

ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR MAGNESIUM TERHADAP KUAT LENGKUNG PADA MATERIAL ALUMINIUM

Farhan Ikbar^{1)*}, Muhammad Rasid²⁾, Ella Sundari²⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Politeknik Negeri Sriwijaya
²⁾Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya Jln. Sriwijaya Negara Bukit Besar Palembang 30139
*email korespondensi: farhanikbar653@gmail.com

INFORMASI ARTIKEL

Received:
09/09/22

Accepted:
12/10/22

Online-Published:
28/02/23

ABSTRAK

Handle rem adalah salah satu komponen untuk menahan laju gerak kendaraan dengan menahan mekanisme jepitan, permasalahan yang ada pada *handle* rem ketika ada benturan keras. *Handle* biasanya dibuat dengan bahan logam aluminium, agar aluminium mempunyai sifat tertentu pada penelitian ini dipadukan unsur magnesium dengan variasi 1%, 3%, dan 5%. Unsur kimia magnesium adalah yang paling ringan di antara logam industri. Magnesium menguntungkan sebagai bahan paduan karena rendahnya kepadatan dan kekuatan yang dimiliki. Paduan yang dipakai adalah dengan proses pengecoran logam menggunakan metode *sand casting*. Setelah memadukan aluminium dan magnesium di uji *bending* untuk mendapatkan kuat lengkung yang diterima. Nilai persentase magnesium memberikan pengaruh yang signifikan dengan perbandingan $F_{hitung} > F_{tabel}$ nilai $72,29 > f_{0,0001(2;9)} = 4,26$. Faktor persentase yang didapatkan adalah 87% dan Nilai maksimum nya 38,08 kg/mm² dan nilai minimum 30,46 kg/mm².

Kata Kunci : Aluminium, Magnesium, Sand Casting, Handle rem, Bending test

ABSTRACT

The brake handle is one of the components to restrain the vehicle's movement rate by holding the clamp mechanism, the problem that exists in the brake handle when there is a hard impact. Handles are usually made with aluminum metal material, so that aluminum has certain properties in this study combined with magnesium elements with variations of 1%, 3%, and 5%. Magnesium is the lightest chemical element among other industrial metals. The low density value and strength of magnesium is an advantage of this element as an alloy. The alloy used is a metal casting process using the sand casting method. After combining aluminum and magnesium in a bending test to get an acceptable bending strength. The percentage value of magnesium has a significant effect with a comparison of $F_{count} > F_{table}$ value $72.29 > f_{0.0001(2;9)} = 4.26$. The percentage factor obtained is 87% and the maximum value is 38.08 kg/mm² and the minimum value is 30.46 kg/mm².

Keywords : Aluminium, Magnesium, Sand Casting, Handle rem, Bending test

© 2023 The Authors. Published by
Machinery: Jurnal Teknologi Terapan
(Indexed in SINTA)

doi:
doi.org/10.5281/zenodo.7684050

1 PENDAHULUAN

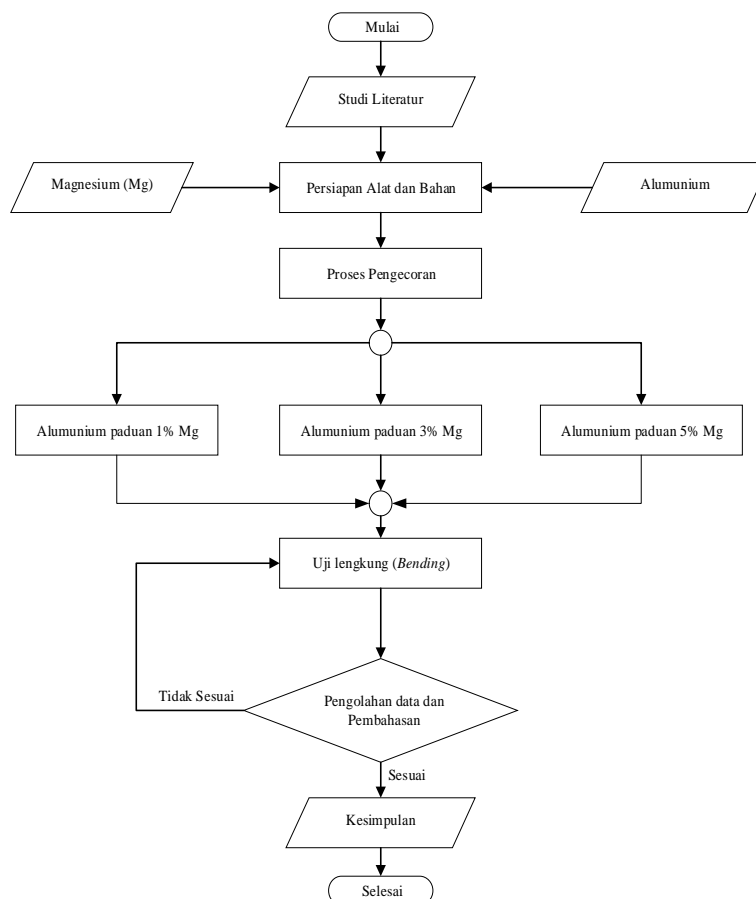
Pengecoran (*casting*) logam memerlukan penuangan logam cair ke dalam ruang cetakan yang menyerupai bentuk asli produk. Proses industri pengecoran melibatkan logam cair dan cetakan. Untuk membentuk logam menjadi bentuk akhirnya, prosedur pengecoran digunakan. Aluminium merupakan logam *non-ferrous* yang sering dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari. Hal ini karena dianggap sebagai salah satu elemen yang paling efisien dan efektif untuk memenuhi tuntutan mereka. Selain itu, aluminium digunakan untuk membuat pesawat terbang, mobil, kapal, dan lain-lain (Surdia dan Saito, 1999). Pemanfaatan paduan

aluminium meningkat setiap tahunnya. Komponen untuk industri otomotif, industri, dan dirgantara adalah penggunaan paduan aluminium yang paling umum. Pemanfaatan aluminium adalah ke-2 setelah besi dan baja di antara logam *non-ferrous* (Surdia dan Saito, 1999). Selain itu, karena kualitasnya yang ringan, tahan karat, dan tahan suhu tinggi, paduan aluminium dipilih sebagai bahan utama untuk komponen mesin (Setia, dkk. 2016:2). Callister (2007:374) menyatakan bahwa Aluminium adalah logam yang memiliki densitas rendah (2,7 g/cm³), nomor atom 8 13, konduktivitas listrik dan termal yang baik, serta ketahanan korosi. Struktur FCC (face-centered cubic), ulet pada suhu rendah, titik leleh 660°C. Menurut Cotton (1989: 264) Nomor atom magnesium adalah 12, dengan berat atom 24,31. Ketika dicampur dengan logam lain, magnesium sepertiga lebih ringan dari aluminium. Paduan ini meningkatkan kualitas mekanik, fabrikasi, dan pengelasan aluminium (Cholis, 2013:34).

Handle rem pada sepeda motor sering patah saat terkena benturan keras, maka paduan aluminium yang dipakai untuk komponen *handle* rem harus kuat dan tahan lama. Logam aluminium sering dicampur dengan unsur-unsur seperti Cu, Si, Mg, Zn, Mn, dan Ni antara lain agar memiliki kualitas tertentu. Pengecoran logam adalah proses umum untuk membuat aluminium. Proses pengecoran logam memakai material pengecoran pasir (*sand casting*) merupakan satu diantara prosedur pengecoran logam yang paling banyak dipakai karena biaya produksi dan skalabilitasnya relatif rendah. Unsur kimia magnesium adalah yang paling ringan di antara logam industri. Kepadatan dan kekuatan magnesium yang rendah adalah keuntungan menggunakan elemen ini menjadi paduan. Dimasukkannya unsur magnesium meningkatkan kualitas mekanik aluminium. Selain itu, penambahan unsur magnesium tidak menurunkan daktilitas aluminium cor. Paduan aluminium dan magnesium ini juga memiliki kemampuan ketahanan korosi yang kuat (Surdia, 1999). Berlandaskan *handle* rem sepeda motor yang mudah putus, penulis tertarik untuk mencari solusi dan melakukan penelitian dengan judul “Analisis Pengaruh Penambahan Unsur Magnesium Terhadap Kuat Lengkung Pada Material Aluminium”.

2. BAHAN DAN METODA

Diagram alir penelitian seperti gambar berikut:






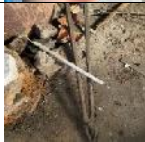





Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1 Alat

Alat yang dipakai adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Alat Penelitian



No	Nama Alat	Spesifikasi	Gambar
1	Tungku Peleburan	Kapasitas 5 kg	
2	Cetakan Pasir	250 x 20 x 8 mm	
3	Mould Spesimen Bending	250 x 20 x 8 mm	
4	Gerinda	Daya 540 W	
5	Timbangan Digital	Ketelitian 1 gram	
6	Thermo Gun	50 ⁰ c- 850 ⁰ c	
7	Tang Penjepit	-	
8	Mesin Uji Bending	Kapasitas 30 tf	
9	Pemadat Pasir	-	
10	Janga Sorong	Ketelitian 0,1 mm	
11	Sarung tangan anti panas	Bahan Kulit	

12	Pahat	Ukuran 1 Lebar 2,5 cm	
----	-------	-----------------------------	---

2.2 Bahan

Studi ini menggunakan bahan:

Tabel 2. Bahan Penelitian

No	Nama Bahan	Gambar
1	Aluminium Murni	
2	Magnesium	

2.3 Proses Pengecoran

Langkah-langkah pengecoran akan dijelaskan sebagai berikut

- a. Menimbang massa persentase total berat aluminium dan magnesium yang sudah ditentukan dalam 1000gr (100%), sesuai dengan persentase yang sudah ditentukan yakni: Al 990 % + Mg 10% = Al 990 + Mg 10 gr, Al 970 % + Mg 30 % = Al 970 + Mg 30 gr, dan Al 950% + Mg 50% = Al 950 + Mg 50 gr.
- b. Membuat cetakan spesimen sesuai dengan pengujian yang ditentukan yakni *bending* menggunakan cetakan pasir.
- c. Setelah menyalakan tungku peleburan, suhu peleburan yang diperlukan disesuaikan. Sebelum melakukan pengujian, tungku pemanas dihangatkan untuk menguapkan kadar airnya.
- d. Memasukkan aluminium ke dalam tungku peleburan pada saat tungku peleburan yang sudah dipanaskan dan menunggu sampai 660°C
- e. Setelah aluminium cair kemudian dilakukan penambahan Mg yang dileburkan dengan suhu dan waktu yang ditetapkan.
- f. Setelah Magnesium cair dilakukan pengadukan secara homogen (rata).
- g. Setelah suhu lebur mencapai 800°C ,kemudian tuang campuran ke cetakan yang sudah disiapkan.
- h. Setelah salah satu persentase sudah dilakukan maka langkah selanjutnya melakukan proses pengecoran sesuai dengan urutan yang ada di atas.
- i. Ketika semua persentase sudah dilakukan pengecoran langkah selanjutnya adalah *finishing* menggunakan gerinda dan kikir agar permukaan *speciment* halus.



Gambar 2. Proses Pengecoran

2.4 Proses Uji *Bending Standar JIS Z-2248* Dijelaskan Sebagai Berikut:

- a. Mempersiapkan benda uji atau spesimen yang akan dilakukan pengujian
- b. Olesi ujung bantalan dengan pelumas/gemuk. Hal ini dilakukan agar pada saat bahan/sampel diperiksa akan licin, memaksimalkan hasil temuan.
- c. Tempatkan spesimen pada bantalan dan arahkan sehingga bagian tengah material pas di dalam alat pembengkok. Jika perlu, kapur bagian tengah bahan.
- d. Menyalakan mesin *bending* saat *speciment* sudah ada di posisi yang di inginkan.
- e. Pastikan bantalan diposisikan sesuai dengan protokol uji *bending*.
- f. Turunkan *bending* perlahan-lahan sampai ujung pengepres memenuhi bahan. Kemudian turunkan *bending* perlahan-lahan untuk menurunkan benda uji.
- g. Pengujian dilakukan sampai material sesuai dengan bentuk yang diinginkan seperti yang ditentukan oleh benda uji dan terlihat permukaannya.



Gambar 3. Proses Uji *Bending*

2.5 Metoda Analisa ANOVA

Penelitian ini menggunakan ANOVA untuk menganalisis data uji kelengkungan (*One-Way ANOVA*). Data uji lengkung dianalisis menggunakan varians. ANOVA menguji apakah *mean* populasi sama (H_0). Analisis varians menggunakan distribusi F untuk menyelidiki hubungan variabel. Distribusi normal, homogenitas varians, kebebasan kesalahan, dan analisis dampak *linearitas* model dari perhitungan varians (Sudjana, 1994 dan Philip J. Ross, 1989). Penyelidikan varians didasarkan pada distribusi F dan digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara banyak variabel yang dapat diamati. Dalam perhitungan statistik, asumsi seperti distribusi normal, identik (homogenitas varians), *independensi* (bebas kesalahan), dan *linieritas* model mempengaruhi analisis varians.

Langkah untuk memanfaatkan ANOVA di *Software Design Expert* adalah sebagai berikut:

- a. Membuka aplikasi design expert dan memilih new design untuk memulai
- b. Memilih *multilevel categoric design* dan membuat *design* setiap factor dan levelnya, lalu klik *next*
- c. Membuat respon pengujian yang dilakukan peneliti, kemudian klik *next* dan *finish*
- d. Memasukan data pengujian pada setiap factor
- e. Memilih *analysis* pengujian lalu klik *start analysis*
- f. Setelah itu peneliti memilih ANOVA untuk Analisa data tersebut

Berlandaskan variabel yang dipakai dalam penelitian ini, maka disebut hipotesa yakni:

H_0 = Tidak ada pengaruh variasi persentase magnesium terhadap kuat lengkung. Jika $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka H_1 ditolak. H_1 = Ada pengaruh variasi persentase magnesium terhadap kuat lengkung. Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka H_0 ditolak.



Gambar 4. Aplikasi Design Expert 13

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian *Bending*

Uji *bending* dilaksanakan di laboratorium Universitas Negeri Sriwijaya yang beralamatkan Jl. Raya Palembang – Prabumulih Km 32 Indralaya Indah Kecamatan Indralaya Kabupaten Ogan Ilir Sumatera Selatan pada 22 juni 2022, berikut Tabel 3 akan menyajikan hasil uji *bending* yang telah dilakukan sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil Pengujian *Bending*

No	Specimen	Beban Lengkung (P)	Jarak Penekanan (L)	Lebar (b)	Tinggi (h)	Momen (M)	Momen Tahanan (Z)	Kuat Lengkung (s)	Rata-rata
	(%)	kg	(mm)	(mm)	(mm)	kg mm	mm ³	Kg/mm ²	
1	Raw Material	45	125	20	8	5625	213,33	26,37	26,36
2	Material existing	60	91,79	14,9	7,78	5507,4	150,31	36,64	36,63
3	1%	52	125	20	8	6500	213,33	30,47	31,64063
4		54	125	20	8	6750	213,33	31,64	
5		55	125	20	8	6875	213,33	32,23	
6		55	125	20	8	6875	213,33	32,23	
7	3%	60	125	20	8	7500	213,33	35,16	35,30273
8		59	125	20	8	7375	213,33	34,57	
9		60	125	20	8	7500	213,33	35,16	
10		62	125	20	8	7750	213,33	36,33	
11	5%	63	125	20	8	7875	213,33	36,91	37,5
12		64	125	20	8	8000	213,33	37,50	
13		64	125	20	8	8000	213,33	37,50	
14		65	125	20	8	8125	213,33	38,09	

Pada tabel 3 diatas untuk mencari kuat lengkung dan momen tahanan akan dijelaskan sebagai berikut:

Momen Lengkung

$$\begin{aligned}
 M &= P \times L \\
 &= 65 \times 125 \\
 &= 8.125 \text{ kg mm}^3
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Momen Tahanan

$$\begin{aligned}
 Z &= \frac{1}{6} \times b \times h^2 \\
 &= \frac{1}{6} \times 20 \times 8^2 \\
 &= 213,33 \text{ mm}^3
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Kuat Lengkung

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \frac{M \text{ (Kgmm)}}{Z \text{ (mm)}^3} \\
 &= \frac{8.125}{213,33} \\
 &= 38,09 \text{ Kg/mm}^2
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

3.2 Analisa Data Hasil Pengujian *Bending*

Setelah didapatkan hasil pengujian *bending* seperti yang disajikan pada Tabel 3 maka dihitung nilai terendah, maksimum, dan rata-rata. Data tersebut kemudian disusun menjadi sebuah Tabel 4.

Tabel 4. Rata-rata, Standar Deviasi, dan Ratio dari hasil pengujian
Design Model : Main Effect

Design Type : Full Factorial
Runs : 12

Name	Factor	Responses
	A	R1
Units	Persentase	Bending Test
Minimum	%	Kg/mm ²
Maximum	1	30,46
Mean	5	38,08
Std. Dev		34,81
Observasi		2,6
Analysis		6
Ratio		factorial
		1,25

Penjelasan dari tabel 3 akan dijelaskan dan diterangkan sebagai berikut:

- A = Faktor *Persentase*
- R1 = *Bending Test (Responses 1)*
- Standar deviasi faktor A
- $\sigma_a = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1}} = 2,6$ (1)
- Nilai minimum dari hasil pengujian *bending* faktor A = 30,46
- Nilai maksimum dari hasil pengujian *bending* faktor A = 38,08
- Rasio merupakan nilai maksimum hasil pengujian dibagi nilai minimum hasil pengujian
- Rasio Faktor A = $\frac{38,08}{30,46} = 1,25$ (2)

Metode ANOVA berguna untuk menganalisa dan mengetahui variable yang berpengaruh terhadap ukuran dimensi. Analisis ini adalah pendekatan matematis untuk menentukan kontribusi setiap elemen untuk semua tindakan respons dengan menemukan pengujian hipotesis untuk efek variabel terkontrol dan interaksinya.

Data hasil pengujian *bending* pada Tabel 3 dikelompokkan berlandaskan persentase yang diterima untuk mempercepat perhitungan ANOVA, ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Pengelompokan Data Hasil Uji *Bending* Pada AIMg

Faktor	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	Jumlah
B ₁	30,46	35,15	36,91	417,72
	31,64	34,57	37,5	
	32,22	35,15	38,08	
	32,22	36,32	37,5	
Jumlah()	126,54	141,19	149,99	T1=417,72

Data pengujian *bending* yang sudah dikelompokkan pada Tabel 5 akan dijelaskan yakni:

$$\begin{aligned}
 A_{11} &= 126,54 \\
 A_{12} &= 141,19 \\
 A_{13} &= 149,99 \\
 T_1 &= 417,72 \\
 nA_{11} &= 4 \\
 nA_{12} &= 4 \\
 nA_{13} &= 4 \\
 N &= 12
 \end{aligned}$$

Keterangan:

A₁₁ = Faktor persentase 1% Mg

A₁₂ = Faktor persentase 3% Mg

A₁₃ = Faktor persentase 5% Mg

- n_1 = Jumlah data hasil pengujian *bending* yang mempengaruhi faktor A pada *level* minimum.
- n_3 = Jumlah data hasil pengujian *bending* yang mempengaruhi faktor A pada *level* maksimum.
- T_1 = Jumlah total hasil pengujian *bending*.
- nA_i = Jumlah pengujian yang dilakukan pada *level* faktor A
- N = Jumlah Pengujian *bending*

3.2 Analisa Pengaruh Penambahan Persentase Mg

Analisa pengaruh penambahan persentase mg akan dijelaskan sebagai berikut:

$$1) SS_T = (30,46^2 + 31,64^2 + 32,22^2 + 32,22^2 + 35,15^2 + 34,57^2 + 35,15^2 + 36,32^2 + 36,91^2 + 37,5^2 + 38,08^2 + 37,5^2) - \frac{417,72^2}{12}$$

$$SS_T = 14.650,8322 - 14.615,3648$$

$$SS_T = 74,53 \tag{1}$$

2) Menentukan jumlah kuadrat faktor A:

$$SS_A = \frac{126,54^2}{4} + \frac{141,19^2}{4} + \frac{149,99^2}{4} - \frac{417,72^2}{12}$$

$$= 70,16 \tag{2}$$

3) Menentukan jumlah kuadrat kemungkinan kesalahan (*error*)

$$SS_e = 74,53 - 70,16 = 4,37 \tag{3}$$

4) Menentukan derajat kebebasan total, yang diperoleh dari banyaknya pengujian yang dilakukan dikuran dengan 1:

$$v_T = 12 - 1 = 11 \tag{4}$$

5) Menentukan derajat kebebasan faktor A, yang merupakan jumlah *level* faktor A yang dipakai dikurang dengan 1

$$v_A = 3 - 1 = 2 \tag{5}$$

6) Menentukan derajat kebebasan kemungkinan kesalahan (*error*):

$$v_e = 10 - 1 = 9 \tag{6}$$

7) Setelah *Mean Square* (MS) serta F_{hitung} (F_0) didapat, maka dengan tingkat keyakinan 95% dan derajat kebebasan yang diketahui maka dapat ditentukan F_{tabel} untuk faktor dan interaksi dengan melihat tabel distribusi F pada lampiran

Faktor A : $F_{TABEL} = F_{(2-0,05(2,9))} = 4.26$ (7)

8) Hasil perhitungan analisis persentase Mg terhadap kuat lengkung akan ditunjukkan pada Tabel 6

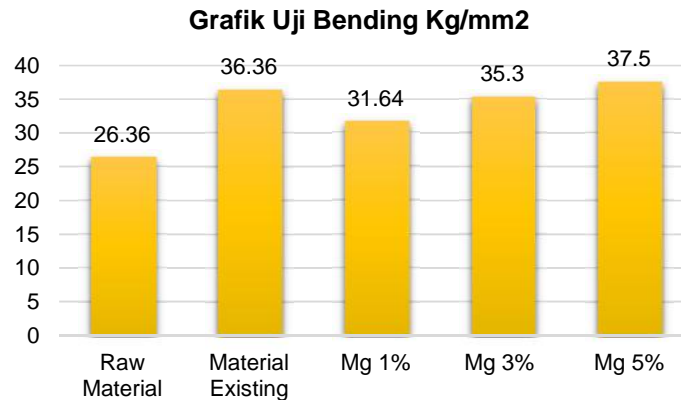
Tabel 6. Analisis Varians Persentase Mg Pada Uji Lengkung

ANOVA for selected factorial model						
Analysis of variance table [Partial sum of squares - Typell]						
Source	sum of squares	df	mean square	f-value	p-value	F crit
Model	70,16	2	35,08	72,29	0,0001	4,26 Significant
A-Persen	70,16	2	35,08	72,29	0,0001	
Pure Error	4,37	9	0,4853			
Cor Total	74,53	11				

Berlandaskan analisa ANOVA F_{value} (F_0) > p_{value} , maka hipotesis (H_0) ditolak. Oleh karenanya, disimpulkan bahwa faktor pengaruh persentase Mg dengan tingkat keyakinan 95% memiliki pengaruh terhadap kuat lengkung (*bending*). Bila melihat pada nilai F pada persentase tersebut memberi pengaruh signifikan dengan perbandingan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ dengan nilai $72,29 > 0.0001$. Nilai persentase kontribusi dari faktor mempengaruhi, yakni:

$$\text{Faktor Persentase} = \frac{(70,16-4,37)}{74,53} = 88 \% \tag{8}$$

Dari data hasil pengujian yang telah dilakukan pada tanggal 22 Juni 2022 yang bertempat di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Sriwijaya, hasil pengujian *bending* yang tertera pada Tabel 3 maka grafik yang di peroleh akan dijelaskan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Uji *Bending*

Grafik gambar 4 menyatakan bahwa kekuatan *raw material* didapatkan 26,36 kg/mm², *material existing* data yang sudah ada kuat lengkungnya adalah 36,34 kg/mm². Untuk persentase AlMg 1% didapatkan kuat lengkung sebesar 31,64 kg/mm², lalu untuk AlMg 3% didapatkan kuat lengkung 35,3 kg/mm² dan nilai maksimum untuk kuat lengkung di dapatkan pada persentase AlMg 5% sebesar 37,5 kg/mm². Kenaikan dari *raw material* ke persentase Mg1% adalah sebesar 20%, kenaikan dari *raw material* ke persentase Mg3% adalah sebesar 33%, dan kenaikan dari *raw material* ke persentase Mg 5% adalah sebesar 42%.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- a. Dari tabel hasil pengujian *bending* aluminium magnesium ditemukan nilai kuat lengkung Al Mg 1% memiliki rata-rata nilai 31,64 kg/mm², nilai kuat lengkung untuk persentase AlMg 3% memiliki rata rata nilai 35,02 kg/mm², nilai kuat lengkung untuk persentase AlMg 5% memiliki rata rata nilai 37,5 Kg/mm² dan untuk raw material nilai kuat lengkung yang didapatkan adalah 26,36 kg/mm².
- b. Berlandaskan analisa ANOVA menggunakan *software design expert* 13 $F_{hitung} (F_0) > F_{tabel}$, maka hipotesis (H₀) ditolak. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pengaruh persentase magnesium dengan tingkat keyakinan 87 % memiliki pengaruh terhadap kuat lengkung, faktor persentase $\frac{(70,16-4,37)}{74,63} = 87\%$. Nilai F pada persentase tersebut memberikan pengaruh yang signifikan dengan perbandingan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, dengan nilai $72,29 > f_{0,0001}(2;9) = 4,26$.

DAFTAR PUSTAKA

- Callister, Wd. 2007. *Materials Science and Engineering Materials Science and Engineering: An Introduction*, Jr.—7th Ed. p. Cm.,TA403.C23 2007, John Wiley & Sons.
- Cholis, Setiawan Noor, Suharno, and Yadiono. 2013. "Pengaruh Penambahan Unsur Magnesium (Mg) Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Pengecoran Aluminium." *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Mesin*.
- Cotton, F.A dan Wilkinson, G. (1989). *Kimia Anorganik Dasar*. Jakarta: UI Press.
- Philip J. Ross. 1989. "Taguchi Techiques For Quality Engineering". International Edition, McGraw Hill Book Co, New York
- Setia, Irawan, Harjanto B, dan Subagsono. (2016). Analisis Pengaruh Penambahan Unsur Magnesium (Mg) 2% dan 5% terhadap Ketangguhan Impak, Tingkat Kekerasan dan Struktur Mikro pada Velg Aluminium (Al-5,68Si). *Nosel* 4(3), 1-7.
- Sudjana. 1994. "Desain Dan Analisis Eksperimen". Edisi III, Tarsito. Bandung.
- Surdia, Tata, Shinroku S. (1999). *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Malik Yulianti. 2017. *Teknik Pengecoran*. Politeknik Industri Logam Morowali, Sulawesi Tengah.