

---

## PENGARUH VARIASI SUHU AGING TERHADAP DENSITAS DAN KEKERASAN PADA PADUAN CuAlZn DENGAN METODE METALURGI SERBUK

<sup>1</sup>Suryo Abadi, <sup>2</sup>Budiarto <sup>3</sup>Gusti Chandra

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, FT, Universitas Kristen Indonesia  
[suryo.abadi@uki.ac.id](mailto:suryo.abadi@uki.ac.id)

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Mesin, FT, Universitas Kristen Indonesia  
[budidamaz@gmail.com](mailto:budidamaz@gmail.com)

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Mesin, FT, Universitas Kristen Indonesia  
[gusti.chandra.gc@gmail.com](mailto:gusti.chandra.gc@gmail.com)

### Abstrak

Penelitian ini memiliki tujuan untuk menggunakan Teknologi Metalurgi Serbuk dalam produksi komposit matriks logam CuAlZn. Proses tersebut melibatkan kompaksi serbuk dengan tekanan 10 Metric Ton dengan waktu tahan selama 5 menit dan sintering pada variasi suhu tertentu. Metode eksperimen yang digunakan adalah desain "one-shot case study" di mana variasi suhu *Aging* diamati terkait dengan struktur kristal, kekerasan, dan uji Tarik paduan CuAlZn. Setelah proses *Aging* pada variasi suhu 300°C Selama 30 Menit, kekerasan material mengalami penurunan dari 63 HB menjadi 47 HB, namun perubahan tersebut tidak signifikan setelah proses *Aging*. Ukuran kristal mengecil setelah proses *Aging* pada variasi suhu 300°C dengan waktu 30 menit, yaitu dari 0,633 nm menjadi 0,533 nm. Nilai kerapatan dislokasi meningkat setelah proses *Aging* pada variasi suhu 300°C dengan waktu 30 menit, dari 8,625 garis/mm<sup>2</sup> menjadi 6,056 garis/mm<sup>2</sup>. Selain itu, terjadi peningkatan regangan mikro setelah proses *Aging* pada variasi suhu 300°C selama 30 menit, yaitu dari 0,196  $\epsilon$  menjadi 0,214  $\epsilon$ .

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk menggunakan variasi media quenching yang berbeda, temperatur *Sintering* dan *Aging* yang lebih tinggi, serta waktu penahanan yang lebih lama guna mendapatkan informasi yang lebih akurat mengenai perubahan struktur kristal, kerapatan dislokasi, regangan mikro, dan kekerasan materi.

**Kata Kunci:** Tembaga, Aluminium, Seng, *Sintering*; *Aging*; Uji kekerasan, Uji Kekuatan Tarik, Struktur kristal.

## 1. PENDAHULUAN

Suatu jenis teknik pemrosesan logam yang dikenal sebagai metalurgi serbuk, atau hanya metalurgi serbuk, telah mengalami banyak kemajuan dan aplikasi dalam industri industri dalam beberapa tahun terakhir. Komponen logam besi dan non-besi sering dibuat menggunakan proses ini. Serbuk logam ini diproduksi menggunakan teknik fabrikasi mekanik, atomisasi, dan proses kimia.

Serbuk bahan murni atau paduan dalam jumlah tertentu sering digunakan dalam proses metalurgi serbuk, dan selanjutnya dihancurkan dalam cetakan. Selain itu, bubuk tersebut disinterisasi atau dipanaskan dalam tungku hingga suhu tertentu. Partikel bubuk bergabung bersama selama proses ini. Penggunaan teknologi metalurgi serbuk memiliki beberapa keuntungan, termasuk kemampuan untuk membuat produk dengan geometri yang kompleks dan menghilangkan atau mengurangi kebutuhan operasi pemesinan yang membuang material. Ini juga menawarkan presisi yang sangat baik dan kehalusan permukaan.

Metode metalurgi serbuk digunakan untuk memproduksi komposit yang terdiri dari matriks logam CuAlZn. Dalam proses ini, terdapat tahapan utama yang harus dilalui, yakni kompaksi, sintering & aging. Pada tahap kompaksi, tekanan sebesar 10 Metric Ton dengan waktu tahan selama 5 menit. Lalu masuk tahap sintering, dan terakhir di proses Aging, dengan cara memanaskan dengan waktu tertentu dan variasi suhu.

Temperatur yang lebih tinggi akan menghasilkan lebih banyak penyusutan selama proses sintering, yang menunjukkan penurunan porositas. Pertumbuhan butir dan ikatan partikel akan dipengaruhi oleh waktu penahanan sintering. Komposit dengan matriks logam akan menunjukkan peningkatan karakteristik mekanik dengan penurunan porositas dan peningkatan ukuran butir. Oleh karena itu, temperatur aging 250°C dan 300°C dan waktu penahanan 30 menit dipilih dalam penelitian ini. German menjelaskan bahwa suhu dan waktu penahanan sintering mempengaruhi struktur mikro, yang pada gilirannya mempengaruhi sifat mekanik material, dalam bukunya tentang Sintering Theory and Practice. Untuk menghasilkan produk peluru rapuh terbaik, fluktuasi suhu dan waktu penahanan yang tepat digunakan selama proses sintering.

## 2. METODOLOGI

Penelitian ini dimulai dengan pembuatan sampel uji yaitu Material paduan CuAlZn diperoleh Laboratorium Universitas Kristen Indonesia (UKI). Pembuatan material dan sampel uji dengan diawali dengan menimbang (takaran sesuai dengan table .1) paduan CuAlZn dengan menggunakan timbangan analitik. Selanjutnya proses pencampuran atau mixing. Lalu dilakukan cold compaction dengan tekanan 10 Ton (Temperatur Kamar) selama 5 menit.

Tabel 1 Komposisi paduan CuAlZn

Komponen	%	Massa total (gram)	Sample				
			1	2	3	4	5
Cu (gram)	82%	20,5	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1
Al (gram)	14%	3,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Zn (gram)	4%	1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>25</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>

Sumber Data: Hasil Olahan Data Penelitian

Setelah itu dilakukan proses perlakuan panas Sintering dilaksanakan pada temperatur 750°C dengan waktu penahanan 1 jam. Lalu material uji didinginkan dengan media pendingin (quenching) yaitu Air Garam. Temperatur media pendingin yaitu temperatur.

Setelah material uji suhunya telah normal kembali, maka proses selanjutnya adalah 2 Sample dilakukan proses Aging dengan waktu penahanan 30 Menit dan variasi suhu yang berbeda yaitu 250°C & 300°C. Setelah selesai pendinginannya hanya melalui udara ruangan.

Fasilitas *heat treatment* yang digunakan adalah tungku listrik dengan temperatur maksimal 1000°C. Selanjutnya spesimen dibawa ke lab universitas indonesia dan puslafor polri untuk mengetahui struktur kristal dengan metode XRD, uji kekerasan, dan uji tarik.

Tabel 2 Spesimen yang akan diuji

Spesimen	Proses Aging	Temperatur Aging °C	Waktu Aging (Menit)	Media Quenching	Uji Struktur Kristal	Uji Kekerasan	Uji Kuat Tarik
1	No Aging	-	-	-	✗	✗	✗
2	No Aging	-	-	Air Garam	✓	✓	✓
3	No Aging	-	-	Air Garam	✗	✗	✗
4	Aging	250	30	Air Garam	✓	✓	✓
5	Aging	300	30	Air Garam	✓	✓	✓

Sumber Data: Hasil Olahan Data Penelitian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

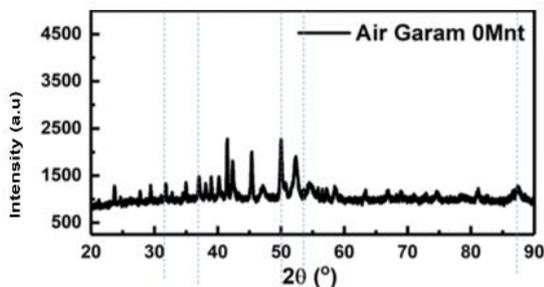
#### A. Hasil Uji XRD

Data yang diperoleh dari hasil pengujian terhadap spesimen uji sifat mekanik adalah berupa difraktogram yang dapat dianalisa datanya dari tabel yang menjelaskan tentang gambar hasil dari difraktogram uji spesimen tersebut. Tabel tersebut berisikan ukuran kristal, kerapatan dislokasi, dan regangan kisi mikro proses heat treatment dari material padual CuAlZn dengan menggunakan metode difraksi sinar X (XRD). Data gambar adalah difraktogram dari uji sifat mekanis pada spesimen uji untuk mengetahui ukuran kristal, kerapatan dislokasi dan regangan kisi mikro. Kemudian diikuti tabel yang menjelaskan hasil olah data dari pada difraktogram tersebut. Data hasil uji dibuat menjadi 5 bagian sesuai dengan tabel 4.1:

Tabel 3 Matriks Perancangan Spesimen Penelitian

No. Spesimen	Quenching	Proses Heat Treatment 1			Proses Heat Treatment 2		
		Heat Treatment	Temperatur °C	Waktu (Menit)	Heat Treatment	Temperatur °C	Waktu (Menit)
1	Air Garam	Sintering	750	60	No Aging	-	-
2	Air Garam	Sintering	750	60	Aging	250	30
3	Air Garam	Sintering	750	60	Aging	300	30

Sumber Data: Hasil Olahan Data Penelitian

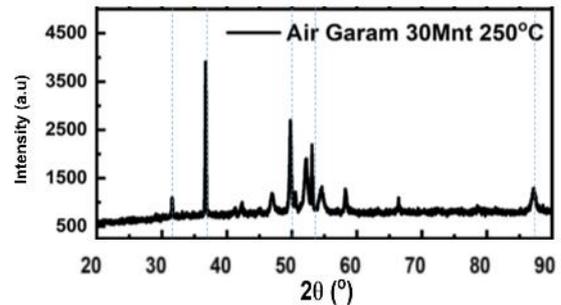


Gambar 1 Difraktogram Sinar-X Spesimen 1  
Sumber Data: Hasil Penelitian di Laboratorium Universitas Indonesia

Tabel 4 Hasil Olah Data XRD Spesimen 1

No.	Sudut FWHM		D	ρ	Σ
	2θ	β	Ukuran Kristal (nm)	Kerapatan Dislokasi (garis/mm <sup>2</sup> )	Regangan Mikro (ε)
1	32,86	0,12	1,312	0,581	0,102
2	37,04	0,28	0,569	3,092	0,209
3	49,98	0,32	0,521	3,691	0,172
4	52,60	0,39	0,432	5,363	0,197
5	87,26	1,15	0,181	30,396	0,302
<b>Rata-rata</b>			<b>0,603</b>	<b>8,625</b>	<b>0,196</b>

Sumber Data: Hasil Penelitian di Laboratorium Universitas Indonesia

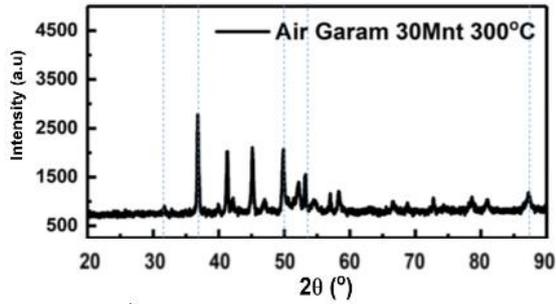


Gambar 2 Difraktogram Sinar-X Spesimen 2  
Sumber Data: Hasil Penelitian di Laboratorium Universitas Indonesia

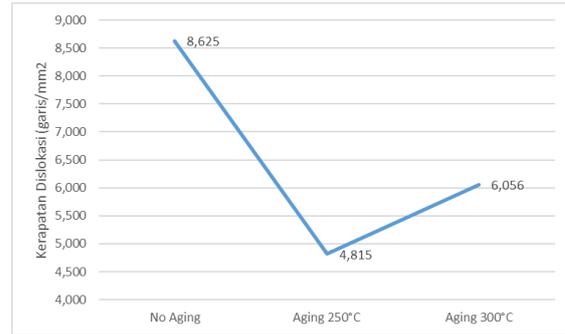
Tabel 5 Hasil Olah Data XRD Spesimen 2

No.	Sudut FWHM		D	ρ	Σ
	2θ	β	Ukuran Kristal (nm)	Kerapatan Dislokasi (garis/mm <sup>2</sup> )	Regangan Mikro (ε)
1	32,86	0,15	1,049	0,908	0,127
2	37,04	0,15	1,061	0,888	0,112
3	49,98	0,28	0,595	2,826	0,150
4	52,60	0,57	0,295	11,455	0,288
5	87,26	0,59	0,354	8,001	0,155
<b>Rata-rata</b>			<b>0,671</b>	<b>4,815</b>	<b>0,166</b>

Sumber Data: Hasil Penelitian di Laboratorium Universitas Indonesia



Gambar 3 Difraktogram Sinar-X Spesimen 3  
Sumber Data: Hasil Penelitian di Laboratorium Universitas Indonesia



Gambar 5 Grafik Hubungan Kerapatan Dislokasi Terhadap Perlakuan Panas  
Sumber Data: Hasil Olahan Data Penelitian

Tabel 6 Hasil Olah Data XRD Spesimen 1

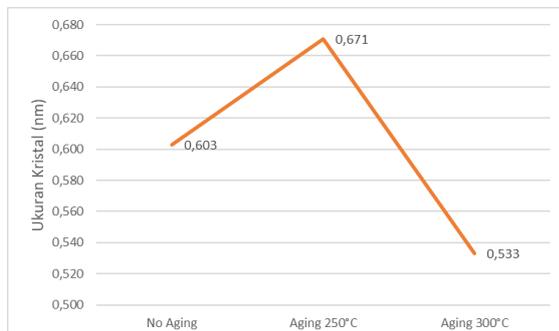
No.	Sudut FWHM		D	ρ	Σ
	2θ	β	Ukuran Kristal (nm)	Kerapatan Dislokasi (garis/mm <sup>2</sup> )	Regangan Mikro (ε)
1	32,86	0,43	0,366	7,463	0,365
2	37,04	0,23	0,680	2,160	0,175
3	49,98	0,17	0,980	1,042	0,091
4	52,60	0,53	0,318	9,904	0,268
5	87,26	0,65	0,321	9,711	0,170
<b>Rata-rata</b>			<b>0,533</b>	<b>6,056</b>	<b>0,214</b>

Sumber Data: Hasil Penelitian di Laboratorium Universitas Indonesia

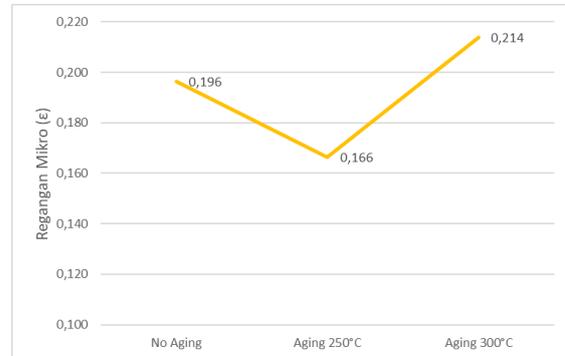
Tabel 7 Rata-Rata Hasil Nilai Pengujian XRD Pada 3 Spesimen

Spesimen	D Ukuran Kristal (nm)	ρ Kerapatan Dislokasi (garis/mm <sup>2</sup> )	Σ Regangan Mikro (ε)	Kekuatan Luluh (MPa)
No Aging	0,603	8,625	0,196	274,5400428
Aging 250°C	0,671	4,815	0,166	274,5400239
Aging 300°C	0,533	6,056	0,214	274,5400300

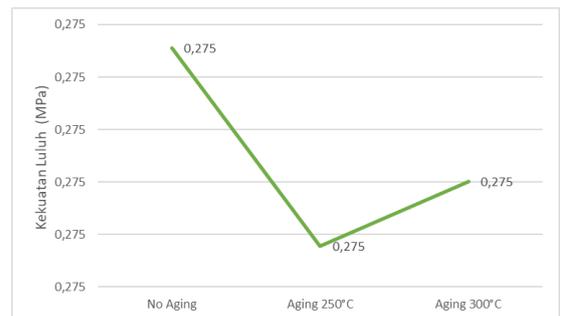
Sumber Data: Hasil Olahan Data Penelitian



Gambar 4 Grafik Hubungan Ukuran Kristal Terhadap Perlakuan Panas  
Sumber Data: Hasil Olahan Data Penelitian



Gambar 6 Grafik Hubungan Regangan Mikro Terhadap Perlakuan Panas  
Sumber Data: Hasil Olahan Data Penelitian



Gambar 7 Grafik Hubungan Kekuatan Luluh Terhadap Perlakuan Panas  
Sumber Data: Hasil Olahan Data Penelitian

Berdasarkan data yang disajikan, terdapat perubahan pada ukuran kristal sebelum dan sesudah perlakuan panas pada Paduan CuAlZn. Pada gambar 4, terlihat bahwa setelah proses Aging pada suhu 250°C selama 30 menit dengan menggunakan media quenching air

garam, terjadi peningkatan ukuran kristalit. Hal ini dapat disebabkan oleh proses rekristalisasi dan pertumbuhan butir selama penuaan. Deformasi plastis pada Paduan CuAlZn terjadi melalui proses dislokasi slip dan twin, dan dalam proses quenching, deformasi tersebut berubah menjadi rotasi pada kisi kristal yang menghasilkan pertumbuhan kristalit.

Selanjutnya, pada gambar 5, 6, dan 7, grafik menunjukkan bahwa peningkatan waktu penahanan pada perlakuan panas Aging menyebabkan penyempitan puncak difraksi yang ditandai dengan penurunan nilai FWHM (Full Width at Half Maximum). Hal ini mengindikasikan terjadinya pertumbuhan butir pada baja, yang semakin besar waktu penahanannya, semakin besar kerapatan dislokasi yang terbentuk. Penambahan kerapatan dislokasi ini menyebabkan peningkatan tegangan sisa, yang pada akhirnya dapat menyebabkan kekuatan luluh dan peningkatan jumlah cacat garis.

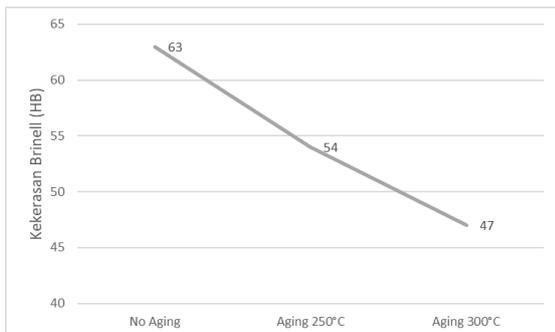
Data tersebut memberikan informasi mengenai pengaruh suhu dan waktu penahanan pada perlakuan panas Aging terhadap perubahan ukuran kristal dan kerapatan dislokasi pada Paduan CuAlZn. Analisis lebih lanjut dapat dilakukan untuk memahami mekanisme yang terjadi dalam proses ini dan memperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang sifat-sifat material Paduan CuAlZn yang dipengaruhi oleh perlakuan panas.

**B. Hasil Uji Kekerasan & Uji Tarik**

Tabel 8 Data Hasil Uji Kekerasan Skala Brinell

Kode Spesimen	Suhu °C	Waktu Penahanan (menit)	Kekerasan Brinell (HB)			Kekerasan Rata-Rata Brinell (HB)
			1	2	3	
No Aging	-	-	65	61	63	63
Aging 250°C	250	30	52,5	53	56,5	54
Aging 300°C	300	30	48	44	49	47

Sumber Data: Hasil Olahan Data Penelitian



Gambar 8 Grafik Pengaruh Media Aging Terhadap Kekerasan

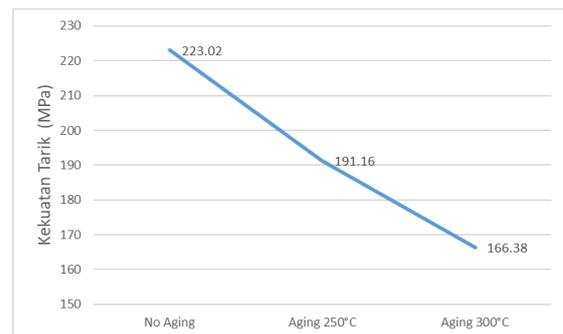
Sumber Data: Hasil Olahan Data Penelitian

Dilihat dari Gambar 8 untuk Spesimen yang tidak dilakukan proses Aging memiliki kekerasan yang tinggi 63 HB, sedangkan specimen yang dilakukan proses Aging 250°C selama 30 menit kekerasan menurun menjadi 54 HB dan specimen yang dilakukan proses Aging 300°C selama 30 menit memiliki kekerasan paling rendah yaitu 47 HB.

Tabel 9 Data Hasil Uji Kekuatan tarik Skala Brinell

Spesimen	Suhu °C	Waktu Penahanan (menit)	Kekerasan Brinell (HB)	Koefisien	Kekuatan Tarik (MPa)
No Aging	-	-	63	3,54	223,02
Aging 250°C	250	30	54	3,54	191,16
Aging 300°C	300	30	47	3,54	166,38

Sumber Data: Hasil Olahan Data Penelitian



Gambar 9 Grafik Pengaruh Proses Aging Terhadap Kekuatan Tarik

Sumber Data: Hasil Olahan Data Penelitian

Di susunan kimia dan struktur kristal baja berdampak pada kualitas mekanisnya seperti pada gambar 9. Dalam penyelidikan ini, spesimen dengan komposisi kimia yang identik menjalani berbagai perlakuan termal. Prosedur sintering, quenching, dan aging pada spesimen dilakukan masing-masing pada suhu 250°C dan 300°C. Beberapa perlakuan panas spesimen menghasilkan struktur kristal yang berbeda, yang mengubah sifat mekanik

**4. KESIMPULAN**

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Terjadi perubahan sifat fisik yaitu ukuran kristal, kerapatan diskolasi dan regangan mikro

serta kekuatan luluhnya pada baja paduan CuAlZn setelah dilakukan proses perlakuan panas (Aging). Penurunan ukuran kristal terjadi setelah proses Aging pada suhu 250°C ke 300°C (30 menit) dari 0,670 nm ke 0,533 nm. Terjadi kenaikan nilai kerapatan diskolasi setelah Aging pada suhu 250°C ke 300°C (30 menit) dari 4,815(garis/mm<sup>2</sup>) ke 6,056 (garis/mm<sup>2</sup>) begitu pula kenaikan regangan mikro setelah proses Aging pada suhu 250°C ke 300°C (30 menit) dari 0,166 (ε) ke 0,214 (ε).

2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses perlakuan panas dapat mempengaruhi sifat mekanik baja paduan CuAlZn. Penurunan kekerasan material setelah proses aging pada suhu 250°C dan 300°C dengan waktu yang sama dapat diartikan sebagai perbaikan sifat material agar tidak getas. Selain itu, terdapat juga penurunan kekuatan tarik material yang berbanding lurus dengan penurunan kekerasan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Hafizh Dkk, diakses 8 November 2011**, Aluminium Murni dan Paduannya, Fakultas Teknologi Pertanian, Institute Pertanian Bogor, 2009.
- Adawiyah, R. dan Ahmad, H.** “Pengaruh Perbedaan Media Pendingin Terhadap Strukturmikro Dan Kekerasan Pegas Daun Dalam Proses *Hardening*.” Jurnal Poros Teknik 6.2 (2014): 96-102.
- ASM team, 1992**, “*ASM Metals Handbook Volume 15 Casting*,” American Society for Metals, The United States of America.
- Budiarto Djono Siswanto1, Melya Dyanasari Sebayang1, Septian Arum Fajar Maulana1 (2022)**. “Analisa Temperatur Sinter Terhadap Diameter kristallit, Kerapatan dislokasi, Regangan mikro Dan Struktur mikro Pada Material Katoda Baterai LiNi<sub>0,7</sub>Fe<sub>0,2</sub>Co<sub>0,1</sub>O<sub>2</sub>.” Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia.
- ICSG (2012) The World Copper Factbook 2012 International.** The International Copper Study Group, Lisbon.
- Kalpakjian, Serope dan Schmid, Steven R. 2009.** *Manufacturing Engineering and Technology Sixth Edition in SI Units.* Singapura: Pearson
- Karmin, Muchtar Ginting, (2012)** “Analisis Peningkatan Kekerasan Baja Amutit Menggunakan Media Pendingin Dromus”. Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Konečná, Radomila dan Fintová, Stanislava. 2012.** *Copper and Copper Alloys: Casting, Classification and Characteristic Microstructures.* University of Žilina
- Lehto, R. S. (1968).** *Zinc.* New York: Reinhold Book Corporation. Manufaktur, T. D. (2009).
- Palar, H. (2004).** Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Penerbit Rineka Cipta, Jakarta.
- Supriyanto, Yulian Adi Bowo.** "Kajian Pengaruh Tempering Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pengelasan Stainless Steel." Jurnal Teknik Vol 2 (2012).
- Syaefudin. 2001.** “Pengerasan Baja Karbon Rendah dengan Metode Nitridasi dan Quenching”. Skripsi. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Trihutomo, P. 2015.** Analisa Kekerasan Pada Pisau Berbahan Baja Karbon Menengah Hasil Proses Hardening Dengan Media Pendingin Yang Berbeda. Jurnal Teknik Mesin 23(1): 28-34.
- Van Vliet, GLJ dan Both,W. 1984.** Teknologi Bahan – Bahan Untuk Bangunan Mesin. Jakarta: Gramedia