

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

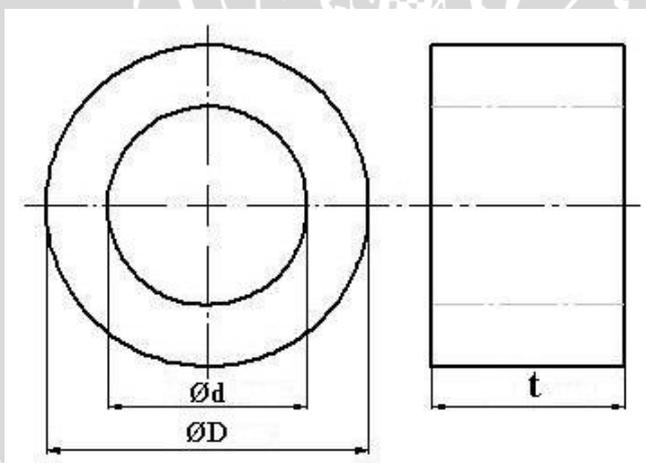
4.1. Hasil

4.1.1. Data Pengukuran Dimensi Spesimen

Pengukuran dimensi spesimen dimaksudkan untuk membandingkan dimensi sebenarnya dari sebuah spesimen dengan dimensi rancangan spesimen. Terjadi selisih ukuran yang diakibatkan oleh penyusutan. Berikut ini tabel dimensi spesimen.

Tabel 4.1 Data pengukuran dimensi spesimen tiap kadar *binder*.

No	Kadar Binder (% wt)	Ød (mm)	ØD (mm)	t (mm)
1	0	19,8	39,2	24,3
2	1	19,3	39,6	24,2
3	2	19,6	39,5	23,9
4	4	18,9	39,9	23,8
5	6	19,7	38,8	23,6
6	8	19,4	39,7	23,8



Gambar 4.1. Dimensi spesimen hasil *powder metallurgy*

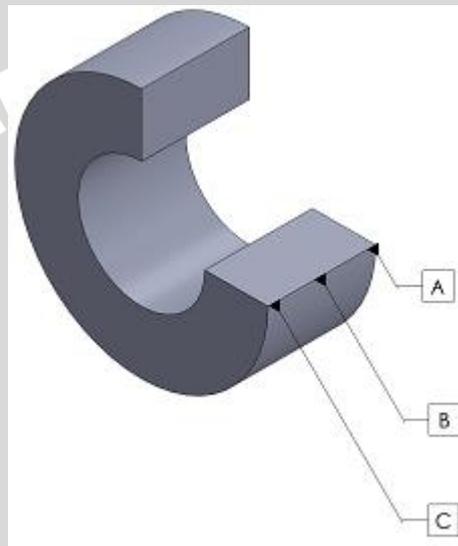
4.1.2. Data Pengujian Kekerasan

Dari pengujian yang telah dilakukan nilai kekerasan *Vickers* (VHN) seperti tabel 4.1. Dalam pengujian sampel yang diambil untuk tiap variasi kadar *binder* yaitu A (0,3cm), B (1 cm) dan C (1,7 cm dari ujung pangkal atas). Pada tiap bagian sampel masing-masing



dilakukan tiga kali pengulangan di titik yang berbeda. Nilai kekerasan diperoleh dengan cara mencari rata-rata nilai kekerasan tiap sampel.

Menurut ASTM E92-82R03E1 *Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials* menunjukkan bahwa titik pusat indentasi seharusnya tidak boleh lebih dekat dengan ujung spesimen uji atau titik indentasi lainnya dari jarak yang sama dengan dua atau satu setengah kali panjang diagonal titik indentasi. Ketika permukaan material diuji, sebuah batas ikatan permukaan seharusnya diputuskan sebagai sebuah ujung untuk jarak perhitungan lekukan.

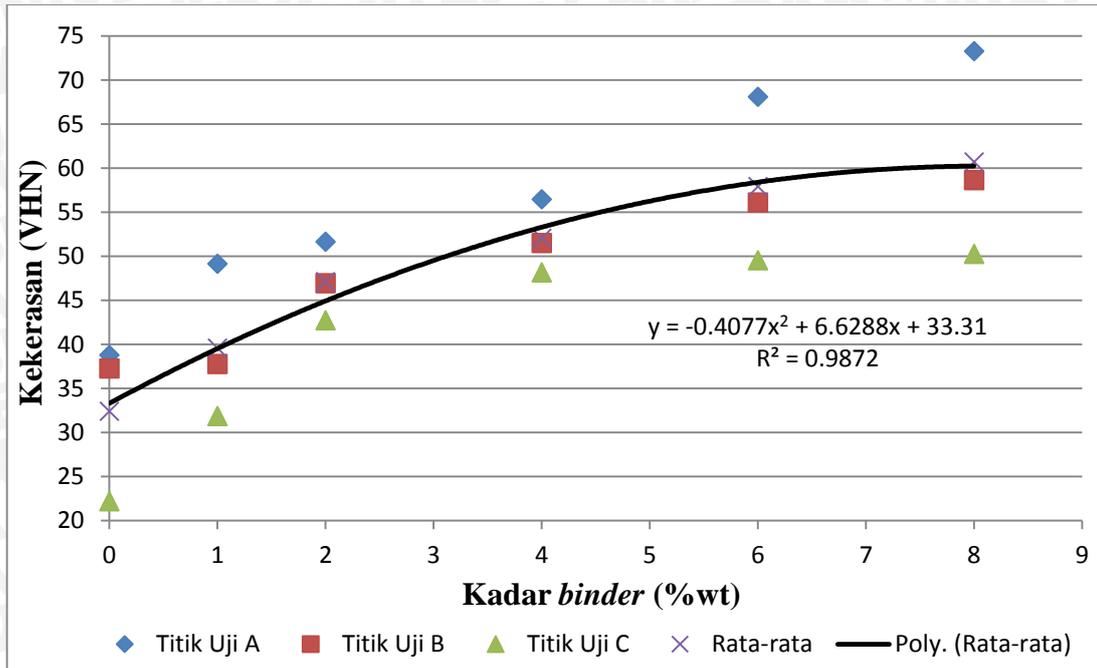


Gambar 4.2. Bagian *bushing* yang di uji kekerasannya

Tabel 4.2. Data pengaruh variasi kadar *binder* terhadap kekerasan

Kadar <i>Binder</i> (%wt)	Kekerasan Daerah titik uji (VHN)			
	A	B	C	Rata-rata
0	37,78	37,25	22,18	32,40
1	49,13	37,78	31,85	39,59
2	51,62	46,91	42,74	47,08
4	56,46	55,48	48,15	53,36
6	68,09	56,09	49,53	57,90
8	73,26	58,61	50,25	60,71

Dari tabel 4.1 Data hasil pengujian kekerasan didapat hubungan antara variasi kadar *binder* dan kekerasan yang terjadi pada tiap-tiap variasi dan digrafikkan seperti gambar 4.2.



Gambar 4.3. Grafik pengaruh variasi kadar *binder* terhadap kekerasan

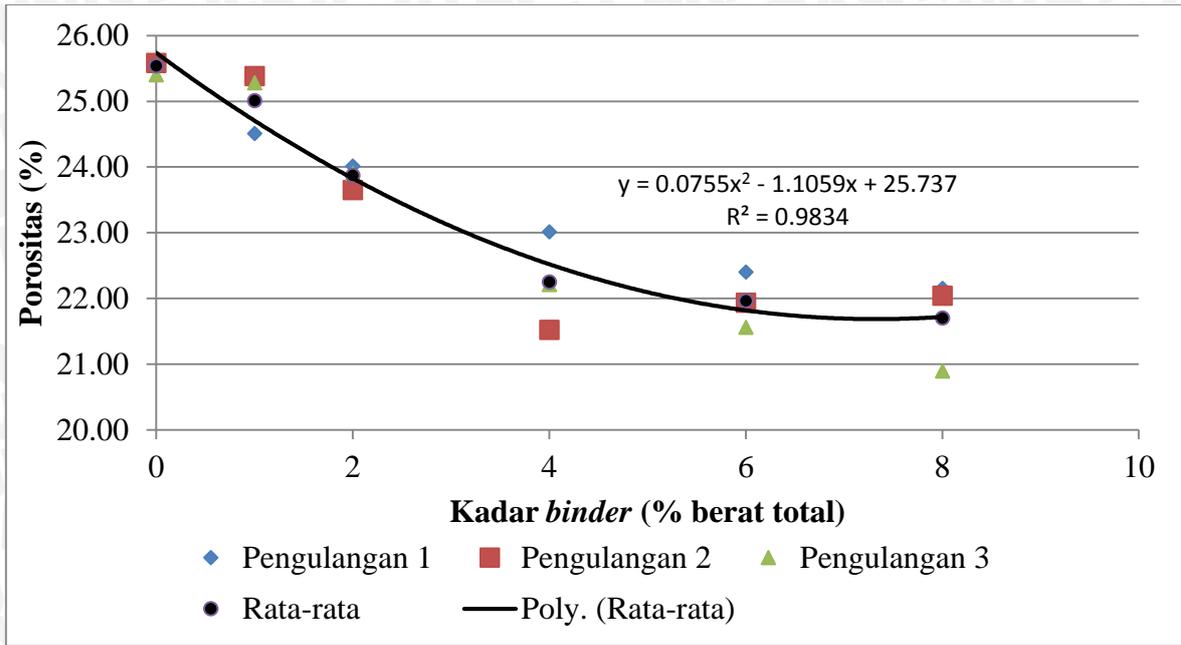
#### 4.1.3. Data Pengujian Prosentase Porosity

Tabel 4.3 Data Persentase porositas (%)

Pengulangan	Porositas (%)					
	0% wt	1% wt	2% wt	4% wt	6% wt	8% wt
1	25,61	24,51	24,01	23,01	22,40	22,15
2	25,58	25,38	23,65	21,52	21,93	22,04
3	25,4	25,28	23,9	22,21	21,56	20,89
Rata-rata	25,54	25,01	23,87	22,25	21,96	21,7

Hasil porositas diatas didapat melalui serangkaian perhitungan yang dapat dilihat pada sub bab perhitungan porositas.

Dari tabel 4.2 Data hasil pengujian porositas dengan metode *picnometry* didapat hubungan antara variasi kadar *binder* dan porosity yang terjadi pada tiap-tiap variasi dan digrafikkan seperti gambar 4.2.



Gambar 4.4. Grafik pengaruh variasi kadar binder terhadap porosity

### 4.1.3 Perhitungan Porosity

#### 4.1.3.1. Perhitungan True density

Tabel 4.4 Densitas Unsur (gr/cm<sup>3</sup>)

Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	Unsur yang terkandung dalam Duralumin											
	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ni	Ti	Pb	Sn
	2,7	2,33	7,87	8,89	7,3	1,81	7,14	7,15	8,9	4,51	11,33	7,29

Hasil densitas unsur didapatkan berdasarkan nilai densitas untuk masing-masing unsur berdasarkan tabel periodik unsur.

Tabel 4.5 Prosentase Unsur untuk Kadar Binder 0%

Prosentase (%)	Unsur yang terkandung dalam Duralumin											
	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ni	Ti	Pb	Sn
	93,525	0,405	0,442	5,29	0,043	0,159	0,108	0,007	0,004	0,011	0,001	0,005

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan True Density

True Density (gr/cm <sup>3</sup> )(**)	Kadar binder (% wt)					
	0	1	2	4	6	8
	2,811	2,797	2,782	2,755	2,727	2,700



(\*\*) Perhitungan *True Density* masing-masing spesimen dengan kadar magnesium yang berbeda-beda. *True density* ialah berat jenis spesimen sebelum dilakukan proses HIP.

Perhitungan *true density* menggunakan standar ASTM E252-84. Data hasil dihitung menggunakan rumus (2-6):

$$\begin{aligned} &= \frac{100}{\text{Total A}} \\ &= \frac{100}{37,577} = 2,811 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Total A} = \sum \frac{\text{Prosentase Unsur}}{\text{Densitas Unsur}}$$

Dengan adanya variabel kadar Mg maka mempengaruhi nilai *true density* masing-masing spesimen. Dengan semakin meningkatnya nilai kadar Mg yang terkandung, maka nilai *true density*-nya juga akan menurun.

#### 4.1.3.2 Perhitungan *Apparent density*

Data hasil penimbangan menggunakan metode piknometri dan standar ASTM B311-93 dihitung menggunakan rumus (2-4)

Tabel 4.7 Hasil Penimbangan Spesimen Menggunakan Metode *Picnometri*

Kadar <i>Binder</i> (% wt)	Pengulangan	Berat (gr)		
		$W_s$	$W_b$	$W_{sb}$
0	1	39,56	3,153	24,42

Keterangan :

$W_s$  = Berat sampel di luar air (gr).

$W_{sb}$  = Berat sampel dan keranjang di dalam air (gr).

$W_b$  = Berat keranjang di dalam air (gr).

Perhitungan densitas sampel menggunakan data pengulangan pertama dengan variasi kadar *binder* 0%, menggunakan rumus (2-7):

$$\begin{aligned} &= 0,9668 \frac{39,56}{39,56 - (24,42 - 3,153)} \\ &= 2,091 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh perhitungan *apparent density* sebagai berikut:

Tabel 4.8 Data *Apparent density* ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

Pengulangan	<i>Apparent Density</i> untuk tiap spesimen ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )					
	0%	1%	2%	4%	6%	8%
1	2,091	2,109	2,114	2,121	2,116	2,102
2	2,092	2,087	2,124	2,162	2,129	2,105
3	2,097	2,090	2,117	2,143	2,139	2,136
Rata-rata	2,093	2,095	2,118	2,142	2,128	2,114

#### 4.1.3.2 Perhitungan *Porosity*

Perhitungan prosentase porositas yang terjadi dapat diketahui dengan membandingkan densitas sampel atau *apparent density* dengan densitas teoritis atau *true density*. Perhitungan presentase porositas menggunakan data pengulangan pertama dengan kadar Mg 0 %, menggunakan rumus (2-8):

$$\begin{aligned}
 &= 1 - \frac{2,091}{2,811} \times 100\% \\
 &= 25,61 \%
 \end{aligned}$$

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Hubungan Variasi Kadar *Binder* dan Kekerasan Duralumin

Dari gambar 4.2 dapat dilihat bahwa terdapat pengaruh penambahan kadar Magnesium terhadap nilai distribusi kekerasan spesimen. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai berkisar antara paling rendah 22,18 VHN dan nilai paling tinggi 73,26 VHN di ketiga titik uji A, B dan C Spesimen dengan kadar Mg 0% terlihat nilai distribusi kekerasan spesimen ialah 22,18 VHN – 37,78 VHN.

Bagian pangkal spesimen atau titik uji A yang bersentuhan langsung dengan penekan (Punch) memiliki kekerasan yang lebih tinggi daripada kekerasan di titik uji B dan C yaitu kadar Mg 0%, 1%, 2%, 4%, 6% dan 8% masing-masing memiliki nilai kekerasan 37,78 VHN, 49,13 VHN, 51,62 VHN, 56,46 VHN dan 73,26 VHN.

Bagian titik uji C memiliki kekerasan yang paling rendah bila dibandingkan dengan titik uji A dan B yaitu kadar Mg 0%wt, 1%wt, 2%wt, 4%wt, 6%wt dan 8%wt masing-

masing memiliki nilai kekerasan 22,18 VHN, 31,85 VHN, 42,74 VHN, 48,15 VHN, 49,53 VHN dan 50,25 VHN. Untuk pembuatan bushing kompaksi dilakukan satu arah, bagian atas adalah bagian yang berhubungan langsung dengan punch, sedangkan bagian bawah langsung berhubungan dengan base sehingga tekanan kompaksi yang terjadi lebih tinggi dibagian atas dibanding bagian bawah. Sehingga butiran serbuk duralumin mengalami kepadatan yang tidak merata di bagian ujung pangkal atas sampai ujung pangkal bawah.

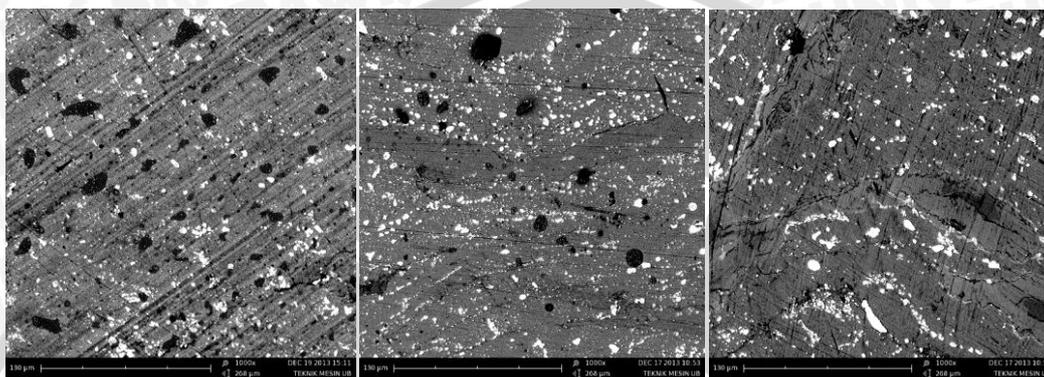
Selain itu bagian tengah titik uji B memiliki nilai kekerasan lebih rendah bila dibanding titik uji A yaitu untuk kadar Mg 0%wt, 1%wt, 2%wt, 4%wt, 6%wt dan 8%wt masing-masing memiliki nilai kekerasan 37,25 VHN, 37,78 VHN, 46,91 VHN, 55,48 VHN, 56,09 VHN dan 58,61 VHN. Dengan semakin bertambahnya kadar Mg maka kekerasannya juga akan meningkat, ini disebabkan rongga-rongga butiran serbuk duralumin saling terisi oleh serbuk Mg sehingga ikatan antar butiran akan semakin meningkat. Gelembung-gelembung yang terbentuk juga semakin sedikit dengan terisinya rongga-rongga antar butiran duralumin dengan *binder*.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai distribusi kekerasan per bagian permukaan memiliki nilai yang berbeda-beda. Di urutan pertama yang memiliki nilai distribusi kekerasan paling tinggi adalah bagian ujung pangkal spesimen dengan jarak 0,3 cm kemudian diurutan kedua bagian tengah spesimen dengan jarak 1 cm dari ujung pangkal atas dan selanjutnya bagian bawah berjarak 1,7 cm dari ujung pangkal atas. Hal ini disebabkan saat proses compacting dan sintering, serbuk duralumin mengalami penekanan satu arah sebesar 500 bar dan dipanaskan dengan suhu 500 °C secara konstan sehingga butiran di titik pengujian A mengalami gaya tekan yang lebih besar daripada titik pengujian B dan C. Sehingga menyebabkan celah antar butiran akan terisi secara merata seiring dengan bertambahnya kadar *binder* yang diberikan dan tingkat kekerasannya meningkat pula.

#### 4.2.2 Hubungan Variasi Kadar *Binder* dan Porositas Duralumin

Gambar 4.3 menunjukkan pengaruh penambahan kadar *binder* terhadap porositas. Penambahan kadar *binder* terhadap porositas dilihat melalui gambar 4.3 menunjukkan penurunan. Masing-masing nilai rata-rata dari ke-3 pengulangan uji porositas kadar *binder* berturut-turut yakni 25,54%, 25,01%, 23,87%, 22,25%, 21,96% dan 21,70%. Untuk nilai rata-rata porositas maksimum pada kadar binder 0% sebesar 25,54%, sedangkan nilai rata-rata porositas minimum untuk kadar binder 8% sebesar 21,70%. Secara keseluruhan

porositas rata-rata dari ke-3 pengulangan menunjukkan bahwa porositas semakin menurun seiring dengan bertambahnya kadar Mg. Hal ini disebabkan oleh butiran-butiran serbuk duralumin saling berikatan dengan adanya pengikat magnesium yang ditambahkan. Sehingga celah-celah antar butiran dapat terisi dengan sempurna dan porositasnya akan semakin menurun.



(a)

(b)

(c)

Gambar 4.5. (a) Hasil Foto SEM untuk kadar *Binder* 2 %wt ,(b) 4 %wt dan (c) 6 %wt setelah proses P/M dengan perbesaran 1000x

Gambar 4.4(a) dapat dilihat bahwa porositas yang berupa *blackspot* banyak di beberapa daerah hampir merata sehingga mempengaruhi tingkat porositasnya. Berbeda lagi untuk porositas gambar 4.4(b) dengan kadar *binder* 4% Hal ini disebabkan oleh peningkatan kadar *binder* menyebabkan terjadinya peningkatan kekuatan antar butiran sehingga porositas yang terjadi semakin kecil. Porositas dengan kadar *binder* 6% seperti gambar 4.4(c) dapat dilihat porositas lebih sedikit terbentuk bila dibandingkan gambar 4.4(a) dan 4.4(b). Sehingga dapat disimpulkan bahwa porositas melalui metode piknometri terbukti sesuai dengan hasil photo SEM

Dari foto SEM diatas dapat disimpulkan saat serbuk dilakukan proses P/M maka serbuk akan mengalami proses koagulasi antara serbuk satu dengan serbuk lainnya. Sehingga semakin tinggi kadar *binder* yang diberikan maka semakin kecil pula porositas yang terjadi dan rongga-rongga porositas yang terbentuk akan semakin kecil dengan ditunjukkannya *blackspot* yang semakin sedikit. Proses *compacting* dan *sintering* yang berperan penting sehingga serbuk tersebut dapat bersatu dan menjadi satu kesatuan membentuk sebuah produk (*bushing*).