun unsur lain kedalam material tersebut. Material Aluminium paduan AA6061 yang banyak dipakai dalam kehidupan sehari hari, akan dilebur dalam suatu krusibel. Pencetakan hasil coran dilakukan kedalam suatu tabung silinder yang berfungsi sebagai cetakan, yang sebelumnya didalamnya telah diisi serbuk batubara. Karena perbedaan temperatur yang cukup besar, maka serbuk batubara akan terbakar dan hasil pembakaran ini akan berpengaruh terhadap cairan aluminium paduan. Hasil pengecoran aluminium paduan akan dibuat sampel uji, dan padamana akan diuji sifat mekaniknya yang meliputi uji Tarik, Impak, kekerasan dan juga sifat kelelahan material akan diuji. Titik lebur AA6061 diperhitungkan dengan memakai alat Thermo Gravimetry Analyzer (TGA). Temperatur ini menjadi dasar untuk menentukan temperatur dimana sampel akan diberikan perlakuan panas. Kegiatan penelitian ini diharapkan memberikan sumbangsih kepada ilmu material tentang metode baru mendapatkan material maju.

Kata kunci: AA6061, Serbuk Batubara, Sifat Mekanik, TGA, Oksidasi Aluminium, Titik Lebur


Indralaya, 29 September 2023

Promotor, / Ko Prodi lu



Prof. Dr. Ir. Nukman, MT.  
NIP. 195903211987031001

Ko-Promotor I,

  
Irsyadi Yani, ST., M.Eng., Ph.D  
NIP. 197112251997021001

Ko-Promotor I,

  
Prof. Amir Arifin, ST., M.Eng., Ph.D  
NIP. 197909272003121004

## **SUMMARY**

### **THE EFFECT OF HEAT TREATMENT ON RE-CASTING ALUMINUM ALLOY 6061 ADDED WITH FINE COAL POWDER IN STEEL CYLINDRICAL MOLDS ON ACTIVATION ENERGY AND MECHANICAL PROPERTIES**

**Indra Surya  
03043611823002**

Aluminum is a metal material that is widely used for various purposes and therefore requires many modifications to suit these needs. Several types of loads placed on aluminum have an impact on the need for these modifications. The strength of the material, such as being able to withstand tensile or pressure loads, scratches, shocks, or fatigue loads, must be able to be overcome by the material. The modification in question can be in the form of adding chemical elements or other elements to the material. The AA6061 aluminum alloy material, which is widely used in daily life, will be melted into a crucible. The casting results are molded into a cylindrical tube that functions as a mold and is previously filled with coal powder. Because the temperature difference is quite large, the coal powder will burn, and the results of this combustion will affect the liquid aluminum alloy. The results of the aluminum alloy casting will be made into test samples, and their mechanical properties will be tested, which include tensile, impact, hardness, and also the fatigue properties of the material. The melting point of AA6061 is calculated using a thermogravimetry analyzer (TGA). This temperature is the basis for determining the temperature at which the sample will be given heat treatment. This research activity is expected to contribute to materials science regarding new methods of obtaining advanced materials.

**Keywords: AA6061, Coal Powder, Mechanical Properties, TGA, Aluminum Oxidation, Melting Point**

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji dan syukur penulis berikan kepada Allah SWT karena atas rahmat dan ridhonya, penulis dapat menyelesaikan disertasi yang berjudul Pengaruh Perlakuan Panas Pada Hasil Coran Ulang Alumunium Alloy 6061 Yang Ditambahkan Serbuk Batu Bara Ke Dalam Cetakan Silinder Baja Terhadap Energi Aktivasi Dan Sifat Mekanik. Selanjutnya, dengan segala hormat pada kesempatan ini penulis juga ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Taufiq Marwa S.E., M.Si selaku Rektor Universitas Sriwijaya
2. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
3. Ketua Program Studi Doktor Ilmu Teknik Universitas Sriwijaya dan selaku Promotor Bapak Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T. selaku promotor yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran dalam memberikan bimbingan dan arahan selama penyusunan disertasi ini.
4. Bapak Irsyadi Yani, ST., M.Eng., Ph.D, selaku co-promotor I yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama penyusunan disertasi ini.
5. Bapak Prof. Amir Arifin, ST., M.Eng., Ph.D, selaku co-promotor II yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama penyusunan disertasi ini.
6. Bapak Agung Mataram S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Tim penguji ujian disertasi.
7. Bapak Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D selaku Anggota Tim penguji ujian disertasi.
8. Bapak Dr. Ir. H. Hendri Chandra, M.T. selaku Anggota Tim penguji ujian disertasi.
9. Dosen Program Studi Ilmu Teknik Universitas Sriwijaya.
10. Ibu Yuni selaku admin Program Studi Doktor Ilmu Teknik Universitas Sriwijaya.
11. Laboratorium Teknik Mesin yang telah membantu dalam pengerjaan pengujian penelitian disertasi.

12. Istri tercinta Alice Yasmin serta anak-anak yang tersayang Andra Vidyarini, Annisa Diandra, Razana Ariandra, Salsabila Putri Noviandra yang telah mendukung dan memberikan motivasi dalam proses pengerjaan dan penyelesaian disertasi ini.
13. Seluruh keluarga besar yang telah memberikan dorongan dan motivasi dalam pengerjaan disertasi ini.
14. Rektor, Fakultas Teknik dan seluruh civitas akademik Universitas Bandar Lampung
15. Teman-teman angkatan 2018 Program Studi Ilmu Teknik Universitas Sriwijaya
16. Serta seluruh pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak secara langsung yang tidak bisa penulis jelaskan secara satu persatu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan disertasi ini, penulis berharap semoga disertasi ini dapat bermanfaat bagi semua pada khususnya pada Program Studi Doktor Ilmu Teknik Universitas Sriwijaya.

Palembang, September 2023

Indra Surya

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN .....	iii
RINGKASAN .....	iv
SUMMARY.....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
SURAT PERNYATAAN.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan.....	3
1.3 Tujuan Khusus.....	4
1.4 Urgensi Penelitian .....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	6
2.1. Tinjauan Umum .....	6
2.2. Pengecoran Logam .....	14
2.3. Dapur Peleburan .....	14
2.4. Uji Komposisi Kimia.....	16
2.5. Perlakuan Panas.....	16
2.6. Pengujian Sifat Mekanik .....	16
2.7. ThermogravimetryAnalyzer dan Dekomposisi Thermal .....	19
2.8. Analisa Thermal dan Energi Aktivasi .....	20
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	23
3.1. Tahap Preparasi Alat dan Material .....	23
3.2. Standard dan Pengujian .....	29
BAB 4 Hasil dan Pembahasan .....	31
4.1. Peleburan AA6061 dan Pembakaran Batubara .....	31



4.2. Pengujian Kekerasan .....	33
4.3. Thermogravimetry Analyzer (TGA) .....	37
4.3.1 Temperatur Titik Cair.....	43
4.3.2. Temperatur Solidus dan Energi Aktivasi .....	47
4.4 Pengujian Tarik .....	48
4.5 Pengujian Impak.....	50
4.6 Pengujian Fatik .....	51
BAB 5 PENUTUP .....	61
5.1. Kesimpulan .....	61
5.2. Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA .....	64

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Tiga Jenis Dapur Krusibel .....	15
Gambar 2: Bagan Alir Penelitian Tahap I dan II.....	23
Gambar 3: Tungku, Krusibel dan Sistem Pipa .....	24
Gambar 4: Furnace .....	25
Gambar 5: Alat Uji Kekerasan Brinell .....	26
Gambar 6: Alat Uji Fatik .....	26
Gambar 7: DTA/TGA Exstar SII 7300 .....	27
Gambar 8: Alat Uji Tarik .....	27
Gambar 9: Alat Uji Impak Metode Charpy .....	28
Gambar 10: Batangan AA6061.....	28
Gambar 11: Bentuk Sampel Uji Kekerasan .....	29
Gambar 12: Uji Tarik Standard ASTM E8/E8M-11 .....	29
Gambar 13: Sampel Uji Impak Charpy (JIS) .....	30
Gambar 14: Dimensi Sampel Uji Fatik Standar JIS .....	30
Gambar 15: Brinell Hardness Number .....	34
Gambar 16: Sampel Pengecoran .....	34
Gambar 17: Lubang Pori terisi Batubara serbuk .....	35
Gambar 18. Thermogram.....	41
Gambar 19. TGA vs Temperatur .....	42
Gambar 20. Melting Point Temperatur, Solidus Temperature and Activation Energy Temperatur.....	455
Gambar 21 . Tahap holding time heat treatment.....	47
Gambar 22: Tegangan dan Regangan Maksimum.....	48
Gambar 23. Nilai Uji Impak.....	50
Gambar 24: Bentuk dan ukuran sampel Uji Fatik Torsi .....	52
Gambar 25: Diagram Proses Perlakuan Panas Terhadap Sampel .....	52
Gambar 26: S-N untuk Spesimen Tanpa Perlakuan Panas .....	55
Gambar 27: Patahan sampel DABC .....	55

Gambar 28: S-N untuk Spesimen Dengan Tambahan Batubara halus	
12,5 gram yang mendapat perlakuan Panas T6 .....	57
Gambar 29: S-N untuk Spesimen Dengan tambahan Batubara halus	
25 gram yang mendapat perlakuan Panas T6 .....	58
Gambar 30: S-N untuk Spesimen Dengan tambahan Batubara halus	
37,5 gram yang mendapat perlakuan Panas T6 .....	59
Gambar 31: S-N untuk Spesimen Dengan Tanpa Tambahan Batubara halus	
yang mendapat perlakuan Panas T6 .....	61

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Titik Temperatur dan Energi Aktivitasi.....	44
Tabel 2 Komposisi Kimia.....	48
Tabel 3 Proof and Shearing stress for DABC sampel .....	53

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Indra Surya  
NIM : 03043611823002  
Judul : Pengaruh Perlakuan Panas Pada Hasil Coran Ulang Aluminium Alloy 6061 Yang Ditambahkan Serbuk Batu Bara Ke Dalam Cetakan Silinder Baja Terhadap Energi Aktivasi Dan Sifat Mekanik

Menyatakan bahwa Disertasi saya merupakan hasil karya sendiri yang didampingi tim Promotor dan KoPromotor bukan hasil pejiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Disertasi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan aturan berlaku.

Dengan demikian saya menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsur-unsur plagiasi dan apabila dokumen ilmiah Disertasi ini di kemudian hari terbukti merupakan plagiasi dari hasil karya penulis lain dan/atau dengan sengaja mengajukan karya atau pendapat yang merupakan hasil karya penulis lain, maka penulis bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum yang berlaku.

Palembang, 25 Januari 2024



Indra Surya

NIM. 03043611823002

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Material logam pada dasarnya terdiri dari dua jenis, yaitu logam ferro dan non-ferro. Logam yang paling banyak dipakai pada saat ini adalah logam ferro, sedangkan logam kedua terbanyak dipakai adalah aluminium. Kedua logam ini mempunyai kekhasan masing-masing. Untuk kekuatan yang tinggi maka dapat dipakai logam ferro, yaitu besi ataupun baja. Sedangkan untuk pemakaian khusus semisal beban yang tidak terlalu besar seperti pada besi atau baja, maka dipakai aluminium. Aluminium adalah logam komersil yang paling banyak dipakai dalam bidang konstruksi, permesinan, rumah tangga, maupun untuk pesawat udara. Banyaknya pemakaian aluminium dalam kehidupan sehari-hari menghasilkan limbah logam yang cukup banyak. Limbah aluminium dari berbagai kegiatan antara lain dari kaleng minuman, alat memasak, skrap hasil pengerjaan pemmesinan, sisa potong kabel dan lainnya, sesungguhnya dapat didaur ulang. Pekerjaan daur ulang dilakukan oleh hampir semua negara di dunia. Aluminium komersil di klasifikasikan berdasarkan bentuk beban, jenis perlakuan dan hasil pengerjaan pembuatannya.

Sifat-sifat aluminium yang membuat logam ini dan paduannya yang paling ekonomis dan menarik untuk berbagai macam kegunaannya adalah penampilan, bobot ringan, kemudahan pengerjaan, sifat fisik, sifat mekanik, dan ketahanan korosi (Cayless, 1992). Umum diketahui bahwa rasio antara kekuatan dan bobot aluminium lebih besar daripada besi atau baja. Selain daripada itu sifat tahan korosi aluminium telah terbentuk sesaat pendinginan coran aluminium. Lapisan tipis oksida aluminium terdapat pada bagian kulit paduan aluminium yang melekat rapat dan kuat pada permukaannya, sifat lapisan ini stabil dan dapat melindungi bagian dalamnya.

Salah satu kegiatan industri manufaktur adalah mengikuti pola proses pembuatan bentuk dengan berupa potongan potongan kecil yang diperkirakan tidak dapat dimanfaatkan lagi sebagai bahan pembuatan peralatan permesinan. Dalam hal ini contoh, pembuatan poros dari bahan aluminium standard, semisal AA6061, AA7075 dan seterusnya, yang dibuat bentuk poros dari batangan aluminium. Bentuk daripada poros yang direncanakan dibuat disesuaikan

dengan keperluan, misalnya poros bertingkat, mempunyai alur spi, pengecilan penampang pada beberapa bagian poros dan sebagainya. Untuk itu batang aluminium diperlakukan dengan cara proses pemesinan seperti pemotongan dengan gergaji, pembubutan, dan pembuatan alur dengan mesin frais. Hasil proses ini adalah bentuk poros sesuai dengan rancangan serta gram (chips), yang merupakan limbah, yang kadangkala tidak dapat dimanfaatkan lagi dalam proses pemesinan. Scrap maupun *chips* seperti ini dapat didaur ulang dengan cara peleburan dan dicor kembali. Hasil pengecoran ini dapat berbentuk batangan maupun dicor menjadi barang jadi. Dengan proses pemesinan yang baik, dimana pahat potong yang memakan benda kerja dijaga mutu materialnya dari perubahan temperatur, maka *chips* tersebut sifat mekaniknya menyamai bahan dasar sebelum dilakukan proses pemesinan.

Dalam proses peleburan dan pengecoran ini, bahan dasar dapat diubah sifat mekaniknya setelah didaur ulang sesuai dengan rancangan yang ditentukan dan dipilih. Pada saat peleburan, selain daripada mengurangi seminimal mungkin kotoran yang terikutkan saat proses pemesinan, juga dapat ditambah dengan unsur-unsur logam maupun non logam lainnya. Sehingga dengan demikian akan didapat material yang berbeda dengan material dasarnya, juga dalam hal ini bila penambahan ini dilakukan secara spesifik maka kemungkinan akan didapat material baru.

Terdapat tiga macam cara umum untuk menambahkan unsur lain dalam suatu pengecoran, yaitu dengan cara menambahkan secara langsung dalam cairan logam, kedua menambahkan pada saat pencairan bersamaan, dan ketiga dengan cara penyuntikan dengan cara memakai pipa berdiameter tertentu untuk tempat coran lalu unsur tambahan.

Unsur lain yang ditambahkan dalam cairan logam ini dapat bereaksi secara kimia satu sama lain, dan atau juga tak dapat bereaksi secara kimia karena beda sifat. Unsur-unsur Si, Cu, Mn, Mg dan beberapa lainnya secara kimia dapat bereaksi dengan aluminium, namun unsur-unsur besi dan carbon, serta Pb tidak dapat bereraksi secara kimia. Unsur lain yang dapat ditambahkan dalam cairan logam aluminium misalnya adalah unsur non logam, misalnya abu hasil pembakaran bahan bakar. Abu dari hasil pembakaran bila ditambahkan kedalam cairan logam, tentu tidak akan bereaksi dengan logam cair, namun dengan teknik pengadukan maka kedua material ini dapat menempati posisi masing-masing untuk tidak dapat bereaksi, hal seperti ini terjadi pada pembuatan material komposit.

Pada sisi lain, perlakuan panas pada material dapat mengubah material menjadi lebih baik dengan kata lain terjadi peningkatan sifat mekanik, dan juga dapat menurunkan sifat mekanik material, seperti kemampuan material mendapat beban tarik atau tekan, beban impak atau kejut, keausan dan beban fatik atau beban dinamis berulang. Kenaikan dan penurunan sifat material tentu dirancang sesuai dengan keinginan para pihak. Pada beberapa kasus, perlakuan panas mampu menaikkan kekuatan tarik suatu material namun kemampuan keelastisannya menurun, dengan kenaikan kekerasan. Jadi dalam hal semacam ini, material yang telah diberi perlakuan panas, hanya dirancang untuk menaikkan kekuatan tarik dan tidak diperhitungkan penurunan kemampuan elastisitas. Temperatur dan waktu tahan dalam tungku sangat besar pengaruhnya terhadap perubahan sifat mekanik ini. Media pendingin sesaat setelah logam mendapat perlakuan panas juga berpengaruh besar terhadap perubahan sifat mekanik ini.

## 1.2 Permasalahan

Pada dasarnya hampir setiap jenis aluminium dapat dibentuk sesuai dengan keinginan pemakaiannya. Namun sejumlah elemen kimia dapat membatasi kemampuan perubahan bentuk paduan aluminium, walaupun paduan tersebut digunakan untuk kegunaan tertentu.

Pada umumnya aluminium paduan dikategorikan kedalam Aluminium paduan tempa (*Wrought Aluminium Alloy*) dan Aluminium paduan cor (*Cast Aluminium Alloy*), yang kedua kategori ini didasarkan kepada mekanisme pembuatan produknya. Produk aluminium paduan tempa merupakan produk yang dapat digunakan oleh konsumen dengan proses *solid state*. Biasanya dibentuk melalui beberapa proses yaitu melalui proses tempa dengan cara *diroll* menjadi lembaran, *strip* atau pelat, ditarik menjadi kawat atau ditekan sebagai batangan dan lain-lain. Sedangkan paduan Cor cenderung memiliki unsur paduan yang lebih banyak dibanding aluminium paduan tempa. Dikarenakan sulit untuk menghapus sebagian elemen paduan dari aluminium cair menyebabkan aluminium paduan cor sulit untuk didaur ulang menjadi apa pun selain paduan cor (Schlesinger, 2007a) (Schlesinger, 2007b)(Schlesinger, 2007b). Selain daripada itu, umumnya Aluminium paduan tempa dan aluminium paduan cor dapat diberikan perlakuan panas (Brooks, 1991).

Penambahan unsur kimia yang umumnya adalah tembaga, Silikon, magnesium dan mangan, menjadikan paduan aluminium dapat menahan beban yang lebih besar dibandingkan dengan aluminium murni yang mempunyai kekuatan terbatas. Umumnya unsur-unsur paduan



ini ditambahkan secara langsung ke dalam cairan aluminium. Cara ini dilakukan dengan mempertimbangkan kemudahan pencampuran.

### **1.3 Tujuan Khusus**

Unsur-unsur paduan yang ditambahkan kedalam cairan aluminium murni telah dapat mengubah sifat mekanik dan sifat lainnya. Disamping itu pula unsur paduan yang ditambahkan kedalam paduan aluminium juga telah dapat mengubah beberapa sifat dari aluminium tersebut. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mendapatkan sifat lain dari paduan aluminium induk yang ditambahkan unsur paduan lain menjadi sifat lain yang diperlukan (Pramanik A, 2016), (Hossain A & Kurny A S W, 2013), (Karamouz Mostafa, Azarbarmas Mortaza, Emamy Masoud, & Alipour Mohammad, 2013), (Žihalová M & Bolibruchová D, 2014), (Lajis M A, Ahmad A, Yusuf N K, Azami A H, & Wagiman A, 2017), (Li et al., 2018), (Remøe Magnus S et al., 2017).

### **1.4. Urgensi Penelitian**

Beberapa sifat fisik material yang umum dipakai adalah kekuatan Tarik, kekerasan, impak dan keausan. Kemampuan material menerima beban dinamis dimasukkan ke dalam pengujian fatik atau kelelahan material. Sedangkan penelitian tentang besaran energy aktivasi material akibat komposisi paduan juga telah dilakukan beberapa peneliti. Beberapa peneliti telah melakukan pengujian fisik material aluminium, uji fatik dan pengukuran energy aktivasi paduan aluminium (Reis D A P et al., 2012), (Kumar Mukesh, Baloch Muhammad Moazam, Abro Muhamma Ishaque, Memon Sikandar Ali, & Chandio Ali Dad, 2019), (XU Liang, YU Xiang, HUI Li, & ZHOU Song, 2017), (Tanner H, Mirea D, Pu T, & Knowles A, 2018a).

Dengan mengacu kepada beberapa referensi tersebut, yang akan dibahas pada bab selanjutnya, dapat dilihat bahwa penambahan unsur paduan tertentu kedalam aluminium maupun paduan aluminium akan berpengaruh terhadap sifat fisik, fatik dan perubahan energy aktivasi material.

Dengan melakukan penelitian khusus penambahan unsur lain kedalam material aluminium dengan cara atau metode penambahan khusus, maka akan didapatkan material baru berupa material maju yang dapat dipakai dalam bidang ilmu material permesinan. Hal ini merupakan urgensi dari penelitian ini.

Pada dasarnya, penelitian ini akan memakai material aluminium paduan AA6061 yang masuk ke dalam kategori aluminium paduan komersil 6xxx dan masuk kategori aluminium paduan tempa (*wrought alloys*), sekategori dengan 2xxx, 7xxx, yang kebanyakan mengandung Cu dan Si sebagai penguat. Paduan-paduan komersil kekuatan dan kekerasannya meningkat signifikan setelah mendapat perlakuan panas. Aluminium paduan ini yaitu salahsatu jenis paduan aluminium yang mengandung sejumlah unsur Magnesium dan Silikon yang dominan. AA6061 adalah logam mampu bentuk, mampu las, mampu pemesinan dan tahan korosi serta mempunyai kekuatan yang cukup baik (Brooks, 1991). Pada Aluminium Paduan 6xxx, Mg dan Si merupakan elemen paduan utama. Material Aluminium AA6061 akan dilebur dan kemudian ditambahkan unsur baru yang didapat dari hasil terbakarnya bahan tambahan dari batubara. Batubara yang merupakan salahsatu jenis bahanbakar, pembakarannya akan menghasilkan gas, karbon dan abu. Gas metan yang terdekomposisi akibat pembakaran akan memperpanjang peleburan logam aluminium. Sedangkan karbon akan terbakar sama halnya dengan gas metan. Pada sisi lain, abu yang merupakan sisa hasil pembakaran diharapkan akan terperangkap di dalam cairan aluminium yang sama halnya dengan gas sisa pembakaran. Dengan demikian kaitan antara pencairan aluminium AA6061 dengan penambahan unsur paduan lain akan menghasilkan material aluminium paduan baru. Perlu dicatat bahwa pemakaian aluminium ini merupakan simulasi daripada sisa atau skrap produk pemesinan. Jadi hasil proses pemesinan yang merupakan chips ataupun skrap dapat dimanfaatkan kembali dengan cara daur ulang.

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan, penambahan unsur paduan dengan cara khusus akan dilakukan yang kemudian akan dilanjutkan dengan pengujian dan pengukuran untuk memberikan hasil seperti yang diinginkan. Pengukuran unsur paduan adalah hal utama yang dilakukan, untuk mengukur dan menganalisa seberapa besar pengaruh yang ditimbulkan akibat penambahan unsur batubara yang diberikan kedalam tabung cetakan silinder baja. Serbuk batubara akan terbakar dan memberikan pemanasan lanjutan terhadap cairan paduan aluminium. Sehingga semua unsur kimia akan mengalami pemanasan akibat pemanasan ini. Pada tahap pertama, penelitian dilakukan terhadap pengukuran unsur komposisi kimia dan Termogravimetry. Pengujian tahap kedua akan dilakukan untuk menganalisa besarnya pemanasan tersebut, dimana beberapa pengujian utama akan dilakukan, antara lain pengujian kekuatan tarik, dampak, dan uji fatik serta kekerasan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adewale Tolulape Moyosore, Adewale Tolulape Moyosore, & Olumambi Peter Apata. (2014). Corrosion and wear behaviour of Al–Mg–Si alloy matrix hybrid composites reinforced with rice husk ash and silicon carbide. *Journal of Materials Research and Technology*, 3(1), 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2013.10.008>
- Aipon. (2014). *Perbandingan Sifat Mekanik Hasil Coran Gabungan Aluminium Bekas Velg Sepeda Motor dan Alat Masak yang Diperlakukan Panas dan Tanpa Perlakuan Panas*. Universitas Sriwijaya, Inderalaya.
- Akhil, K. T., Arul, S., & Sellamuthu, R. (2014). The Effect of Heat Treatment and Aging Process on Microstructure and Mechanical Properties of A356 Aluminium Alloy Sections in Casting. In *Elsevier: Procedia Engineering* (Vol. 97, pp. 1676–1682). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.318>
- Alaneme, K. K., Ekperusi, J. O., & Oke, S. R. (2018). Corrosion behaviour of thermal cycled aluminium hybrid composites reinforced with rice husk ash and silicon carbide. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 30(4), 391–397. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2016.08.001>
- AlSaffar, K. A., & Bdeir, L. M. H. (2008). Recycling of Aluminum Beverage Cans. *Journal of Engineering and Development*, 12(3), 157–163. Retrieved from <https://www.iasj.net/iasj?func=fulltext&aId=10274>
- Askeland, D. R., Fulay, P. P., & Wright, W. J. (2011a). *The Science and Engineering of Materials* (Sixth). Stamford, CT 06902: Cengage Learning, Inc.
- Askeland, D. R., Fulay, P. P., & Wright, W. J. W. (2011b). *The Sciences and Engineering of Materials* (Sixth). Cengage Learning, Inc.
- Astika, I. (2019). Hardness improvement of aluminum alloy 2024 t3 after artificial aging treatment. In *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* (pp. 6–11). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/539/1/012004>
- Atuanya C U, Ibadode A O A, & Dagwa I M. (2012). Effects of breadfruit seed hull ash on the microstructures and properties of Al–Si–Fe alloy/breadfruit seed hull ash particulate composites. *Results in Physics*, 2, 142–149. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2012.09.003>
- Banerjee, D. (n.d.). *Experimental Techniques in Thermal Analysis Thermogravimetry ( TG )*

- Differential Scanning Calorimetry ( DSC )*. Retrieved from <https://www.iitk.ac.in/che/pdf/resources/TGA-DSC-reading-material.pdf>
- Borrego, L. P., Abreu, L. M., Costa, J. M., & Ferreira, J. M. (2004). Analysis of low cycle fatigue in AlMgSi aluminium alloys. *Engineering Failure Analysis, 11*(5), 715–725. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2003.09.003>
- Bottom, R. (2008). Thermogravimetric Analysis. In P. Gabbott (Ed.), *Principles and Applications of Thermal Analysis* (p. 484). Victoria, Australia: Blackwell Publishing Ltd.
- Branco, R., Borrego, L. P., Costa, J. D., & Antunes, F. V. (2019). Effect of pre-strain on cyclic plastic behaviour of 7050-T6 aluminium alloy. *Procedia Structural Integrity, 17*, 177–182. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.08.024>
- Brooks, C. R. (1991). Principles of Heat Treating of Nonferrous Alloys. In *ASM Handbook, Volume 4, Heat Treating* (p. 1872). ASM International.
- Brown, M. E. (2004). *Introduction to Thermal Analysis*. (M. E. Brown, Ed.) (second). New York: KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS.
- Cagala, M., Bruska, M., Lichy, P., Beno, J., & Spirutova, N. (2013). Influence of Aluminium-Alloy Remelting on the Structure and Mechanical Properties. *Materials and Technologies, 47*(2), 239–243. Retrieved from <http://mit.imt.si/izvodi/mit132/cagala.pdf>
- Cayless, R. B. C. (1992). Alloy and Temper Designation Systems for Aluminum and Aluminum Alloys. In *ASM Handbook Vol 2, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials* (p. 10). ASM International.
- Cui, J., & Roven, H. J. (2010). Recycling of automotive aluminum. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 20*(11), 2057–2063. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(09\)60417-9](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(09)60417-9)
- D.W. Cameron, Allegany, N., & Hoepfner, D. W. (1996). *ASM Handbook - Volume 19 - Fatigue and Fracture, Fatigue Properties in Engineering*. ASM International.
- Firdaus, M. S., Nukman, Yani, I., & Arifin, A. (2020). Effect of Aging to the Hardness of Aluminum Beverage Cans with Addition of Used Lubricant. *Technology Report of Kansai University, 62*(04), 1795–1799. Retrieved from <https://www.kansaiuniversityreports.com/volume/TRKU/62/04/effect-of-aging-to-the-hardness-of-aluminum-beverage-cans-with-addition-of-used-lubricant-5ed2bf0a333cb.pdf>

- Firdaus, M. S., Yani, I., & Arifin, A. (2020). Effect of Aging to the Hardness of Aluminum Beverage Cans with Addition of Used Lubricant, *62(04)*, 45–49.
- Geetha, B., & Ganesan, K. (2015). The Effects of Ageing Temperatur and time on Mechanical Properties of A356 Aluminium cast Alloy with red mud addition and Treated By T6 Heat Treatment. In *Materials Today* (Vol. 2, pp. 1200–1209). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2015.07.032>
- Gikunoo, E., Omotoso, O., & Oguocha, I. N. A. (2005). Effect of fly ash particles on the mechanical properties of aluminium casting alloy A535. *Materials Science and Technology*, *21(2)*, 143–152. <https://doi.org/10.1179/174328405X18601>
- Groover, M. P. (2010). *Fundamentals of Modern Manufacturing-Materials, Processes, and Systems* (Fourth). John Wiley & Sons, Inc.
- Hasani, S., Panjepour, M., & Shamanian, M. (2012). The Oxidation Mechanism of Pure Aluminum Powder. *Oxidation of Metals*, *78*, 179–195. <https://doi.org/10.1007/s11085-012-9299-1>
- Hossain A, & Kurny A S W. (2013). Effect of Ageing Temperatur on the Mechanical Properties of Al-6Si-0.5Mg Cast Alloys with Cu Additions Treated by T6 Heat Treatment. *Universal Journal of Materials Science*, *1(1)*, 1–5. <https://doi.org/10.13189/ujms.2013.010101>
- Hu, K., Lin, C., Xia, S., Zheng, C., & Lin, B. (2020). Effect of Fe content on low cycle fatigue behavior of squeeze cast Al-Zn-Mg-Cu alloys. *Materials Characterization*, *170*(September). <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2020.110680>
- Imam, M. F. I. A., Rahman, M. S., & Khan, M. Z. H. (2015). Influence of Heat Treatment on Fatigue and Fracture Behaviour of Aluminium Alloy. *Journal of Engineering Science and Technology*, *10(6)*, 730–742.
- Jang, J., Nam, D., Park, Y., & Park, I. (2013). Effect of solution treatment and artificial aging on microstructure and mechanical properties of Al – Cu alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, *23(3)*, 631–635. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(13\)62509-1](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(13)62509-1)
- Kadir Muhamad Irfan Ab, Mustapa Mohammad Sukri, Latif Noradila Abdul, & Mahdi Ahmed Sahib. (2017). Microstructural Analysis and Mechanical Properties of Direct Recycling Aluminium Chips AA6061/Al Powder Fabricated by Uniaxial Cold Compaction Technique. In *Procedia Engineering* (Vol. 184, pp. 687–694). Elsevier B.V.

<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.141>

Kanayo, K., Moyosore, T., & Apata, P. (2014). *Jornal of Materials REsearch and Technology*, 3(1), 9. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2013.10.008>

Karamouz Mostafa, Azarbarmas Mortaza, Emamy Masoud, & Alipour Mohammad. (2013). Microstructure, hardness and tensile properties of A380 aluminum alloy with and without Li additions. *Materials Science & Engineering A*, 582, 409–414. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2013.05.088>

Kilic, S., Kacar, I., Sahin, M., Ozturk, F., Erdem, O., & Industries, T. A. (2019). Effects of Aging Temperatur , Time , and Pre-Strain on Mechanical Properties of AA7075. *Materials Research*, 22(5), 1–8. <https://doi.org/DOI: http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2019-0006> Effects

Kinasoshvili, R. (1978). *Strength of Materials* (Second). Moscow: Mir Publishers.

Kobe Test Service, F. (n.d.). Test & Service Procedures. Retrieved from <https://en.kmtl.co.jp/service/tests>

Krautkramer. (2011). Aluminium strengthening with carbon ? Retrieved March 13, 2020, from <https://www.physicsforums.com/threads/aluminium-strengthening-with-carbon.539803/>

Kulkarni S G, Meghnani J V, & Lal Achchhe. (2014). Effect Of Fly Ash Hybrid Reinforcement On Mechanical Property And Density Of Aluminium 356 Alloy. In *Procedia Materials Science* (Vol. 5, pp. 746–754). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.324>

Kumar Mukesh, Baloch Muhammad Moazam, Abro Muhamma Ishaque, Memon Sikandar Ali, & Chandio Ali Dad. (2019). Effect of Artificial Aging Temperatur on Mechanical Properties of 6061 Aluminum Alloy. *Mehran University Research Journal of Engineering & Technology*, 38(1), 31–36. <https://doi.org/10.22581/muet1982.1901.03>

Lajis M A, Ahmad A, Yusuf N K, Azami A H, & Wagiman A. (2017). Mechanical properties of recycled aluminium chip reinforced with alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ) particle. *Mat.-Wiss. u. Werkstofftech*, 48, 306–310. <https://doi.org/10.1002/mawe.201600778>

Li, Y., Gao, G., Eang, Z., Di, H., Li, J., & Xu, G. (2018). Effects of the Mg / Si Ratio on Microstructure , Mechanical Properties , and Precipitation Behavior of Al–Mg–Si–1.0 wt %-Zn Alloys. *Materials*, 11(2591), 1–14. <https://doi.org/10.3390/ma11122591>

Liu, C., Liu, Y., Ma, L., & Yi, J. (2017). Effects of solution treatment on microstructure and high-cycle fatigue properties of 7075 aluminum alloy. *Metals*, 7(6).

<https://doi.org/10.3390/met7060193>

- Liu, Y., Ren, H., & Jiao, Q. J. (2017). Oxidation mechanism of micron-sized aluminum particles in Al-CO<sub>2</sub> gradually heating system. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/248/1/012002>
- M, H., Panjepour, M., & Shamanian, M. (2013). Non-Isothermal Kinetic Analysis of Oxidation of Pure Aluminum Powder Particles. *Oxid Met*, (09 August). <https://doi.org/10.1007/s11085-013-9413-z>
- Mahmood, N. Y., Zainulabdeen, A. A., Mohmmmed, J. H., & Oun, H. A. (2020). Effect of Cyclic Heat Treatment on Microstructure and Mechanical Properties of AA 6061-T6 Aluminum Alloy. *Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences*, 23(4), 383–387. <https://doi.org/10.29194/NJES.23040383>
- Maisonnette, D., Suery, M., Nelias, D., Chaudet, P., & Epicier, T. (2011). Effects of heat treatments on the microstructure and mechanical properties of a 6061 aluminium alloy. *Materials Science and Engineering A*, 528(6), 2718–2724. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2010.12.011>
- Mayer, H. (2006). Ultrasonic torsion and tension-compression fatigue testing: Measuring principles and investigations on 2024-T351 aluminium alloy. *International Journal of Fatigue*, 28(11), 1446–1455. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2005.05.020>
- Mulyadi, S., Basa, D., & Halawa, F. (2015). Karakterisasi Sifat Meknais Kaleng Minuman (Larutan Lasegar, Pocari Sweat dan Cocal Cola). In *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2015* (Vol. IV, pp. 183–186).
- Nicolaescu, I. V., Tardos, G., & Riman, R. E. (1994). Thermogravimetric Determination of Carbon, Nitrogen, and Oxygen in Aluminum Nitride. *Journal of the American Ceramic Society*, 77(9), 2265–2272. <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1994.tb04592.x>
- Nie, H., Schoenitz, M., & Dreizin, E. L. (2016). Initial stages of oxidation of aluminum powder in oxygen. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 125(1), 129–141. <https://doi.org/10.1007/s10973-016-5369-y>
- Nukman. (2008). The Decompositioning of Volatile-Matter of Tanjung Enim Coal by using Thermogravimetry Analyzer (TGA). *Makara Journal of Technology*, 12(2), 65–69. <https://doi.org/10.7454/mst.v12i2.509>
- Nukman, & Indo, R. (2017). Analisa Energi Aktivasi dan Identifikasi Dekomposisi Polimer

- dengan Menggunakan Alat Thermo Gravimetry Analyzer (TGA). *In Progress*, (x), 1–14.
- Nukman, & Irawan, D. (2019). Perbandingan Sifat Mekanik dari Sampel Hasil Peleburan Aluminium Kaleng Minuman Bekas yang Kaleng Minuman Aluminium yang Di Lebur Bakar Oli Bekas dan Mendapat Perlakuan Panas. *In Progress*, 1–12.
- Nukman, Saloma, Sahim, K., & Saleh, F. M. (2020). The Effect of Fine Coal in Tube Molds when Pouring Aluminum Alloy 6061 on Wear Rate and Hardness Value. *International Journal of GEOMATE*, 19(76), 48–53. <https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.21660/2020.76.58381>
- Nukman, Sipahutar, R., & Arief, T. (2015). Nilai kalori dari campuran minyak pelumas bekas dan kerosene. In *Seminar Nasional Added Value of Energy Resources (AVoER) Ke-7 Rabu, 21 Oktober 2015 di Kota Palembang, Indonesia* (pp. 164–167). Palembang: Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- Nukman, Sipahutar, R., Taufikurrahman, Asmadi, & Surya, I. (2018). Used Lubricating Oil as a Fuel for Smelting Waste Aluminium. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(10), 3412–3417. Retrieved from [http://www.arpnjournals.org/jeas/research\\_papers/rp\\_2018/jeas\\_0518\\_7080.pdf](http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2018/jeas_0518_7080.pdf)
- Nukman, Yani, I., Arifin, A., & Ms, F. (2018). Oxidation of Beverage cans in the Temperatur Range 400-610oC. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(24), 9741–9745. Retrieved from [http://www.arpnjournals.org/jeas/research\\_papers/rp\\_2018/jeas\\_1218\\_7514.pdf](http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2018/jeas_1218_7514.pdf)
- Nukman, Yani, I., & Mataram, A. (2015). Peleburan Skrap Aluminium pada Tungku Krusibel berbahan Bakar Batubara Hasil Proses Aglomerasi Air-Minyak Sawit. *Jurnal Mechanical*, 6(1), 6–14. <https://doi.org/10.23960/mech.v6.i1.201502>
- Ozturk, F., Sisman, A., Toros, S., Kilic, S., & Picu, R. C. (2010). Influence of aging treatment on mechanical properties of 6061 aluminum alloy. *Materials and Design*, 31, 972–975. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.08.017>
- Pramanik A. (2016). Effects of reinforcement on wear resistance of aluminum matrix composites. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26(2), 348–358. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(16\)64125-0](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(16)64125-0)
- Qian, W., Zhao, Y., Kai, X., Gao, X., Huang, L., & Miao, C. (2021). Characteristics of microstructural and mechanical evolution in 6111Al alloy containing Al<sub>3</sub>(Er,Zr)



- nanoprecipitates. *Materials Characterization*. Elsevier.  
<https://doi.org/10.1016/j.matchar.2021.111310>
- Rady, M. H., Mahdi, A. S., Mustapa, M. S., Shamsudin, S., Lajis, M. A., Msebawi, M. S., ... Alimi, S. Al. (2019a). Effect of Heat Treatment on Tensile Strength of Direct Recycled Aluminium Alloy ( AA6061 ). *Materials Science Forum*, 961, 80–87.  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.961.80>
- Rady, M. H., Mahdi, A. S., Mustapa, M. S., Shamsudin, S., Lajis, M. A., Msebawi, M. S., ... Alimi, S. Al. (2019b). Effect of heat treatment on tensile strength of direct recycled aluminium alloy (Aa6061). *Materials Science Forum*, 961 MSF(June), 80–87.  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.961.80>
- Razzaq, A. M., Majid, D. L., Ishak, M. R., & Basheer, U. M. (2017). Effect of fly ash addition on the physical and mechanical properties of AA6063 alloy reinforcement. *Metals*, 7(11), 1–15. <https://doi.org/10.3390/met7110477>
- Rehman, S., Akram, S., Kanellopoulos, A., Elmarakbi, A., & Karagiannidis, P. G. (2020). Development of new graphene\_epoxy nanocomposites and study of cure kinetics, thermal and mechanical properties. *Thermochimica Acta*, 694.
- Reis D A P, Cauto A A, Dominues Jr N I, Hirschmann A C O, Zepka Z, & Neto C Moura. (2012). Effect of Artificial Aging on the Mechanical Properties of an Aerospace Aluminum Alloy 2024. *Defect and Diffusion Forum*, 328, 193–198.  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/DDF.326-328.193>
- Rejaeian Morteza, Karamouz Mostafa, Emamy Masoud, & Hajizamani Mohsen. (2015). Effects of Be additions on microstructure, hardness and tensile properties of A380 aluminum alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 25(11), 3539–3545.  
[https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(15\)63951-6](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(15)63951-6)
- Remøe Magnus S, Marthinsen Knut, Westermann Ida, Pedersen Ketill, Røyset Jostein, & Matoria Calin. (2017). The effect of alloying elements on the ductility of Al-Mg-Si alloys. *Materials Science & Engineering A*, 693(January), 60–72.  
<https://doi.org/10.1016/j.msea.2017.03.078>
- Sarada, B. N., Murthy, P. L. S., & Ramani, S. (2016). Effect of Quenching Media on The Mechanical Properties of Al 6061-TiO<sub>2</sub> Metal Matrix Composite, 3(5), 33–41.
- Schlesinger, M. E. (2007a). *Aluminum Recycling*. (Gregory M. Gelles, Ed.). Taylor & Francis

Group, LLC.

Schlesinger, M. E. (2007b). *Aluminum Recycling*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group.

Schmitz, C. (2014). *Handbook of Aluminium Recycling* (second). Essen: Vulkan-Verlag GmbH.

Schoenitz, M., Patel, B., Agboh, O., & Dreizin, E. L. (2010). Oxidation of aluminum powders at high heating rates. *Thermochimica Acta*, 507–508(10 August), 115–122. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2010.05.010>

Sharma Pardeep, Khanduja Dinesh, & Sharma Satpal. (2016). Dry sliding wear investigation of Al6082/Gr metal matrix composites by response surface methodology. *Journal of Materials Research and Technology*, 5(1), 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2015.05.001>

Sharma, V. K., Singh, R. C., & Chaudhary, R. (2017). Effect of flyash particles with aluminium melt on the wear of aluminium metal matrix composites. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 20(4), 1318–1323. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2017.08.004>

Singh, K., & Kashyap, B. P. (2022). Effects of Remelting on Variations in Composition, Microstructure, and Hardness Property of Binary Al-Si Alloys. *Journal of Materials Engineering and Performance*, (September), 1–6. <https://doi.org/10.1007/s11665-022-07323-0>

Smallman, R. E., & Bishop, R. J. (1999). *Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering* (Sixth). Oxford: Butterworth-Heinemann.

Smeltzer, W. W. (1956). Oxidation of Aluminum in the Temperatur Range 400o-600oC. *Journal of the Elctrochemical Society*, 103(4), 209–214. <https://doi.org/10.1149/1.2430279>

Smith, W. F. (2004). *Foundations of Materials Science and Engineering* (Third). New York: Mc Graw Hill.

Soares, T. J. A., & Espinosa, C. R. E. (2003). Recycling of Aluminum. In G. E. Totten & D. S. MacKenzie (Eds.), *Handbook of Aluminum Volume 2 Alloy Production and Materials Manufacturing* (1st ed., pp. 116–153). New York: Marcel Dekker, Inc. Retrieved from <http://www.dekker.com>

- Soltani, M., Seifoddini, A., Hasani, S., & Shahreza, P. R. (2020). Non - isothermal kinetic analysis of the oxidation of Al – 50Mg powder mixture. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, (0123456789). <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11144-020-01845-1> Non-isothermal
- Speight, J. G. (2005). *Handbook Of Coal Analysis*. (J. D. Winefordner, Ed.). New Jersey: John Wiley & Sons.
- Stojanovic, B., Bukvic, M., & Epler, I. (2018). Application of aluminum and aluminum alloys in engineering. *Applied Engineering Letters*, 3(2), 52–62.
- Tafti, M. F., Sedighi, M., & Hashemi, R. (2018). Effects of Natural Aging Treatment on Mechanical , Microstructural and Forming Properties of Al 2024 Aluminum Alloy Sheets. *Iranian Journal of Materials Science and Engineering*, 15(2), 55–64. <https://doi.org/10.22068/ijmse.15.4.1>
- Tan, C. F., & Said, M. R. (2009). Effect of Hardness Test on Precipitation Hardening Aluminium Alloy 6061-T6. *Chiang Mai Journal of Science*, 36(3), 276–286. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/242515882\\_Effect\\_of\\_Hardness\\_Test\\_on\\_Precipitation\\_Hardening\\_Aluminium\\_Alloy\\_6061-T6](https://www.researchgate.net/publication/242515882_Effect_of_Hardness_Test_on_Precipitation_Hardening_Aluminium_Alloy_6061-T6)
- Tanner H, Mirea D, Pu T, & Knowles A. (2018a). *Influence of Ageing Time on the Mechanical Behaviour of Aluminium Alloy 6082 Sampels*. Bristol. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/323390946%0AInfluence>
- Tanner H, Mirea D, Pu T, & Knowles A. (2018b). *Influence of Ageing Time on the Mechanical Behaviour of Aluminium Alloy 6082 Sampels*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33983.20648>
- Trunov, M. A., Schoenitz, M., & Dreizin, E. L. (2006). Effect of polymorphic phase transformations in alumina layer on ignition of aluminium particles. *Combustion Theory and Modelling*, 10(4), 603–623. <https://doi.org/10.1080/13647830600578506>
- Vandersluis, E., & Ravindran, C. (2020). Effects of solution heat treatment time on the as-quenched microstructure, hardness and electrical conductivity of B319 aluminum alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 838. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.155577>
- Wagiman, A., Mustapa, M. S., Asmawi, R., Shamsudin, S., & Lajis, M. A. (2019). A review on direct hot extrusion technique in recycling of aluminium chips. *The International*

*Journal of Advanced Manufacturing Technology*, (106), 641–653.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00170-019-04629-7>

William D. Callister, J., & Rethwisch, D. G. (2009). *Materials Science and Engineering* (8th ed.). John Wiley and Sons, Inc.

Xu, L., Yu, X., Hui, L., & Zhou, S. (2017). Fatigue life prediction of aviation aluminium alloy based on quantitative pre-corrosion damage analysis. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 27. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(17\)60156-0](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(17)60156-0)

XU Liang, YU Xiang, HUI Li, & ZHOU Song. (2017). Fatigue life prediction of aviation aluminium alloy based on quantitative pre-corrosion damage analysis. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 27(6), 1353–1362. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(17\)60156-0](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(17)60156-0)

Zhang, D. L., Zheng, L. H., & StJohn, D. H. (2002). Effect of a short solution treatment time on microstructure and mechanical properties of modified Al – 7wt .% Si – 0 . 3wt .% Mg alloy. *Journal of Light Metals*, 2, 27–36.

Zhorin, V. A., Kiselev, M. R., & Roldugin, V. I. (2013). ., *Russian Journal of Applied Chemistry*, 86(1), 15–19. <https://doi.org/10.1134/S1070427213010047>

Žihálová M, & Bolibruchová D. (2014). Influence of Iron in AlSi10MgMn Alloy. *Archives of Foundry Engineering*, 14(4), 109–112. <https://doi.org/10.2478/afe-2014-0095>

Zolotarevsky, V. S., Belov, N. A., & Glazooff, M. V. (2007). *Casting Aluminum Alloys* (First). Elsevier.

Zumdahl Steven S. (n.d.). Carbide (pp. 2–5). Encyclopaedia Britannica, Inc. Retrieved from <https://www.britannica.com/science/carbide>.