

**PENGARUH VARIASI PENGUAT PADA KOMPOSIT SANDWICH -
BERBASIS ALUMINIUM 7075 DENGAN METODE
*ACCUMULATIVE ROLL BONDING***

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari
Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Oleh:

ADAM ANDI NUGROHO

3334160066

**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI PENGUAT PADA KOMPOSIT *SANWIDCH* BERBASIS ALUMINIUM 7075 DENGAN METODE *ACCUMULATIVE ROLL BONDING*

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

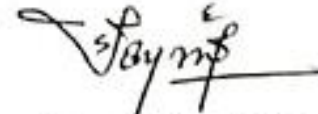
Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh :

Pembimbing I



Prof. Ir., Agus Pramono S.T., M.T., Ph.D
NIP. 197608182008011012

Pembimbing II



Suryana ST., M.Si
NIP. 197402162001122001

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH VARIASI PENGUAT PADA KOMPOSIT *SANDWICH* BERBASIS ALUMINIUM 7075 DENGAN METODE *ACCUMULATIVE ROLL BONDING*

SKRIPSI

Disusun dan diajukan oleh

Adam Andi Nugroho

3334160066

Telah disidangkan didepan dewan penguji pada tanggal:

6 Juli 2023

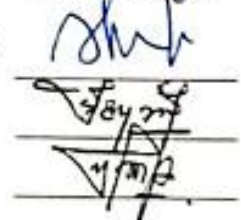
Susunan Dewan Penguji

Penguji I (Ketua Sidang) : Prof. Ir., Agus Pramono S.T., M.T. Ph.D.

Penguji II : Suryana S.T., M.Si.

Penguji III : Yeni Muriam Zulaida, S.T., M.T.

Tanda Tangan



Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Metalurgi



Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D.
NIP : 198003072005011002

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi Berikut:

Judul : Pengaruh Variasi Penguat pada Pembuatan Komposit *Sandwich*
berbasis Aluminium 7075 dengan Metode *Accumulative Roll*
Bonding

Nama : Adam Andi Nugroho

NIM : 3334160066

Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila di kemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, Juni 2023



Adam Andi Nugroho
NPM : 3334160066

ABSTRAK

Aluminium merupakan salah satu logam pilihan yang menarik bagi dunia Industri Alutsista (Alat Utama Sistem Senjata) karena sifatnya yang ringan, mempunyai ketahanan korosi serta konduktivitas panas dan listrik yang baik. *Aluminium Matrix Composites* (AMCs) merupakan jenis komposit dengan aluminium sebagai matriksnya dan keramik sebagai penguatnya biasa digunakan *Silicon Carbide* (SiC) dan *Aluminium Oxide* (Al_2O_3), *Aluminium Alloy AA7075* digunakan sebagai matriks komposit dengan dilakukan proses *Severe Plastic Deformation* (SPD). Salah satu metode SPD adalah *Accumulative Roll Bonding* (ARB) dimana dua lembaran pelat di *rolling* sehingga menghasilkan butiran (*Ultra Fine Grain*) yang dapat meningkatkan kekuatannya. ARB merupakan proses SPD yang paling banyak dilakukan sebagai proses manufaktur komposit karena dapat meningkatkan kekuatan yang signifikan dengan proses yang sederhana serta produktivitasnya yang tinggi sehingga dapat dikomersilkan. Komposit aluminium ini tersusun dari pelat AA 7075 sebagai matriksnya dan sebruk Al_2O_3 , SiC, serta *hybrid* ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiC}$) sebagai penguatnya. Komposit dibuat berdasarkan metode ARB dengan siklus pengerolan sebanyak 1, 2, dan 3 siklus. Karakterisasi yang dilakukan berupa pengujian tarik, kekerasan, dan metalografi. Hasil pengujian tarik, kekerasan dan metalografi menunjukkan bahwa komposit dengan penguat SiC (2 Siklus pengerolan) memiliki nilai kuat tarik dan kekerasan tinggi sebesar 464,32 MPa dan 161,45 HV, hal ini disebabkan adanya fenomena *missing line*.

Kata Kunci : *Mechanical Properties, Hybrid, Composite, UFG (Ultra Fine Grain)*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas segala limpahan kebaikan dan kemurahan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal Skripsi ini yang merupakan salah satu syarat kelulusan sebagai sarjana teknik metalurgi di Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D selaku ketua jurusan Teknik Metalurgi.
2. Bapak Prof. Ir. Agus Pramono S.T.,M.T. Ph.D .dan Bapak Suryana S.T., M.Si. selaku pembimbing pertama dan kedua yang membimbing penulis dalam penelitian hingga penyelesaian skripsi ini.
3. Seluruh staf dan karyawan dan semua pihak instansi yang terkait dan berpartisipasi dengan penelitian ini.
4. Orang Tua, Keluarga, Saudara/saudari, abang/teteh, dan teman – teman atas doa, partisipasi, dan dukungannya.

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih terdapat kekurangan, sehingga kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak diharapkan. Penulis berharap agar proposal skripsi ini bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi pembaca pada umumnya.

Cilegon, Juni 2023

Adam Andi Nugroho

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Rumusan Masalah.....	4
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Hipotesis	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Komposit Matriks Logam	7
2.2 Aluminium	10
2.3 <i>Anneling</i>	12
2.4 <i>Severe Plastic Deformation</i> (SPD)	13
2.4.1 <i>Accumulative Roll Bonding</i> (ARB)	15
2.5 Pengujian Merusak	19
2.6 Pengamatan Metalografi	22
2.7 Tegangan dan Regangan.....	24
BAB III METODE PENELITIAN	29
3.1 Diagram alir Penelitian	29
3.2 Alat dan Bahan	30

3.2.1 Alat-alat	30
3.2.2 Bahan-bahan	31
3.3 Prosedur Penelitian	32
3.3.1 Prosedur Preparasi Sampel	32
3.3.2 Proses Forging	33
3.3.3 Proses <i>Accumulative Roll Bonding</i> (ARB)	34
3.3.4 Pengamatan Metalografi	35
3.3.5 Pengujian Tarik	37
3.3.6 Pengujian Kekerasan (<i>Vickers</i>)	38
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Hasil Penelitian	41
4.2 Pembahasan	42
4.2.1 Pengaruh Penguat Terhadap Kuat Tarik	42
4.2.2 Pengaruh Penguat Terhadap Nilai Kekerasan	44
4.2.4 Pengaruh Penguat Terhadap Struktur Mikro	48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	55
4.1 Kesimpulan	55
4.2 Saran	56
DAFTAR PUSAKA	58
LAMPIRAN.....	62
Lampiran A Contoh Perhitungan	62
Lampiran B Data Penelitian	65
Lampiran C Gambar Alat dan Bahan	78

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Klasifikasi Aluminium dan Paduan Utamanya	11
Tabel 2.2 Komposisi Kimia Aluminium 7075	11
Tabel 2.3 Nilai Sifat Mekanik Aluminium AA 7075	12
Tabel 2.4 Sifat Aluminium AA 7075/ANF Proses ARB	19
Tabel 4.1 Hasil Uji Tarik dan Kekerasan	40
Tabel 4.2 Nilai Kekerasan Komposit AA 7075 setelah proses ARB	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Skema Struktur Komposit Al_2O_3	8
Gambar 2.2 Diagram Biner Aluminium	13
Gambar 2.3 Skema Ilustrasi Proses ARB	16
Gambar 2.4 Hasil Pengujian Sifat Mekanik Al-SiC	17
Gambar 2.5 Perbandingan Reinforced Terhadap Sifat Mekanik.....	18
Gambar 2.6 Hasil Uji Tarik Al- Al_2O_3	18
Gambar 2.7 Alat-Alat Untuk Pengujian Tidak Merusak.....	20
Gambar 2.8 Alat-Alat Untuk Pengujian Merusak	21
Gambar 2.9 Alat dan Bahan Yang Dibutuhkan Dalam Proses Metalografi	22
Gambar 2.10 Hasil Metalografi Aliminium 7075 Belum Diproses Mekanik ..	24
Gambar 2.11 Grafik Tegangan dan Regangan	25
Gambar 2.12 Hasil Uji tarik dalam mencari nilai Modulus Young.....	27
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	31
Gambar 3.2 Proses Preparasi Material	33
Gambar 3.3 Mesin <i>Forging</i>	35
Gambar 3.4 Skema Ilustrasi Proses ARB	36
Gambar 3.5 Mikroskop.....	37
Gambar 3.6 Standar Sampel Untuk Uji Tarik ASTM E8`	38
Gambar 3.7 Mesin Uji Tarik.....	39
Gambar 3.8 Mesin Uji Kekerasan <i>Vickers</i>	40
Gambar 4.1 Kurva Stress Strain Variasi 1 Siklus.....	43
Gambar 4.3 Grafik Perbadningan UTS dan Kekerasan 1 Siklus.....	48
Gambar 4.4 Morfologi 1 Siklus Al_2O_3	50
Gambar 4.5 Morfologi 1 Siklus SiC	50
Gambar 4.6 Morfologi 1 Siklus Hybrid.....	51
Gambar 4.7 Morfologi 2 Siklus Al_2O_3	52
Gambar 4.8 Morfologi 3 Siklus Al_2O_3	53

Gambar 4.9 Komparasi <i>Interface</i> Komposit.....	54
Gambar B.1 Hasil Uji Kekerasan Al ₂ , Kiri <i>Surface</i> dan kanan <i>Cross Sect</i>	67
Gambar B.2 Hasil Uji Kekerasan SiC ₂ , Kiri <i>Surface</i> dan kanan <i>Cross Sect</i>	69
Gambar B.3 Hasil Uji Kekerasan HB ₂ , Kiri <i>Surface</i> dan kanan <i>Cross Sect</i>	69
Gambar B.4 Hasil Uji Kekerasan R _{2A} , Kiri <i>Surface</i> dan kanan <i>Cross Sect</i>	70
Gambar B.5 Hasil Uji Kekerasan R _{2B} , Kiri <i>Surface</i> dan kanan <i>Cross Sect</i>	71
Gambar B.6 Hasil Uji Kekerasan R _{2C} , Kiri <i>Surface</i> dan kanan <i>Cross Sect</i>	72
Gambar B.7 Hasil Uji Kekerasan R _{3A} , Kiri <i>Surface</i> dan kanan <i>Cross Sect</i>	73
Gambar B.8 Hasil Uji Kekerasan R _{3B} , Kiri <i>Surface</i> dan kanan <i>Cross Sect</i>	74
Gambar B.9 Hasil Uji Kekerasan R _{3C} , Kiri <i>Surface</i> dan kanan <i>Cross Sect</i>	75
Gambar B.10 Data Uji Tarik material AL ₂ , SiC ₂ , dan HB ₂	76
Gambar B.11 Data Uji Tarik material R _{2A} , R _{2B} , dan R _{2C}	77
Gambar B.11 Data Uji Tarik material R _{3A} , R _{3B} , dan R _{3C}	78
Gambar C.1 Gelas Ukur	80
Gambar C.2 Gergaji Besi	80
Gambar C.3 Gerinda.....	81
Gambar C.4 Kain Majun	81
Gambar C.5 Mesin Bor	82
Gambar C.6 Mesin Canai (<i>Rolling</i>).....	82
Gambar C.7 Mesin Poles.....	83
Gambar C.8 Mesin Potong	83
Gambar C.9 Mesin Uji Kekerasan	84
Gambar C.10 Mesin Uji Tarik.....	84
Gambar C.11 Mikroskop	85
Gambar C.12 Jangka Sorong.....	85
Gambar C.13 <i>Muffle Furnace</i>	85
Gambar C.14 Neraca	86
Gambar C.15 Pengering	86
Gambar C.16 Penjepit	87

Gambar C.17 Ragum.....	87
Gambar C.18 Sarung Tangan	88
Gambar C.19 Sikat Kawat	88
Gambar C.20 Spidol.....	89
Gambar C.21 Wadah Kaca/Plastik.....	89
Gambar C.22 Amplas	90
Gambar C.23 Aquades	90
Gambar C.24 Cairan Pembersih / Aseton	91
Gambar C.25 Hardener dan Resin	91
Gambar C.26 Kawat Tembaga	92
Gambar C.27 Larutan Etsa	92
Gambar C.28 Pasta Alumina	93
Gambar C.29 Pelat Alumunium Seri 7075 1 mm	93
Gambar C.30 Pipa PVC.....	94
Gambar C.31 Serbuk SiC	94
Gambar C.32 Serbuk Al ₂ O ₃	95

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ilmu pengetahuan dan teknologi dewasa ini mengalami perkembangan yang sangat pesat, tidak terkecuali pengetahuan dan teknologi yang digunakan untuk menghasilkan material berkualitas tinggi, contohnya adalah perkembangan teknologi material komposit. Material komposit banyak diaplikasikan untuk teknologi kemiliteran dan penerbangan, dengan seiring meningkatnya kebutuhan akan material yang semakin ringan namun dengan sifat mekanik yang unik [1]. Pada aplikasi kemiliteran dan penerbangan, material komposit yang digunakan merupakan material komposit dengan matriks logam, dan logam yang dipakai yaitu aluminium, hal ini dikarenakan logam aluminium dan paduannya sendiri merupakan logam yang memiliki densitas dan koefisien ekspansi yang rendah, ketahanan korosi yang baik, serta memungkinkan banyaknya variasi penguat yang dapat digunakan pada matrik aluminium. Namun kebanyakan dari kendaraan militer masih menggunakan material baja sebagai badan dari kendaraan, yang dimana efeknya akan mengurangi kecepatan mobilitas dan efisiensi bahan bakar yang rendah, karena material baja yang memiliki densitas yang besar yaitu $7,8 \text{ g/cm}^3$.

Dalam dunia militer nasional, baja digunakan sebagai bahan baku kendaraan

lapis baja, salah satunya adalah Panzer Anoa milik TNI AD dengan bahan utama BS EN 10025-4 S355 *Hot Rolled Steel*. Material ini memiliki kekerasan yang berkisar antara 146-187 HB, kuat tarik sebesar 470 MPa dan kuat lulus sebesar 355 MPa, dan densitas sebesar $7,85 \text{ g/cm}^3$ [2]. Nilai ini menghasilkan material yang memiliki kekuatan tangguh serta berat yang cenderung tinggi yang akan berdampak kepada konsumsi bahan bakar yang meningkat. Di lain sisi, diketahui bahwa saat ini tengah dilakukan penelitian mengenai Aluminium AA 7075 (densitas $2,81 \text{ g/cm}^3$) dalam upaya meningkatkan sifat mekanik material. Pengembangan teknologi manufaktur material komposit melalui metode *Severe Plastic Deformation* (SPD) dengan matriks logam ringan menurut beberapa penelitian dapat meningkatkan sifat mekanik material Aluminium dengan metode pembentukan komposit. Salah satu metode SPD yang biasa digunakan adalah metode *Accumulative Roll Bonding* (ARB). Metode ini akan membentuk *ultrafined grained* (UFG) atau butir ultra-halus pada mikrostrukturnya sehingga sifat mekanik material meningkat. komposit dengan metode ARB ini memiliki banyak keuntungan antara lain seperti; rendah biaya, laju produksi yang tinggi, dan jumlah produksi dari material yang tidak terbatas [3].

Pada manufaktur material komposit faktor lain yang dapat mempengaruhi nilai mekanik dari suatu material adalah pemilihan jenis penguat (*reinforce*) yang digunakan, pemilihan jenis penguat sendiri akan mempengaruhi sifat hasil spesimen yang dihasilkan dengan metode ARB. Jenis penguat yang biasa digunakan dalam manufaktur komposit matriks aluminium antara lain Al_2O_3 , SiC, ZrO_2 , WC, dan B_4C , masing-masing dari jenis penguat sendiri memiliki hasil yang berbeda-beda terhadap

sifat mekanik dari spesimen. Berdasarkan penelitian yang dilakukan dengan penambahan alumina (Al_2O_3) pada komposit aluminium menghasilkan garis *interphase rest* sehingga sifat mekanik yang dihasilkan meningkat meskipun tidak terlalu signifikan, begitu juga dengan penambahan *Silicone Carbide* (SiC) pada komposit aluminium dapat meningkatkan kekerasan karena adanya distribusi partikel SiC yang seragam sehingga dapat mengurangi porositas yang terjadi di daerah *interface* [3]. Pada penelitian lainnya dengan jenis penguat SiC material komposit yang dihasilkan mengalami peningkatan nilai UTS dari 57 MPa menjadi 254 MPa, hal ini dapat terjadi karena terdistribusinya partikel SiC secara homogen pada matriks komposit, sehingga antarmuka partikel dengan matriks mengalami ikatan (Adel, 2018). Sedangkan dengan jenis penguat Al_2O_3 nilai UTS yang dihasilkan mengalami peningkatan dari 57,6 MPa menjadi 256 MPa [4]. Maka dari itu penelitian ini perlu dilakukan guna untuk dapat mengetahui pengaruh dari masing-masing jenis penguat terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada manufaktur komposit yang bermatriks aluminium dengan metode *accumulative roll bonding* (ARB).

Melalui penggunaan teknologi dengan *novelty* yang tinggi (SPD), diharapkan dari penelitian ini dapat membuktikan bahwa rekayasa material komposit Aluminium AA 7075 dapat menggantikan baja BS EN 10025 dalam lingkup sifat mekanik yang serupa namun dengan berat yang lebih ringan melalui menggunakan metode *Accumulative Roll Bonding* (ARB) dan pengaruh berbagai macam jenis penguat/*reinforce* (Al_2O_3 ; SiC; dan *Hybrid*) terhadap sifat mekanis dan morfologi struktur dari material komposit Aluminium.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuktikan bahwa proses dengan metode *accumulative roll bonding* (ARB) mampu meningkatkan sifat mekanik dari suatu material Komposit. Adapun tujuan khusus dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh jenis penguat pada pembuatan komposit matriks aluminium AA 7075 terhadap sifat mekanik pada material Komposit Aluminium 7075 dengan metode *accumulative roll bonding* (ARB)
2. Mengetahui pengaruh dari jumlah siklus pengerolan aluminium pada pembuatan komposit matrik aluminium AA 7075 terhadap sifat mekanik pada material Komposit Aluminium 7075 dengan metode *accumulative roll bonding* (ARB).
3. Mengetahui pengaruh dari reinforced Al_2O_3 , SiC, dan *Hybrid* terhadap sifat mekanik pada material Komposit Aluminium 7075 dengan metode *accumulative roll bonding* (ARB)

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana pengaruh jenis *reinforced* Al_2O_3 , SiC, dan Hybrid terhadap sifat mekanik komposit aluminium AA 7075. Lalu Berapa jumlah siklus *rolling* pada pelat aluminium 7075 yang optimal pada pembuatan

komposit matriks pelat aluminum AA 7075.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini terdapat variabel bebas, terikat, dan kontrol. Pada variabel bebas penelitian ini meliputi *Reinforce* dan juga Siklus *Rolling*. Sementara itu pada variabel terikat yang merupakan hal yang bersifat dipengaruhi dan berupa keluaran atau *output* yang berupa Kemampuan meningkat antar permukaan dan juga nilai kekerasan dan kekuatan yang meningkat. Variabel kontrol pada percobaan ini adalah material yang tidak diproses dengan metode ARB.

1.5 Hipotesis

Hipotesis sendiri merupakan proposisi atau dugaan yang belum terbukti. Pada penelitian ini terdapat hipotesis. Material dengan reinforced Al_2O_3 , SiC, dan Hybrid akan memiliki kekuatan dan kekerasan lebih meningkat dibandingkan dengan tidak diproses dengan metode ini. Material pelat aluminium 7075 dapat terbentuk ikatan bonding antara kedua permukaannya.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan skripsi ini terdiri dari lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan, pada bab ini menjelaskan latar belakang penelitian mengapa manufaktur komposit dengan metode *Severe Plastic Deformation* dapat digunakan untuk meningkatkan nilai mekanis aluminium. Identifikasi masalah yang terdiri dari variasi jenis reinforce dan jumlah siklus rolling yang digunakan. Pada bab I ini juga menjelaskan tujuan penelitian dari dilakukannya variasi jenis reinforce dan jumlah siklus *rolling* yang digunakan. Batasan masalah penelitian terdiri dari bahan baku yang digunakan, variabel tetap dan variabel bebas yang digunakan, serta sistematika penulisan penelitian.

Bab II Tinjauan Pustaka, pada bab ini menjelaskan teori-teori penunjang dalam penelitian ini. Diantaranya meliputi Komposit matriks logam, aluminium, aneling, dan (*Severe Plastic Deformation*) SPD.

Bab III Metode Penelitian, pada bab ini menjelaskan tentang metode yang digunakan untuk penelitian dan diagram alir penelitian, bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian, serta prosedur penelitian.

Bab IV Hasil dan Pembahasan, pada bab ini menjelaskan tentang hasil dari penelitian dan pembahasan mengenai pengaruh variasi penguat pada pembuatan komposit sandwich berbasis aluminium 7075 dengan metode *accumulative roll bonding*.

Bab V Kesimpulan dan Saran, pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan penelitian ini dan saran untuk penelitian yang menunjang penelitian selanjutnya. Selain itu terdapat daftar pustaka yang terdiri dari buku, jurnal, dan halaman web yang digunakan sebagai referensi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pramono, A. (2008). Komposit Sebagai Trend Teknologi Masa Depan. *Untirta. Cilegon*.

- [2] Adel, Shehata., Samy,J., Ahmed, M.,(2018), *Optimization of EDM process parameters for Al-SiC reinforced metal matrix composite, International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR) ISSN: 2321-0869 (O) 2454-4698 (P) Volume-8, Issue-2.*

- [3] Pramono. A (2015), *perlakuan panas paduan aluminium berbutir halus ultrafine grained hasil teknologi severe plastic deformation*, TEKNIKA Jurnal Sains dan Teknologi, vol 14 No 02.

- [4] Rezayat, M, (2012), *Fabrication of aluminium matrix composites reinforced by submicrometre and nanosize Al_2O_3 via accumulative roll bonding*. Material science and technolog, vol 03 No.11, halaman 1233.

- [5] Diana L., Safitra A. G., Nabel M., Ariansyah A, (2020), Kekuatan Tarik pada Material Komposit dengan Serat Penguat Polimer, Jurnal Engine (Energi, Manufaktur, dan Material) Vol 4, No 2

- [6] Sayuti M., Alhajji M., Sulaiman S., (2020), Mechanical Properties and Morphological Analysis of Copper Filled Aluminum Alloy Hybrid Matrix Composite J. Eng. Technol. Sci., Vol.52, No. 6, 2020, 855-86
- [7] Casati, R., (2016) Microstructural and Mechanical Properties of Al-Based Composites Reinforced with In-Situ and Ex-Situ Al₂O₃ Nanoparticles, Journal of Alloys and Compounds. No.162, 676-895.
- [8] J., Roch, (1990), *ASM Handbook*, ASM International, USA
- [9] Trihutomo, (2014), Pengaruh Proses Annealing Pada Hasil Pengelasan Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon Rendah, Jurnal Teknik Mesin, Volume 22 No 1
- [10] Alhamidi, Ali (2021), Perilaku Material Logam Hasil Proses *Severe Plastic Deformation* (SPD) dan Aplikasinya, Untirta press; Cilegon
- [11] Faraji G., Kim Hyoungh S., (2018) *Severe Plastic Deformation, Methods, Processing and Properties Book*.
- [12] Wagih, A. Fathy, D. Ibrahim, O. Elkady, M. Hassan, (2018) *Experimental investigation on strengthening mechanisms in Al-SiC nanocomposites and*

3D FE simulation of Vickers indentation, Journal of Alloys and Compounds, Volume 752 Pages 137-147, ISSN 0925-8388,

- [13] Firmansyah, 2020, prosedur metalografi, Detech, Tangerang
<https://www.detch.co.id/uji-metalografi/>

- [14] Manurung, V.A.T., Wibowo, Y.T.J., dan Baskoro, S.Y. (2020). Panduan Metalografi. Jakarta: LP2M Politeknik Manufaktur Astra. hlm. 22. ISBN 978-602-71320-9-2.)

- [15] Databasemetallographic,
2021.<https://database.metallographic.com/paccetch ant.php> diakses pada 16 Februari 2022 pukul 14:11.

- [16] Arbi, Muhammad H., 2014, "Hubungan Antara Tegangan-regangan (Stress - Strain Relationships) Pada Beton." Lentera: Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi, vol. 14.

- [17] ASTM B2029/B20M-21, 2021. *Standar Specification for Aluminium and Aluminium-Alloy Sheet and Plate ASTM international Handbook.*

- [18] Pramono,, Kolloa. L., dan v.Renno, Veinthala, 2016. “Hot and cold regions during *accumulative roll bonding* of Al/Al₂O₃ nanofibre composites” Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Vol 65, No. 2, Halaman 132–137.
- [19] Solihin S., Mabururi E., Gede, Putrayasa, (2011) Penguatan Tembaga Murni Dengan Teknik *Equal Channel Angular Pressing*, Jurnal Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI, Vol 26, No 3.
- [20] Pramono, A., Zulfia, A., Alhamidi, A.,Alfirano, Suryana, Milandia, A.,(2016) *Characteristics of aluminum-based composites reinforced of Al₂O₃/B₄C by accumulative roll bonding (ARB)*. TEKNIKA Jurnal Sains dan Teknologi, vol 17 No 02.
- [21] Ibrahim, I.A., Mohamed, F.A. dan Lavernia, E.J. (1991) Particulate Reinforced Metal Matrix Composites. *Journal of Materials Science*, 26, halaman 1137-1156.
- [22] Hurtomo, Tri, Abdul Rozzaq, (2014), Studi Pengaruh Perlakuan Panas Pada Hasil Pengelasan Baja St 60 Ditinjau dari Kekuatan Tarik Bahan, Kekerasan, Dan Struktur Mikro, Skripsi Jurusan Teknik Mesin - Fakultas Teknik UM, Jakarta

- [23] Mabururi, Efendi, (2012) Aplikasi Severe Plastic Deformation (SPD) dan Heavy Cold Rolling Pada Baja Tahan Karat Austenitik 316L, Jurnal Pusat penelitian Metalurgi dan material LIPI, Vol 27, No 1, Jakarta.
- [24] ASTM E 111, 2020, Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus, ASTM international Handbook.
- [25] Pilar, Hidalgo, anez, Oscar, 2018, *Accumulative Roll Bonding of 7075 Aluminium Alloy at High Temperature*, Materials Science Forum, volume 638-642, pages 1929 - 1933