



**Studi Eksperimen Pengaruh Tekanan Dan %Mg
Terhadap Densitas, Kekerasan Dan Struktur Mikro Paduan
Al-Mg Dengan Metode Metalurgi Serbuk**

Galuh Candra Pujo H. & Isfiyanto Luhur Pambudi, Mastuki

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia

email: galuhcandrapujoh@gmail.com & isluhur@gmail.com

ABSTRAK

Paduan dengan bahan dasar aluminium termasuk paduan yang sangat kaya manfaatnya dalam dunia perindustrian. Sebagian dari manfaatnya seperti peralatan rumah tangga, peralatan informasi, energi berkelanjutan, dan ilmu kehidupan bahkan diharapkan dapat memenuhi tren baru di industri otomotif, kendaraan listrik dan hybrid. Banyak sekali metode yang dilakukan untuk mensintesis paduan ini, contohnya adalah dengan metode metalurgi serbuk, dengan menambahkan komposisi magnesium. Kompaksi dilakukan dengan beban 4000 Psi, 5000 Psi dan 6000 Psi dan ditahan selama 5 menit. Pada analisis ini akan dilakukan tanggung sintering pada paduan setelah dilakukan pencampuran dan penekanan. Sintering dilakukan pada suhu 450°C selama 90 menit. Identifikasi pada material menggunakan densitas, kekerasan dan struktur mikro. Banyak komponen yang mempengaruhi sifat mekanik paduan Al-Mg, maka pada penelitian ini akan melibatkan serbuk Al, yang akan ditambahkan serbuk Mg dengan komposisi 3,5%, 4,5% dan 5,5% berat. Dengan ditambahkan serbuk Mg diharapkan dapat memperbaiki sifat mekanik dan struktur mikro paduan berbasis aluminium dibandingkan dengan aluminium murni.

Dari hasil penelitian didapatkan nilai densitas pada setiap variasi penambahan %Mg dan tekanan dimana densitas terbesar ada pada variasi penambahan 3,5% Mg dengan tekanan sebesar 4000 Psi dengan nilai densitas 2,52 gr/cm³ dan nilai densitas terendah pada aluminium murni dengan tekanan 4000 Psi dengan nilai 2,33 gr/cm³. Sedangkan nilai kekerasan terendah pada tekanan 6000 Psi tanpa penambahan Mg yaitu 46,91 HRB, dan nilai kekerasan tertinggi pada tekanan 5000 Psi dengan penambahan Mg 4,5% dengan nilai kekerasan 49,3 HRB. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi penambahan paduan Mg membuat densitasnya menurun, dapat dilihat pada grafik 4.2, dan juga semakin tinggi penambahan Mg, nilai kekerasannya juga mengalami penurunan.

Kata Kunci : Metalurgi serbuk, Paduan Al-Mg, Tekanan, Komposisi %Mg, Densitas, Struktur Mikro

PENDAHULUAN

Baru-baru ini, karena meningkatnya perhatian terhadap lingkungan, industri otomotif berada dalam tren *pasca-oil*, dan teknologi untuk mengurangi konsumsi bahan bakar telah berkembang pesat, seperti teknologi ringan dan perampingan mesin untuk kendaraan ramah lingkungan. Untuk mencapai pengurangan ini, produk metalurgi serbuk (yang merupakan komponen sistem saat ini) juga diharuskan memiliki kinerja yang lebih tinggi. Selain itu, pengembangan produk lapangan baru (seperti material magnetis) diharapkan dapat memenuhi tren baru di industri otomotif, kendaraan listrik dan *hybrid*. Selain itu, penerapan aplikasi generasi mendatang dalam metalurgi serbuk sangat penting di pasar negara berkembang seperti peralatan rumah tangga, peralatan informasi, energi berkelanjutan, dan ilmu kehidupan. (Tsutsui 2012)

Metalurgi serbuk adalah serangkaian proses lanjutan yang digunakan untuk mensintesis, memproses, dan membentuk berbagai bahan. Sejak akhir Perang Dunia II, metode yang awalnya terinspirasi oleh pemrosesan keramik, termasuk produksi bubuk dan konversinya menjadi produk padat, telah menarik banyak perhatian. (Novák 2020) Metalurgi serbuk memiliki banyak keunggulan, yang pertama dapat mengurangi limbah yang tersisa dalam produksi, karena metalurgi serbuk ini menggunakan limbah yang tidak terpakai dalam proses pengolahannya untuk kemudian dijadikan serbuk logam. Dengan cara ini dinilai akan sangat menguntungkan perindustrian manufaktur, karena perindustrian manufaktur akan mengurangi limbah yang tidak terpakai pada hasil pengolahan mekanis, dan karena tidak perlu lagi membeli bahan baku, juga dapat menghemat biaya produksi.

Ada beberapa jenis logam yang dapat digunakan dalam metalurgi serbuk, namun yang paling biasa digunakan adalah aluminium (Al). Aluminium murni mempunyai ketahanan korosi yang baik, ringan, dan kemampuan kerja. Namun, untuk memperbaiki sifat mekanisnya, aluminium biasanya digabungkan bersama logam lain untuk membentuk paduan. Perkembangan produksi mobil yang hemat energi dan ramah lingkungan telah mengalihkan minat dalam industri transportasi dari bahan struktural tradisional ke komponen ringan berkekuatan tinggi. Mengurangi bobot kendaraan dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar dan membatasi emisi gas rumah kaca, sehingga meningkatkan perlindungan lingkungan. Karena sifatnya yang sangat baik, termasuk kepadatan rendah, kekuatan dan kekakuan spesifik yang tinggi, dan deformabilitas yang lebih baik, paduan dan paduan berbasis aluminium dan magnesium berkembang menjadi pengganti potensial untuk bahan konvensional di industri. (Shahid and Scudino 2018)

Banyak faktor yang mempengaruhi sifat mekanik dan mikrostruktur paduan aluminium-magnesium, diantaranya adalah perubahan % berat magnesium pada paduan aluminium-magnesium. Pada Al + 5% Mg, struktur mikro paduan aluminium menunjukkan bahwa Mg semakin terdispersi dalam matriks larutan padat α -aluminium. Pengaruh sifat mekanis paduan aluminium menunjukkan bahwa nilai kekerasan semakin meningkat. Proses sintering temperatur 400°C, holding time 2 jam menunjukkan distribusi terbentuknya solid solution Al-Mg semakin banyak terjadi pada tekanan 150 Mpa. (Purwaningsih and Sholihuddin 2013)

Berdasarkan pada uraian pendahuluan di atas, peneliti bermaksud menginvestigasi

pengaruh variasi tekanan kompaksi dan % Mg terhadap stuktur mikro dan densitas paduan Al-Mg. Variasi kompaksi yang digunakan yaitu sebesar 150, 200, dan 250 Bar dengan variasi % Mg 3.5, 4.5, dan 5.5% dari massa specimen disinter pada suhu 400 °C selama 10 menit.

PROSEDUR EKSPERIMEN

Penimbangan

Pada proses ini dilakukan penimbangan komposisi dari matrik aluminium (Al) dengan bahan penguat magnesium (Mg). Supaya mendapatkan hasil yang akurat yang sesuai dengan takaran maka menggunakan alat timbangan digital. Berikut adalah langkah-langkah proses penimbangan:

- Menyiapkan alat neraca digital
- Mengkalibrasi timbangan agar mendapatkan hasil yang akurat.
- Menimbang bahan sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan (dengan komposisi 3.5, 4.5, dan 5.5 % Mg dari berat specimen yaitu sebesar 5gr)
- Setelah semua bahan yang ditentukan selesai ditimbang dilanjutkan proses pencampuran

Pencampuran

Setelah dilakukan penimbangan selanjutnya serbuk aluminium dan magnesium yang masing-masing sudah di timbang dengan massa yang sudah ditentukan. Kemudian kedua bahan tersebut di campur menggunakan gelas ukur dengan cara pencampuran biasa (*dry mixing*).

Pencetakan

Proses pencetakan dilakukan setelah proses pencampuran komposisi serbuk aluminium (Al) dan magnesium (Mg) yang telah dicampur sebelumnya. Pematatan ini

akan meningkatkan densitas dan gaya ikat antar partikel serbuk. Berikut langkah-langkah pada proses pencetakan :

- Mempersiapkan peralatan untuk pencetakan (*Die*) dan hidrolik press
- Susun cetakan (*Die*) menjadi satu kesatuan
- Masukkan serbuk Al-Mg yang selesai di campur dengan berat yang sudah ditentukan kedalam cetakan (*Die*)
- Letakkan cetakan (*Die*) di alat hidrolik press
- Selanjutnya ialah proses kompaksi yang dimana alat cetakan (*Die*) diberikan tekanan

Penekanan (Kompaksi)

Tekanan (pematatan) diperlukan saat membuat sampel dengan bentuk tertentu sesuai dengan cetakannya. Metode yang digunakan adalah *cold compressing* yaitu penekanan dengan temperatur kamar. Metode ini digunakan jika bahan yang dipakai mudah teroksidasi, seperti Al

Berikut adalah langkah-langkah Kompaksi :

- Letakkan cetakan (*Die*) yang sudah terisi campuran serbuk Al-Mg di alat hidrolik press
- Beri tekanan pada cetakan (*Die*) dengan menaikkan dan menurunkan tuas pada alat hidrolik press sampai pada tekanan yang ditentukan yang bisa dilihat pada indicator tekanan hidrolik press
- Untuk variasi tekanan yaitu
 - 4000 Psi dengan waktu penahanan selama 5 menit
 - 5000 Psi dengan waktu penahanan selama 5 menit
 - 6000 Psi dengan waktu penahanan selama 5 menit
- Setelah selesai dilakukan penekanan keluarkan specimen dari cetakan,

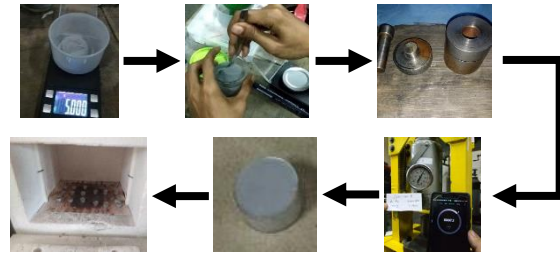
kemudian bungkus dan beri label sebagai tanda pada setiap campuran agar tidak tertukar

Sintering

Setelah spesimen dipadatkan dengan bentuk yang sesuai dengan cetakan yaitu berbentuk tablet, kemudian dilakukan proses sintering. Sintering merupakan proses pemanasan material atau spesimen dengan cara memanaskan namun tidak sampai melampaui batas titik leburnya, agar butiran – butiran saling mengikat (difusi) dan terjadi nilai peningkatan densitas. Pada proses sintering ini dilakukan menggunakan alat oven (furnice) dan diatur dengan suhu sintering yang ditentukan dengan waktu tahan sinter yaitu selama 90 menit dengan suhu 450°C. Adapun langkah – langkah proses sinter yaitu sebagai berikut :

1. Mempersiapkan sampel untuk proses perlakuan panas (sintering).
2. Menyalakan furnice kedian memasukkan sampel
3. Mengatur otomatis temperatur dan waktu tahan sinter yang ditentukan pada furnice.
4. Setelah selesai otomatis furnice akan bekerja dengan temperatur dan waktu tahan sinter yang ditentukan.
5. Otomatis furnice jika sudah mencapai temperatur dan waktu tahan sinter yang diinginkan, temperatur pada furnice akan turun.
6. Untuk Pendinginan pada sampel menggunakan pendinginan *normalizing*.

Mengulangi kembali dengan sampel yang berbeda namun dengan temperatur serta waktu tahan yang sama



Gambar 1 Langkah pembuatan benda uji

Pengujian

Pengujian yang dilakukan yaitu uji Densitas, Struktur Mikro, dan Kekerasan. Uji Densitas dilakukan untuk menentukan nilai kepadatan suatu bahan. Uji Struktur Mikro bertujuan untuk mengamati butiran pada specimen Al-Mg dan Al murni. Uji Kekerasan dilakukan setelah pengujian densitas dan pengujian struktur mikro yang bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasannya.

Pengujian Densitas

Dari pengujian densitas ini dapat mengetahui kepadatan atau kerapatan dari sampel yang di uji. Pengukuran densitas pada sampel dilakukan berdasarkan berat sampel kering dan kenaikan volume air pada saat setelah dimasukkan sampel, kemudian dapat dilihat nilai densitasnya. Atau dapat dituliskan:

$$\rho = \frac{m}{V_2 - V_1} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

$$\rho = \text{Densitas (gr/cm}^3\text{)}$$

$$m = \text{Massa (gr)}$$

$$V = \text{Volume (ml = cm}^3\text{)}$$

Cairan yang digunakan dalam uji densitas pada sampel adalah air Ph8 (air aquadess).



Gambar 2 Skema Uji Densitas

Langkah – langkah pada pengujian densitas adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan waterpass untuk melihat kerataan alas untuk pengujian .
2. Mengkalibrasi neraca digital supaya tepat dititik nol pada saat digunakan untuk penimbangan sampel dan mendapatkan hasil yang akurat.
3. Menimbang serta mencatat data sampel kering yang sudah disinter.
4. Mengisi gelas ukur dengan air *Ph 8* (air aquadess) dengan ukuran volume 10 ml.
5. Memasukkan sampel yang sudah di sinter kedalam gelas ukur yang sudah diisi dengan air *Ph8 (air aquadees)*.
6. Mencatat data kenaikan volume air pada skala gelas ukur setelah sampel dimasukkan
7. Menghitung hasil data pengujian dengan rumus yang sudah ditentukan untuk mengetahui kepadatan sampel
8. Buang air aquades yang sudah digunakan, bersihkan gelas ukur kemudian isi dengan air aquades yang baru untuk pengujian sampel berikutnya

Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro bertujuan untuk mengamati butiran pada specimen Al-Mg dan Al murni, sebelum dilakukan pengamatan permukaan atas dan bawah harus sejajar merata dan harus mengkilap lalu diberikan cairan etsa NaOH pada bagian specimen yang akan di uji struktur mikro.



Gambar 3 Skema Uji Struktur Mikro

Langkah – langkah pengamatan uji struktur mikro adalah sebagai berikut :

1. *Grinding* (Pengamplasan)

Proses ini dilakukan dengan menghaluskan permukaan yang akan di uji dengan tujuan untuk meratakan serta menghilangkan kerak pada permukaan specimen sampai di dapatkan permukaan yang halus, nomor amplas yang digunakan adalah ukuran 800, 1000, 1500. Pengamplasan dilakukan secara bertahap dari nomor amplas yang paling kecil (kasar) sampai paling besar (halus).

2. *Polishing* (Pemolesan)

Tahap ini bertujuan untuk menghasilkan specimen yang lebih rata dan mengkilap, hingga tidak ada goresan pada specimen yang akan diuji. Permukaan specimen di *polishing* menggunakan autosol dan kain yang halus.

3. Pengetsaan

Tahap ini untuk mengamati mikrostruktur perlu dilakukan proses etsa, proses korosi terkontrol yang bertujuan untuk mengikis batas butir, sehingga nantinya struktur mikro agar terlihat lebih jelas. Untuk pengamatan struktur aluminium zat etsa yang diberikan berupa larutan yang terdiri dari campuran: NaOH + Water pada bagian permukaan sampel dicelup dan ditahan selama 25 detik, setelah itu bersihkan dengan air. Kemudian setelah melalui proses ini, sampel sudah bisa dilakukan pengamatan struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optic.

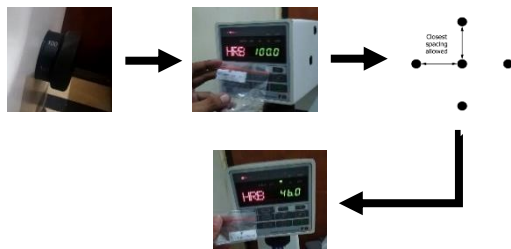
4. Pemotretan

Pemotretan ini bertujuan untuk mendapatkan gambar dari struktur mikro yang dimaksud. Pembesaran gambar

struktur mikro yang akan dipakai adalah pembesaran 300X.

Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan setelah pengujian densitas dan pengujian struktur mikro. Pengujian Alat yang digunakan untuk pengujian kekerasan dalam penelitian ini menggunakan uji kekerasan Rockwell. Pada uji kekerasan rockwell yang digunakan adalah rockwell B (HRB) dengan standar pengujian ASTM E18-15 HRB pada indentor bola baja dengan diameter 1/16 inci dengan beban ujinya 100 kgf untuk mengetahui gambaran sifat mekanis suatu material.



Gambar 4 Skema Uji Kekerasan

Langkah – langkah pada pengujian kekerasan Rockwell B sebagai berikut:

1. Ratakan dan haluskan kedua permukaan spesimen uji menggunakan amplas supaya kedua bidang permukaan sejajar.

2. Menyiapkan perangkat uji kekerasam Rockwell B
3. Memasang indentor bola baja berdiameter 1/16 inci.
4. Memasang sampel uji pada landasan.
5. Sentuhkan spesimen uji pada indentor dengan memutar piringan searah jarum jam sampai beban uji mencapai angka sampai 100 kgf. Jika terasa berat, jangan dipaksakan tetapi harus diputar balik dan diulangi.
6. Setelah selesai tunggu sampai beban uji pada uji kekerasan spesimen selesai.
7. Catat data yang muncul pada layar kekerasan Rockwell B.

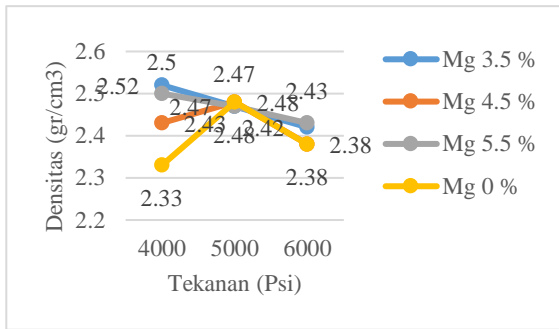
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Densitas

Pengujian densitas adalah untuk mengetahui karakteristik dan kemampuan bahan. Menurut hukum Archimedes, berat suatu benda sama dengan berat air yang dipindahkan. Menurut hukum ini, massa jenis bahan dapat ditentukan dengan menimbang bahan di udara dan cairan. Berikut ini adalah data hasil uji densitas:

Tabel 1 Hasil Uji Densitas

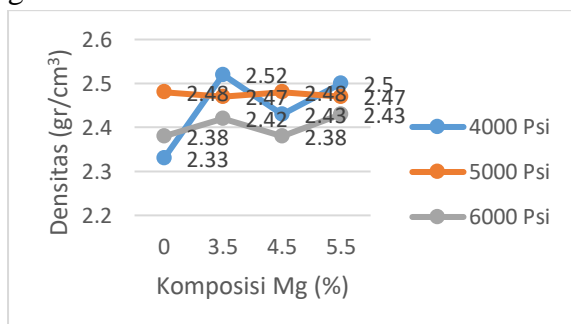
Kode	Sampel	Massa (gr)	V1 (ml)	V2 (ml)	$\rho = \frac{m}{V2-V1}$ (gr/cm ³)	Rata-rata
T4K3.5	1	4.961	10	12	2.4805	2.52
	2	4.928	10	12	2.464	
	3	5.23	10	12	2.615	
T5K3.5	1	4.919	10	12	2.4595	2.47
	2	4.951	10	12	2.4755	
	3	4.963	10	12	2.4815	
T6K3.5	1	4.827	10	12	2.4135	2.42
	2	4.857	10	12	2.4285	
	3	4.814	10	12	2.407	



Gambar 5 Grafik Pengaruh Tekanan Terhadap Densitas

Dari gambar 5 pada tekanan 4000 Psi mendapatkan harga densitas terendah pada komposisi 3,5% yaitu 2,52 gr/cm³ dan harga terbesar pada komposisi Al murni yaitu 2,33 gr/cm³. Pada tekanan 5000 Psi harga densitasnya stabil pada 2,47 gr/cm³ sampai 2,48 gr/cm³, sedangkan pada tekanan 6000 Psi harga densitas mengalami peningkatan untuk masing masing variasi komposisi kecuali pada variasi Aluminium Murni.

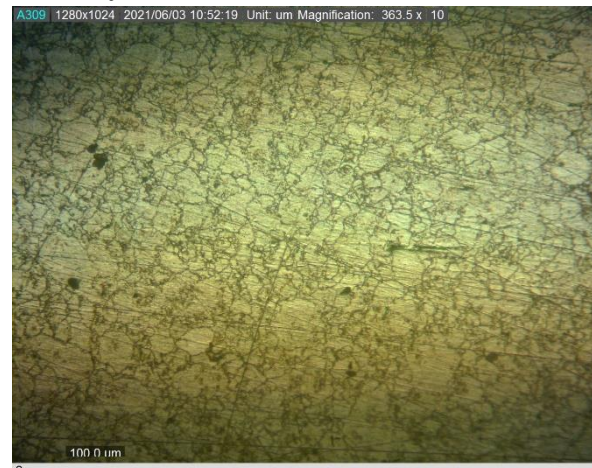
Dari gambar 6 pada komposisi 3,5% Mg mendapatkan harga densitas terendah yaitu sebesar 2,42 gr/cm³, sedangkan yang tertinggi adalah 2,52 gr/cm³. Pada komposisi penambahan 4,5% Mg densitas terendahnya pada 2,38 gr/cm³. Pada komposisi penambahan Mg 5,5% harga densitas terendahnya adalah 2,43 gr/cm³ dan terendah pada 2,5 gr/cm³. Nilai densitas terendah dari variasi penambahan terdapat pada 0% Mg atau Aluminium murni yaitu sebesar 2,33 gr/cm³.



Gambar 6 Grafik Pengaruh Komposisi Mg Terhadap Densitas

Tekanan pada specimen berpengaruh terhadap densitas, yaitu ketika tekanan yang diberikan semakin tinggi mengakibatkan menurunnya nilai densitas dari titik tertinggi 2,52 gr/cm³ menjadi 2,38 gr/cm³, kecuali pada aluminium murni yang semakin meningkat nilai densitasnya ketika di berikan beban semakin tinggi. Penambahan unsur magnesium juga berpengaruh terhadap densitas, ketika komposisi Mg diberikan sebesar 4,5% nilai densitasnya semakin turun, tetapi ketika diberikan komposisi Mg 3,5% dan 5,5% nilai densitasnya naik. Dan nilai densitas terendah terdapat pada aluminium murni.

Hasil Uji Struktur Mikro



Gambar 7 Foto Struktur Mikro Spesimen T4K3.5

Gambar 7 menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro pada perbesaran 363.5X. Pada proses pembuatan material paduan matriks logam dengan metalurgi serbuk diharapkan partikel-partikel yang diperkuat magnesium terdistribusi secara merata dalam matriks aluminium tanpa terjadi aglomerasi, karena jika terjadi aglomerasi maka sifat fisik dan mekanik material paduan akan berkurang. Pada dasarnya keseragaman distribusi Al-Mg akan mempengaruhi sifat fisik dan mekaniknya. Selama proses

sintering, atom bergerak untuk meningkatkan jumlah kontak antar partikel. Keadaan ini terus membaik pada tahap selanjutnya, membentuk sambungan antar butir, dan terus menerus menghilangkan pori antar butir selama waktu penahanan.

Dari pengamatan struktur mikro masing-masing aditif tekanan dan komposisi pada gambar 7, terlihat bahwa distribusi serbuk Mg dan serbuk Al tidak merata sehingga mengurangi sifat fisik dan mekanik sampel paduan. Partikel aluminium putih (berwarna terang) dan partikel magnesium abu-abu (berwarna gelap) terlihat jelas,

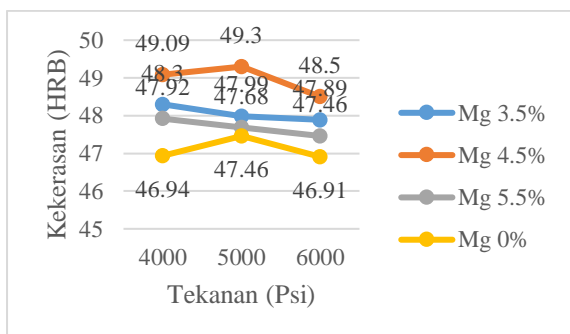
menunjukkan adanya gumpalan, menunjukkan bahwa bubuk aluminium dan bubuk magnesium belum membentuk kombinasi yang sempurna.

Hasil Uji Kekerasan

Tujuan dari pengujian kekerasan adalah untuk mengetahui nilai kekerasan dari beberapa bagian benda yang diuji, sehingga dapat diketahui distribusi kekerasan dan rata-rata kekerasan dari semua benda yang diuji. Dalam uji kekerasan, lima titik diuji, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4

Tabel 2 Hasil Uji Kekerasan

N0	Sampel	Titik Uji Nilai Kekerasan					Rata-rata
		1	2	3	4	5	
1	T4K3,5a	48.1 HRB	48.7 HRB	48.4 HRB	48.9 HRB	48.9 HRB	48.3 HRB
2	T4K3,5b	46.5 HRB	49.3 HRB	48.2 HRB	49.5 HRB	50.1 HRB	
3	T4K3,5c	45.9 HRB	45.8 HRB	49.6 HRB	49.8 HRB	46.8 HRB	
4	T5K3,5a	41.1 HRB	48.4 HRB	45.8 HRB	46.4 HRB	48.9 HRB	47.99 HRB
5	T5K3,5b	50.7 HRB	50.5 HRB	50.3 HRB	51.9 HRB	50.2 HRB	
6	T5K3,5c	45.5 HRB	46.9 HRB	46.4 HRB	48.7 HRB	48.1 HRB	
7	T6K3,5a	46.4 HRB	43.6 HRB	48 HRB	46.5 HRB	48.5 HRB	47.89 HRB
8	T6K3,5b	51.3 HRB	49.6 HRB	50.8 HRB	50.9 HRB	51.8 HRB	
9	T6K3,5c	45.9 HRB	45.6 HRB	45.3 HRB	46 HRB	48.2 HRB	



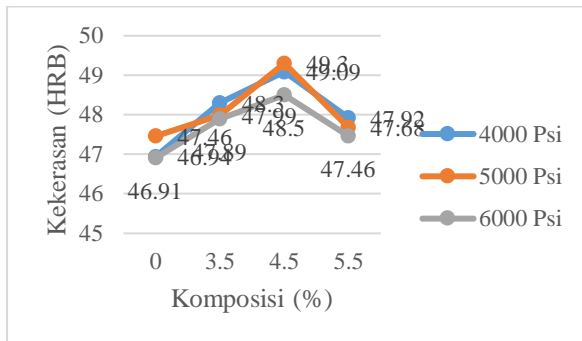
Gambar 8 Grafik Pengaruh Tekanan Terhadap Kekerasan

Dari gambar 8 pada tekanan 4000 Psi harga kekerasan tertinggi adalah 49,09 dan terendahnya adalah 46,94. Pada tekanan 5000 Psi untuk variasi Al murni dan

penambahan 4,5% Mg mengalami peningkatan, sedangkan variasi penambahan 3,5% Mg dan 5,5% Mg Mengalami penurunan harga kekerasan, pada tekanan 6000 Psi harga tekanan kembali mengalami penurunan. Kesimpulannya harga kekerasan tertinggi terdapat pada tekanan 5000 Psi yaitu sebesar 49,30 dan harga kekerasan terendah pada tekanan 4000 Psi yaitu 46,94.

Dapat dilihat pada gambar 9 bahwa pada komposisi penambahan 3,5% Mg harga kekerasan tertingginya yaitu 48,30 HRB, dan ketika komposisi penambahan Mg ditingkatkan menjadi 4,5% kekerasannya

meningkat sebesar 49,30 HRB. Namun ketika Mg ditambahkan menjadi 5,5% harga kekerasannya menurun hingga 47,46 HRB begitu juga dengan Al murni harga kekerasannya sangat rendah jika dibandingkan dengan Aluminium paduan.



Gambar 9 Grafik Pengaruh Komposisi Mg Terhadap Kekerasan

Komposisi penambahan Magnesium berpengaruh pada kekerasan specimen, yakni semakin bertambahnya magnesium hingga 4,5 % mengakibatkan bertambahnya kekerasan, namun ketika magnesium ditambahkan menjadi 5,5% kekerasannya menurun. Sedangkan tekanan yang semakin tinggi jika diberikan kepada specimen mengakibatkan menurunnya kekerasan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Melalui penelitian dan pengamatan yang telah dilakukan sebagaimana diatas dapat disimpulkan bahwa :

1. Dengan memvariasikan penambahan %Mg (3,5%, 4,5%, 5,5% dan tanpa Mg) pada paduan Al paduan Mg dengan metode metalurgi serbuk dapat mempengaruhi nilai densitas dan kekerasan dengan nilai densitas terendah pada aluminium murni dengan tekanan 4000 Psi dengan nilai $2,33 \text{ gr/cm}^3$, dan nilai densitas tertinggi pada Aluminium dengan penambahan 3,5% Mg dengan tekanan 4000 Psi dengan nilai $2,52$

gr/cm^3 . Sedangkan nilai kekerasan terendah pada tekanan 6000 Psi tanpa penambahan Mg yaitu 46,91 HRB, dan nilai kekerasan tertinggi pada tekanan 5000 Psi dengan penambahan Mg 4,5% dengan nilai kekerasan 49,3 HRB. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi penambahan paduan Mg membuat densitasnya menurun, dapat dilihat pada grafik 4.2, dan juga semakin tinggi penambahan Mg, nilai kekerasannya juga mengalami penurunan.

2. Dengan memvariasikan tekanan (4000 Psi, 5000 Psi, dan 6000 Psi) pada paduan Aluminium paduan Mg dan aluminium murni dengan metode metalurgi serbuk dapat mempengaruhi nilai densitas dan kekerasan dengan nilai densitas terendah pada aluminium murni dan nilai densitas tertinggi pada Aluminium dengan penambahan 3,5% Mg, Sedangkan nilai kekerasan terendah pada variasi aluminium murni dan nilai kekerasan tertinggi pada tekanan 5000 Psi
3. Al murni dengan perbesaran $363.8x$ terlihat komponen utama Al dengan struktur mikro menunjukkan α -aluminum solid solution. Sedangkan dengan penambahan 3.5% Mg pada Al terlihat struktur mikro Mg berbentuk bulat pada matriks α -aluminum. Untuk penambahan 4.5% Mg pada struktur mikro menunjukkan Mg semakin tersebar pada matriks α -aluminum solid solution. Pada penambahan unsur Mg 5.5% pada T6K5.5 struktur mikronya menunjukkan Mg semakin tersebar, namun porositasnya juga semakin menyebar. Unsur Mg yang tersebar pada matriks α -aluminum dapat meningkatkan sifat mekanik dari paduan Al-Mg.

PENGHARGAAN

Penghargaan setinggi-tingginya kepada Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia atas pendanaan penelitian ini dalam skema Penelitian Dosen Pemula

REFERENSI

- ASTM. 2004a. "Standard Test Methods for Determining Average Grain Size."
- ASTM. 2004b. "Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials."
- Davis, J. R. 2001. "Aluminum and Aluminum Alloys." *ASM International* 351–416.
- Kutz, Myer. 2015. *Mechanical Engineers Handbook: Materials and Engineering Mechanics*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Novák, Pavel. 2020. "Advanced Powder Metallurgy Technologies." *University of Chemistry and Technology, Prague, Department of Metals and Corrosion Engineering, Technická 5, 166 28 Prague 6, Czech Republic*; 13:1–3.
- Purwaningsih, Hariyati, and M. Muzakki Sholihuddin. 2013. "Analisis Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik Paduan Al-Mg Hasil Proses Metalurgi Serbuk." Vol. 1(*Jurnal POMITS*):1–5.
- Rusianto, Toto. 2009. "Hot Pressing Metalurgi Serbuk Aluminium Dengan Variasi Suhu Pemanasan." *Jurnal Teknologi* 2(1):89–95.
- Shahid, Rub Nawaz, and Sergio Scudino. 2018. "Microstructure and Mechanical Behavior of Al-Mg Composites Synthesized by Reactive Sintering." *Metals* 8(10).
- Thummler, T., and R. Oberacker. 1993. *An Introduction to Powder Metallurgy*. edited by J. I. and J. V. WOOD. The Institute of Materials 1 Carlton House Terrace London SW1Y 5DB.
- Totten, George E., and D. Scott MacKenzie. 2003. *Handbook of Aluminum*. Vol. 1. 270 Madison Avenue, New York, NY 10016.
- Tsutsui, Tadayuki. 2012. "Recent Technology of Powder Metallurgy and Applications." *Hitachi Chemical Technical Report No.54* (54):12–20.