

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data dan Perhitungan Hasil Pengujian

4.1.1 Data Hasil Pengujian Distribusi Kekerasan

Dari pengujian yang telah dilakukan, nilai kekerasan *Vickers* (VHN) terdapat pada tabel 4.1. Dalam pengujian sampel yang diambil untuk tiap variasi ketebalan dinding yaitu segmen 1, segmen 2, dan segmen 3. Pada tiap bagian sampel masing-masing dilakukan tiga kali pengulangan di titik yang berbeda pada permukaan uji kekerasan. Nilai kekerasan diperoleh dengan cara mencari rata-rata nilai kekerasan pada tiap sampel.

Tabel 4.1. Data Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

Ketebalan [mm]	Bagian	Titik	Nilai Kekerasan [VHN]	Rata-rata [VHN]
3	Segmen 1	Titik 1	43,98	44,23
		Titik 2	38,67	
		Titik 3	50,04	
	Segmen 2	Titik 1	41,62	38,39
		Titik 2	35,10	
		Titik 3	38,46	
	Segmen 3	Titik 1	46,36	42,03
		Titik 2	36,09	
		Titik 3	43,64	
Rata-Rata				41,55

Ketebalan [mm]	Bagian		Nilai Kekerasan [VHN]	Rata-rata [VHN]
6	Segmen 1	Titik 1	56,58	54,53
		Titik 2	52,83	
		Titik 3	54,19	
	Segmen 2	Titik 1	48,24	41,45
		Titik 2	43,64	
		Titik 3	32,48	
	Segmen 3	Titik 1	48,24	49,10
		Titik 2	50,04	
		Titik 3	49,03	
Rata-Rata				48,36

Ketebalan [mm]	Bagian		Nilai Kekerasan [VHN]	Rata-rata [VHN]
9	Segmen 1	Titik 1	64,79	57,45
		Titik 2	42,33	
		Titik 3	65,24	
	Segmen 2	Titik 1	41,16	42,32
		Titik 2	37,25	
		Titik 3	48,54	
	Segmen 3	Titik 1	49,23	49,92
		Titik 2	48,15	
		Titik 3	52,38	
Rata-Rata				49,90

4.1.2 Data dan Perhitungan Presentase Porositas

4.1.2.1 Perhitungan *Theoretical Density*

Perhitungan *theoretical density* menggunakan standar ASTM E252-84 rumus (2-6) adalah:

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left\{ \left(\% \frac{Al}{\rho_{Al}} \right) + \left(\% \frac{Cu}{\rho_{Cu}} \right) + \dots + \left(\% \frac{Fe}{\rho_{Fe}} \right) \right\}}$$

Dengan tahapan:

- Data densitas unsur diperoleh dari tabel unsur.
- Data prosentase berat unsur diperoleh dari hasil uji komposisi menggunakan *Optical Emission Spectrometer*.

Tabel 4.2 Densitas Unsur [g/cm³]

Densitas	Unsur [g/cm ³]											
	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

Data hasil dihitung menggunakan rumus (2-6):

$$\begin{aligned} \rho_{th} &= \frac{100}{\left(\left(\%Al / \rho_{Al} \right) + \left(\%Cu / \rho_{Cu} \right) + \left(\%Fe / \rho_{Fe} \right) + etc. \right)} \\ &= \frac{100}{Total A} = \frac{100}{35.5159} = 2.815 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

4.1.2.2 Perhitungan *Apparent Density*

Data hasil penimbangan menggunakan metode piknometri dan standar ASTM B311-93 dihitung menggunakan rumus (2-7) dibawah ini:

$$\rho_s = \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)}$$

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Porositas

Ketebalan	Pengulangan	Ws	Wb	Wsb	s	pth
3	1	38,9	10,2	33,9	2,5510211	2,815
	2	38,9	10,14	33,83	2,5493439	2,815
	3	38,9	10,12	34,08	2,5954163	2,815
	Rata-rata	38,9	10,1533	33,9367	2,5650897	2,815

Ketebalan	Pengulangan	Ws	Wb	Wsb	s	pth
6	1	39,66	10,29	34,08	2,4910578	2,815
	2	39,66	10,29	34,27	2,5212429	2,815
	3	39,65	10,38	33,99	2,4640349	2,815
	Rata-rata	39,657	10,320	34,1133	2,49189	2,815

Ketebalan	Pengulangan	Ws	Wb	Wsb	s	pth
9	1	39,99	10,4	32,98	2,2896055	2,815
	2	39,99	10,32	34,37	2,5007548	2,815
	3	39,99	10,36	34,22	2,4712977	2,815
	Rata-rata	39,99	10,36	33,8567	2,4168621	2,815

Perhitungan densitas sampel menggunakan data pengulangan pertama dengan ketebalan 3 (mm), menggunakan rumus (2-7):

$$\begin{aligned}
 \rho_s &= \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)} = 0,9968 \frac{38,9}{38,9(33,9 - 10,2)} \\
 &= 2,5510211 \text{ g/cm}^3
 \end{aligned}$$

4.1.2.3 Prosentase Porositas

Perhitungan prosentase porositas yang terjadi dapat diketahui dengan membandingkan densitas sampel atau *apparent density* dengan densitas teoritis atau *theoretical density* dengan menggunakan rumus (2-8) sebagaimana berikut ini:

$$\%P = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{th}}\right) \times 100\%$$

Tabel 4.4 Data Prosentase Porositas [%]

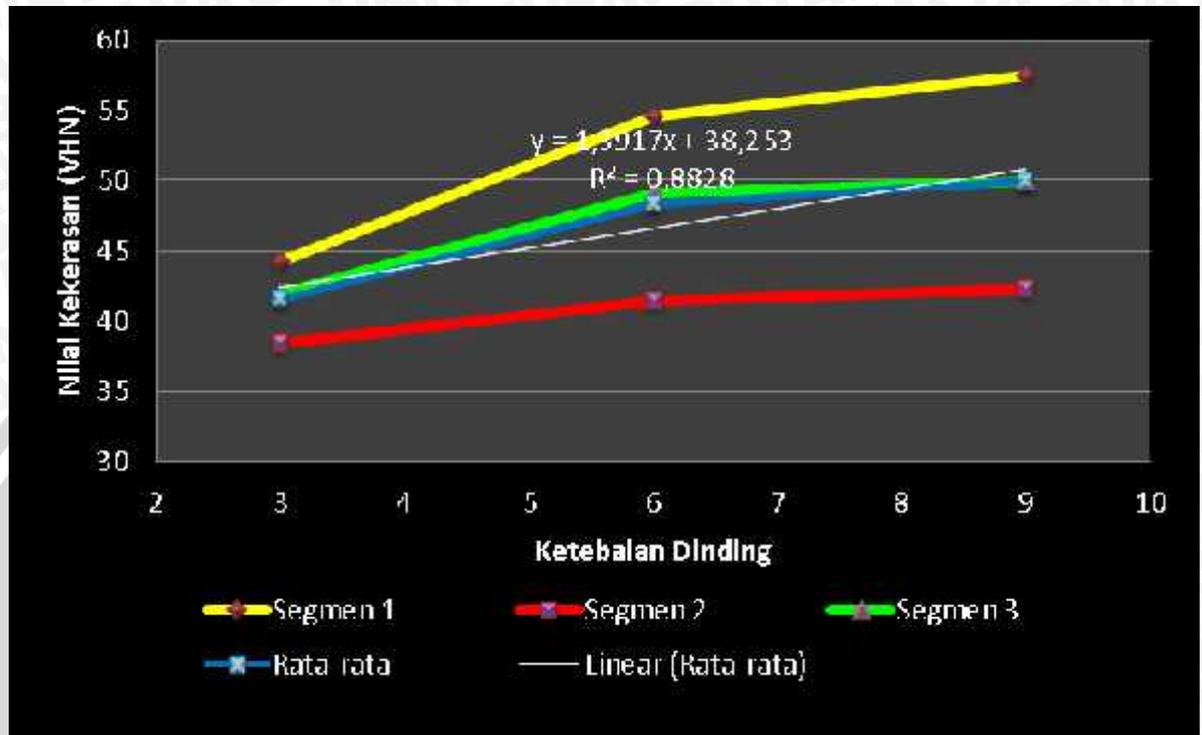
Pengulangan	Ketebalan dinding [mm]		
	3	6	9
1	9,377582	11,50771	18,6641
2	9,437163	10,43542	11,16324
3	7,800486	12,46768	12,20967
Rata-rata	8,877809	11,47815	14,14344

Perhitungan presentase porositas menggunakan data pengulangan pertama dengan ketebalan 3 (mm), menggunakan rumus (2-8):

$$\begin{aligned} \%P &= \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{th}}\right) \times 100\% \\ &= \left(1 - \frac{2,5510211}{2,815}\right) \times 100\% = 9,377582 \end{aligned}$$

4.2 Pembahasan

4.2.1 Hubungan Antara Ketebalan Dinding dengan Nilai Kekerasan



Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Ketebalan Dinding terhadap Nilai Kekerasan [VHN]

Dari gambar 4.1 dapat dilihat bahwa terdapat pengaruh ketebalan dinding terhadap kekerasan spesimen. Pada grafik terlihat bahwa nilai kekerasan paling rendah adalah 38,39 VHN dan paling tinggi sebesar 57,45 VHN pada seluruh segmen. Pada ketebalan 3 mm nilai kekerasan berkisar antara 38,39 VHN sampai 44,23 VHN, dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 41,55 VHN. Pada ketebalan 6 mm, nilai kekerasan meningkat dari sebelumnya, yaitu berkisar antara 41,45 VHN sampai 54,53 VHN dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 48,36 VHN. Nilai kekerasan ini terus meningkat seiring dengan peningkatan ketebalan. Hal ini dapat dilihat pada ketebalan 9 mm, nilai kekerasan berkisar antara 42,32 VHN sampai 57,45 VHN, dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 49,9 VHN.

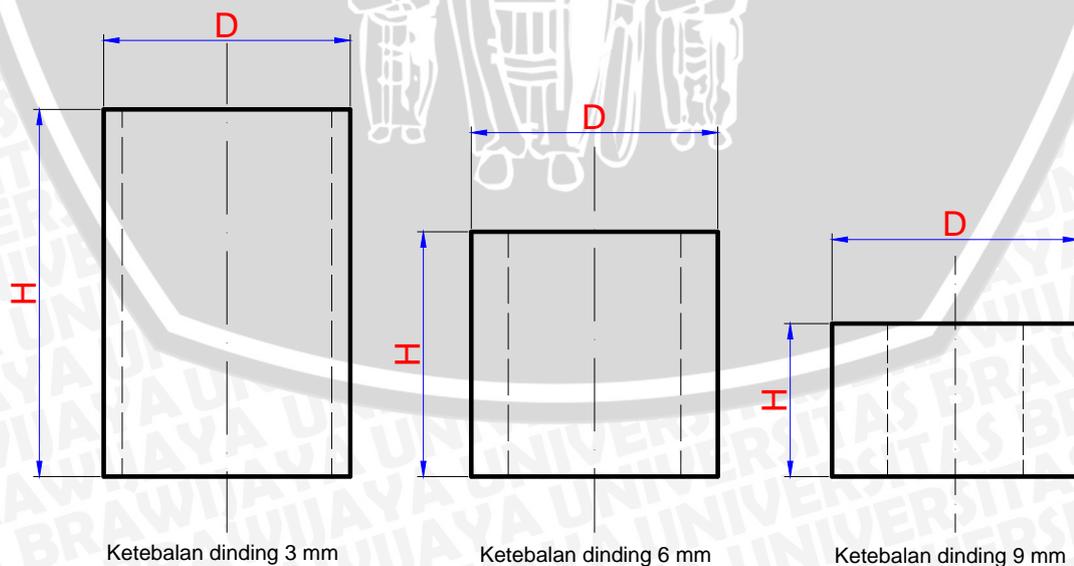
Dari hipotesa yang dibuat oleh peneliti, kekerasan paling besar berada pada ketebalan 3 mm, karena nilai porositas pada ketebalan ini adalah paling rendah dari ketebalan lain. Yang artinya, jika porositas rendah maka kekuatan akan bertambah, sehingga kekerasan pun juga akan meningkat. Sedangkan dari data diatas kekerasan

paling tinggi berada pada ketebalan 9 mm. Padahal pada ketebalan ini nilai porositas paling tinggi dari ketebalan yang lain. Hal ini disebabkan karena rasio kompresi yang berbeda. Pada ketebalan dinding 3 mm perbandingan antara tinggi dengan diameter sangat besar, berbeda dengan ketebalan dinding 9 mm yang memiliki perbandingan relatif kecil. Ukuran spesifik dan bentuk dari padatan dapat mempengaruhi distribusi kekerasan. Perbandingan antara tinggi dan diameter adalah penting untuk mendapatkan sifat-sifat padatan yang seragam. Hasil penekanan terbaik diperoleh ketika perbandingan tinggi (H) dengan diameter (D) sangat kecil, Asmara K 2011. Sehingga jika perbandingan H/D kecil, maka kekerasannya akan meningkat. Hasil dari perhitungan H/D dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut ini:

Tabel 4.5 Hasil dari perhitungan H/D

Ketebalan dinding	H [cm]	D [cm]	H/D
3 mm	2,8	4	0,7
6 mm	2	4	0,5
9 mm	1,8	4	0,45

Jika dilihat dari tabel 4.5 perbandingan H/D pada ketebalan dinding 9 mm adalah yang paling kecil, sehingga didapatkanlah kepadatan merata yang menyebabkan kekerasannya meningkat.

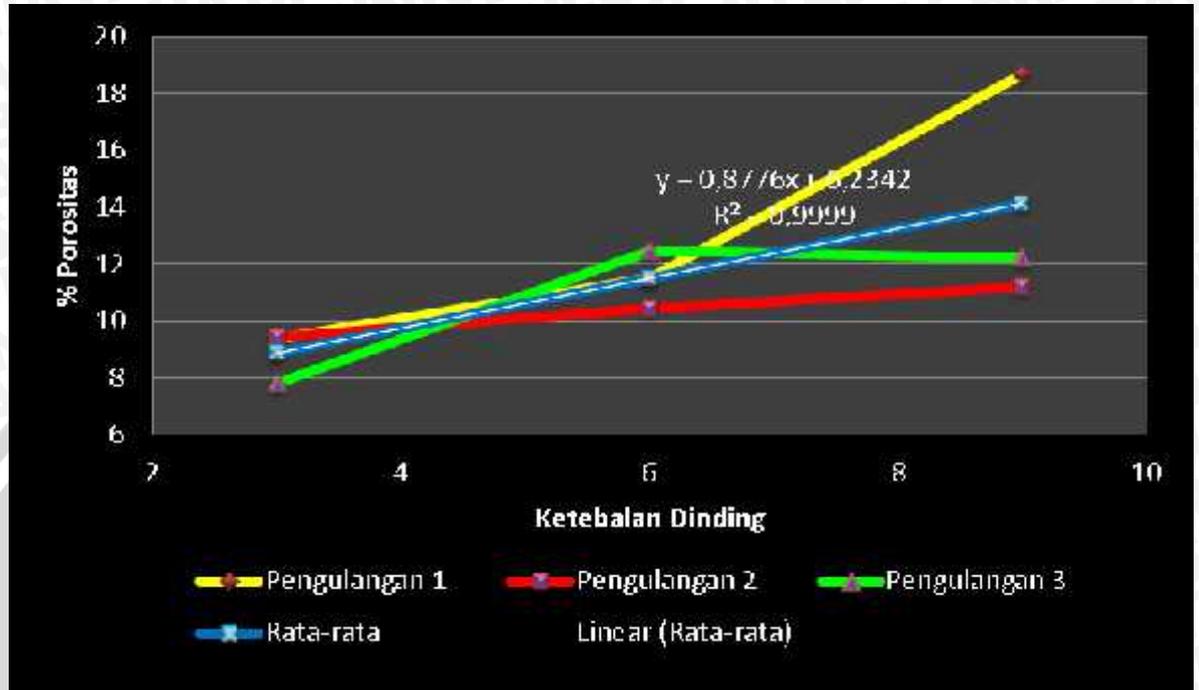


Gambar 4.2 Perbandingan H dan D

Pada segmen 1 distribusi kekerasan lebih tinggi daripada segmen 3, hal ini terlihat dari grafik pada gambar 4.1. Pada ketebalan dinding 3 mm, 6 mm, dan 9 mm nilai kekerasan pada segmen 1 berturut-turut sebesar 44,23 VHN; 54,53 VHN; dan 57,45 VHN dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 52,02 VHN. Sedangkan untuk nilai kekerasan pada segmen 3 dengan ketebalan 3 mm, 6 mm, dan 9 mm adalah 42,02 VHN; 49,1 VHN; dan 49,92 VHN dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 47,01 VHN. Perbedaan nilai kekerasan ini disebabkan karena besarnya tekanan yang sedikit berbeda. Pada segmen 1 tekanan yang diberikan lebih besar daripada segmen 3, oleh karena itu kemampatan partikel pada segmen 1 lebih rapat dari segmen 3, sehingga distribusi kekerasan pada segmen 1 lebih tinggi daripada segmen 3.

Sedangkan untuk distribusi kekerasan paling rendah berada pada segmen 2. Hal ini terlihat bahwa pada tiap ketebalan yaitu 3 mm, 6 mm, dan 9 mm nilai kekerasan berturut-turut sebesar 38,39 VHN; 41,45 VHN; dan 42,32 VHN dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 40,71 VHN. Hal ini disebabkan karena segmen 2 ini tidak terkena punch secara langsung, sehingga tekanan yang diberikan lebih rendah daripada segmen 1 dan 3, yang menyebabkan kerapatannya berkurang sehingga nilai kekerasannya menurun dan distribusi kekerasannya menjadi yang paling rendah dibanding segmen lain.

4.2.2 Hubungan Antara Ketebalan Dinding dengan Porositas



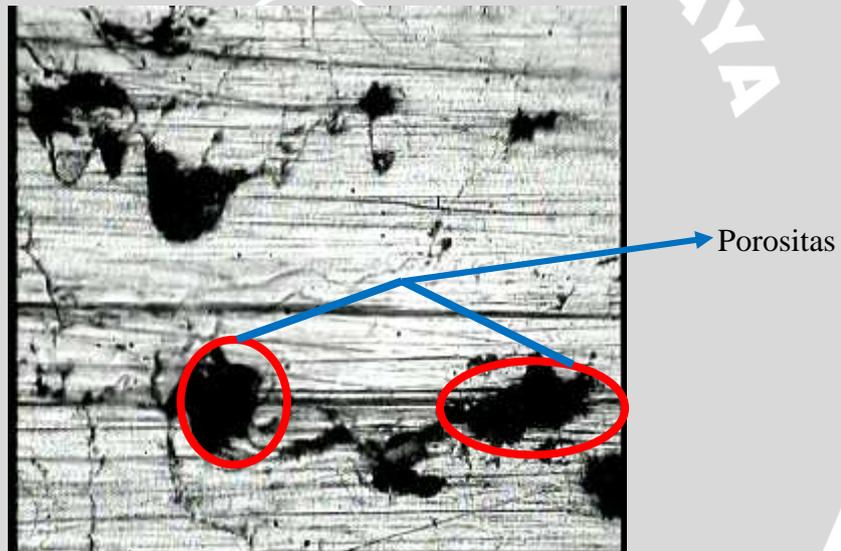
Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Ketebalan Dinding terhadap Prosentase Porositas

Dari gambar 4.3 dapat dilihat bahwa terdapat pengaruh ketebalan dinding terhadap porositas spesimen. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai porositas terendah berkisar pada 7,800486% (ketebalan dinding 3 mm) dan nilai porositas tertinggi berkisar pada 18,6641% (ketebalan dinding 9 mm). Pada ketebalan dinding 3 mm terlihat bahwa kenaikan prosentase porositas tidak terlalu signifikan, yaitu berkisar antara 7,800486% - 9,437163%. Prosentase ini semakin meningkat dengan meningkatnya ketebalan, hal ini terlihat pada ketebalan dinding 6 mm, prosentase porositas berkisar antara 10,43542% - 12,46768%.

Kenaikan prosentase porositas paling besar berada pada ketebalan dinding 9 mm, dapat dilihat dari grafik bahwa nilai porositas berkisar antara 11,16324% - 18,6641%. Kenaikan paling signifikan pada pengulangan pertama sebesar 18,6641%, hal ini dikarenakan pada saat pengukuran kondisi timbangan elektrik kurang stabil akibat adanya angin yang berhembus, hal itu berimbas pula terhadap ketenangan air, sehingga menyebabkan keranjang dalam air bergerak yang menyebabkan kestabilan menurun. Selain itu kenaikan nilai porositas pada

ketebalan dinding 9 mm ini disebabkan karena luas bidang kontak antar partikel semakin kecil, sehingga menyebabkan gaya ikat antar partikel menurun. Hal ini menyebabkan banyaknya rongga yang timbul diantara partikel, sehingga porositasnya meningkat.

Dari pembahasan grafik diatas dapat disimpulkan bahwa nilai porositas paling rendah berada pada ketebalan dinding 3 mm yaitu dengan nilai porositas rata-rata sebesar 8,877809%. Sedangkan nilai pororsitas paling tinggi berada pada ketebalan dinding 9 mm, yaitu dengan nilai rata-rata porositas sebesar 14,14344%. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa ketebalan dinding 3 mm, merupakan ketebalan terbaik untuk dilakukan proses *powder metallurgy* pada *bushing* Duralumin.



Gambar 4.4 Porositas pada Ketebalan Dinding 9 mm (dengan pembesaran 100x)

Dapat dilihat pada gambar 4.4 bahwa porositas yang terjadi berupa lubang-lubang berwarna hitam pada permukaan spesimen. Besarnya tekanan yang bekerja pada masing-masing spesimen berbeda-beda. Hal ini dikarenakan luas penampang dari tiap spesimen juga berbeda akibat diameter yang berbeda. Dengan P sebesar 450 bar atau setara dengan $458,872 \text{ kgf/cm}^2$ dan luas penampang dari punch hidrolik sebesar $13,8474 \text{ cm}^2$, maka gaya pada penggerak *punch* (F) yang dihasilkan sebesar:

$$F_{\text{punch}} = 458,872 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \times 13,8474 \text{ cm}^2 = 6354,184 \text{ kgf}$$

Sehingga besarnya tekanan tiap spesimen dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut ini:

Tabel 4.6 Data Besarnya Tekanan yang Bekerja pada Tiap Spesimen

Ketebalan dinding	r1 (mm)	r2 (mm)	r rata2	tinggi	L selimut (mm)	P [bar]
3 mm	2	1,6	1,8	2,8	31,65	213,26
6 mm	2	1,4	1,7	2	21,35	316,13
9 mm	2	1,1	1,55	1,8	17,52	385,25

Dari tabel 4.6 terlihat bahwa tekanan pada masing-masing ketebalan dinding berbeda. Dengan semakin besar ketebalan dinding, maka tekanan yang bekerja pada *bushing* akan semakin menurun. Penurunan tekanan inilah yang menyebabkan porositas pada ketebalan dinding 9 mm menjadi yang paling besar diantara ketebalan dinding lainnya.

