

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data dan Perhitungan Hasil Pengujian

4.1.1. Data dan Perhitungan Prosentase Porositas

a. Data dan Perhitungan *Theoretical Density*

Data untuk perhitungan *theoretical density* diperoleh dari:

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

Tabel 4.1 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 (2-9), dimana diperoleh nilai $\rho_t = 2.8143907$ (gr/cm³) dengan contoh perhitungan seperti dibawah ini.

$$\rho_t = \frac{100}{\{(\%Al/\rho_{Al}) + (\%Cu/\rho_{Cu}) + (\%Fe/\rho_{Fe}) + etc.\}}$$

$$= \frac{100}{\text{Total A}} = \frac{100}{35.5316698} = 2.8143907 \text{ g/cm}^3$$

b. Data dan Perhitungan *Apparent Density*

Contoh perhitungan *apparent density* pada sampel menggunakan data pengulangan pertama dengan ukuran butir 125 μm menggunakan rumus (2-10), dimana diperoleh nilai $\rho_a = 2,5520168$ (gr/cm³).

$$\rho_a = \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)} = 0.9968 \frac{39,12}{39,12 - (35 - 11,16)}$$

$$= 2,5520168 \text{ g/cm}^3$$



Tabel 4.2 Data Hasil Percobaan Uji Porositas

Ukuran butir (μm)	Pengulangan	Ws	Wb	Wsb	ρ_a	ρ_t
125	1	39,12	11,16	35	2,5520168	2,8143907
	2	39,12	11,16	36,14	2,7577663	2,8143907
	3	39,12	11,16	35,7	2,6745416	2,8143907
	Rata-rata	39,12	11,16	35,2800	2,6614416	2,8143907
160	1	39,57	11,16	34,67	2,4560009	2,8143907
	2	39,57	11,16	36,41	2,7544257	2,8143907
	3	39,57	11,16	35,3	2,5562784	2,8143907
	Rata-rata	39,57	11,16	35,4600	2,5889017	2,8143907
200	1	39,68	11,16	34,64	2,4415447	2,8143907
	2	39,68	11,16	35,95	2,6563482	2,8143907
	3	39,68	11,16	35,14	2,5193009	2,8143907
	Rata-rata	39,68	11,16	35,2433	2,5390646	2,8143907
250	1	39,62	11,16	34,58	2,4378528	2,8143907
	2	39,62	11,16	34,88	2,4838501	2,8143907
	3	39,62	11,16	35,1	2,5187000	2,8143907
	Rata-rata	39,62	11,16	34,8533	2,4801343	2,8143907
315	1	39,64	11,16	34,54	2,4300832	2,8143907
	2	39,64	11,16	34,73	2,4588147	2,8143907
	3	39,64	11,16	34,91	2,4866678	2,8143907
	Rata-rata	39,64	11,16	34,7267	2,4585219	2,8143907

c. Prosentase Porositas

Perhitungan prosentase porositas yang terjadi dapat diketahui dengan membandingkan densitas sampel atau *apparent density* dengan *theoretical density* dengan menggunakan rumus (2-11). Contoh perhitungan prosentase porositas menggunakan data pengulangan pertama dari spesimen dengan ukuran butir 125 μm menggunakan rumus (2-11), dimana diperoleh nilai $P = 9,3225827 \%$.

$$P = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_t}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{2,5520168}{2,8143907}\right) \times 100\% = 9,3225827 \%$$

Tabel 4.3 Prosentase Porositas

Pengulangan	Prosentase Porositas (%)				
	125	160	200	250	315
1	9,3225827	12,7341879	13,2478408	13,3790202	13,6550871
2	2,0119595	2,1306566	5,6155139	11,7446593	12,6342089
3	4,9690720	9,1711609	10,4850332	10,5063842	11,6445418
Rata-rata	5,4345381	8,0120018	9,7827959	11,8766879	12,6446126

4.1.2. Data Hasil Pengujian Distribusi Kekerasan

Pengujian distribusi kekerasan dilakukan pada setiap variasi ukuran butir spesimen, dimana pada setiap spesimen dibagi menjadi tiga segmen yaitu segmen 1, segmen 2 dan segmen 3. Pada setiap segmen dilakukan pengambilan data sampel sebanyak tiga titik segaris yang berbeda. Nilai kekerasan diperoleh dengan cara mencari rata-rata nilai kekerasan pada tiap sampel. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan alat *Microvickers Hardness Tester*.

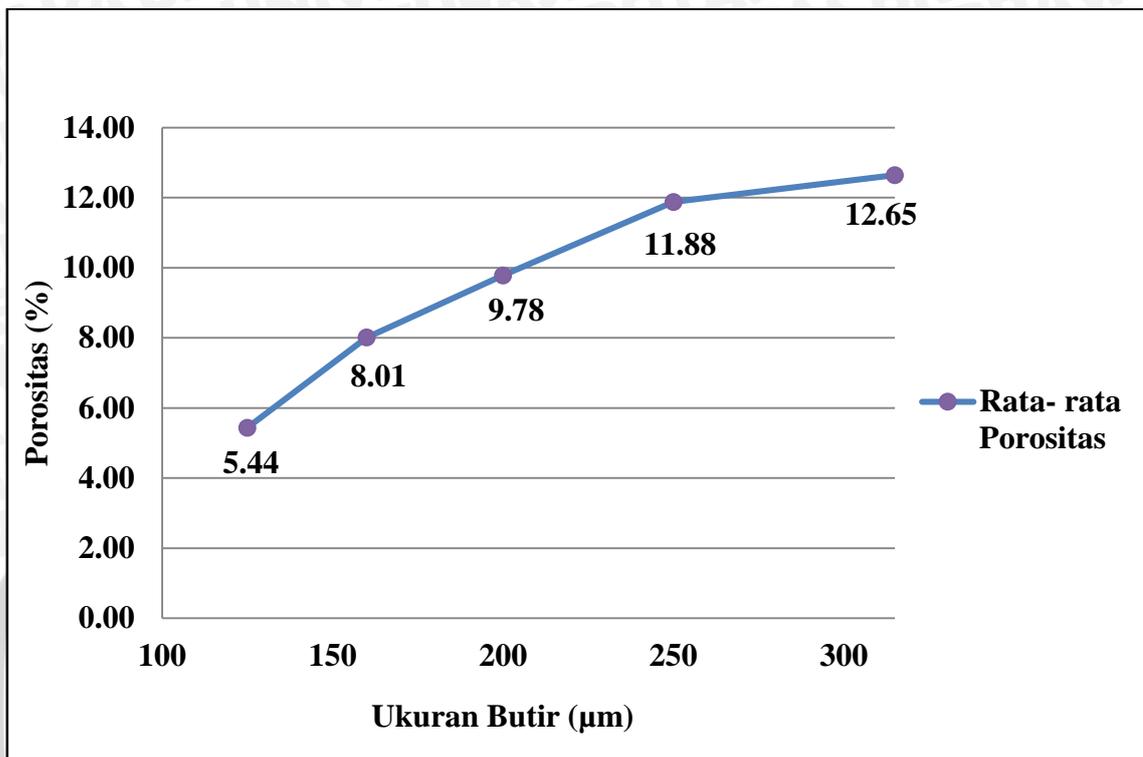
Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Distribusi Kekerasan.

Ukuran Butir (μm)	Bagian		Nilai Kekerasan (Hv)	Rata-rata (Hv)
125	Segmen 1	Ujung	110,8	92,07
		Tengah	99,7	
		Pangkal	65,72	
	Segmen 2	Ujung	85,79	89,40
		Tengah	85,14	
		Pangkal	97,27	
	Segmen 3	Ujung	80,21	90,68
		Tengah	84,82	
		Pangkal	107	
Rata-rata				90,72
160	Segmen 1	Ujung	108,4	87,72
		Tengah	60,19	
		Pangkal	94,57	
	Segmen 2	Ujung	53,69	62,94
		Tengah	69,84	
		Pangkal	65,28	
	Segmen 3	Ujung	68,42	83,34
		Tengah	82,31	
		Pangkal	99,3	
Rata-rata				78,00
200	Segmen 1	Ujung	114,7	78,01
		Tengah	56,36	
		Pangkal	62,96	
	Segmen 2	Ujung	59,24	63,67
		Tengah	68,19	
		Pangkal	63,58	
	Segmen 3	Ujung	75,96	75,01
		Tengah	70,32	
		Pangkal	78,76	

Ukuran Butir (μm)	Bagian		Nilai Kekerasan (Hv)	Rata-rata (Hv)
Rata-rata				72,23
250	Segmen 1	Ujung	44,06	68,27
		Tengah	90,90	
		Pangkal	69,84	
	Segmen 2	Ujung	76,23	58,99
		Tengah	52,56	
		Pangkal	48,17	
	Segmen 3	Ujung	54,83	60,73
		Tengah	67,73	
		Pangkal	59,62	
Rata-rata				62,66
315	Segmen 1	Ujung	67,26	62,41
		Tengah	64,64	
		Pangkal	55,33	
	Segmen 2	Ujung	54,66	38,22
		Tengah	36,72	
		Pangkal	23,27	
	Segmen 3	Ujung	49,57	56,66
		Tengah	58,87	
		Pangkal	61,55	
Rata-rata				52,43

4.2 Pembahasan

4.2.1. Analisa Grafik Hubungan antara Ukuran Butir dengan Porositas



Gambar 4.1. Grafik Hubungan Ukuran Butir terhadap Porositas

Berdasarkan gambar 4.1 dapat diketahui bahwa terdapat pengaruh ukuran butir serbuk yang digunakan pada proses *powder metallurgy* terhadap porositas spesimen yang dihasilkan. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai porositas terendah berkisar pada 2,0119595 % untuk ukuran butir 125 μm dan nilai porositas tertinggi berkisar pada 13,6550871 % untuk ukuran butir 315 μm .

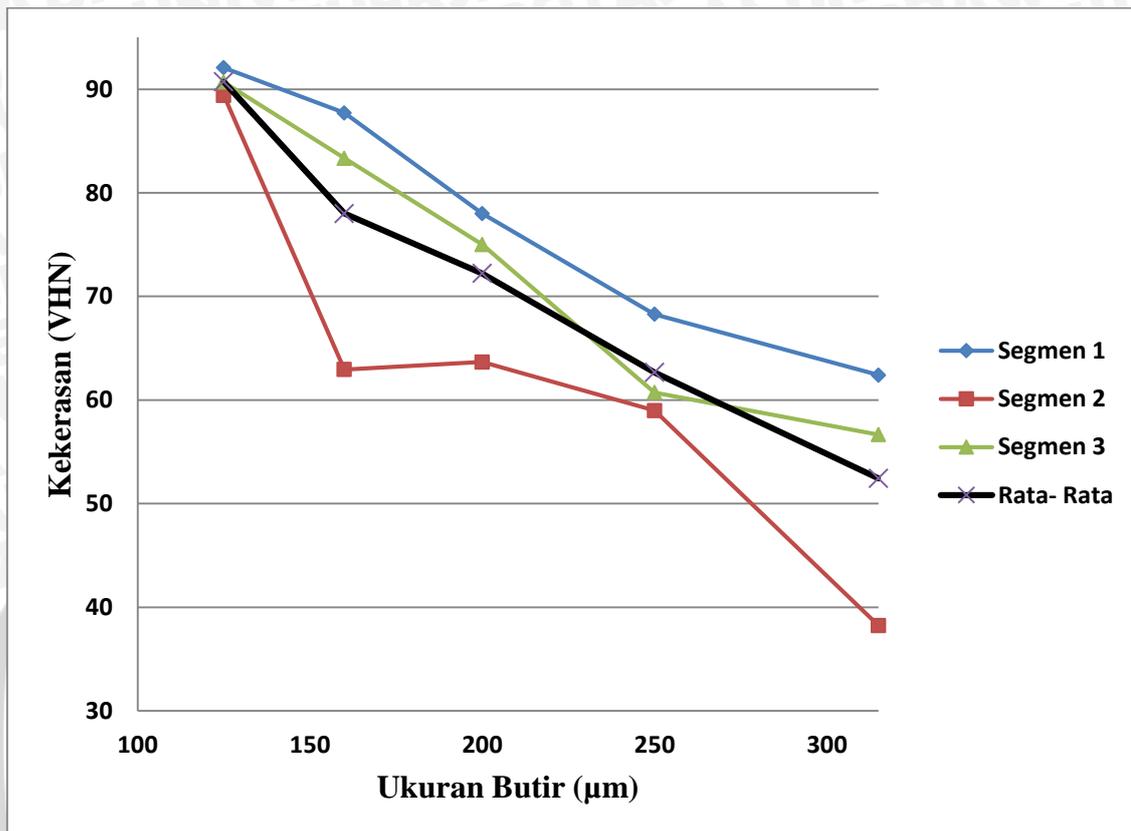
Nilai prosentase porositas rata-rata terbesar terdapat pada ukuran butir 315 μm yaitu sebesar 12,6446126 %. Adapun nilai prosentase rata-rata berturut-turut pada ukuran butir 125 μm , 160 μm , 200 μm , dan 250 μm yaitu sebesar 5,4345381 % ; 8,0120018 % ; 9,7827959 % ; dan 11,8766879 %. Berdasarkan pengujian diperoleh data nilai prosentase porositas yang semakin meningkat seiring dengan peningkatan ukuran butir yang digunakan. Data tersebut sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin kecil ukuran butir yang digunakan dalam *powder metallurgy* maka semakin kecil pula nilai porositas yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan saat terjadi ikatan antar butir satu dengan yang lain, butir dengan ukuran kecil memiliki luas bidang kontak yang lebih besar dibandingkan dengan ukuran butir besar sehingga rongga antar butir yang

dibentuk oleh ikatan butir ukuran kecil lebih sempit sedangkan untuk butir ukuran besar memiliki rongga antar butir yang lebih longgar. Inilah yang menyebabkan semakin kecil ukuran butir, semakin menurun pula nilai porositasnya.

Berdasarkan data hasil pengujian jangkauan prosentase porositas paling besar terjadi pada ukuran butir 160 μm dan 125 μm . Berdasarkan grafik dapat dilihat bahwa pada ukuran butir 160 μm nilai porositas berkisar antara 2,1306566 % - 12,7341879 %, sedangkan pada ukuran butir 125 μm nilai porositas berkisar antara 2,0119595 % - 9,3225827 %. Hal ini dikarenakan saat dilakukan pengujian porositas pada pengulangan ke-2 untuk ukuran butir 160 μm dan 125 μm kondisi timbangan elektrik kurang stabil karena dipengaruhi oleh adanya angin yang berhembus. Hembusan angin mempengaruhi kondisi ketenangan air sehingga menyebabkan keranjang dalam air bergerak serta mengakibatkan kestabilan menurun.

Dari pembahasan grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai porositas paling rendah terdapat pada ukuran butir 125 μm dengan nilai porositas rata-rata sebesar 5,4345381 %, sedangkan nilai porositas paling tinggi terdapat pada ukuran butir 315 μm dengan nilai porositas rata-rata sebesar 12,6446126 %. Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa ukuran butir 125 μm menjadi ukuran butir serbuk terbaik untuk dijadikan bahan pada *bushing powder metallurgy* duralumin dikarenakan nilai porositasnya paling rendah.

4.2.2. Analisa Grafik Hubungan antara Ukuran Butir dengan Distribusi Kekerasan



Gambar 4.2. Grafik Hubungan Ukuran Butir terhadap Distribusi Kekerasan

Berdasarkan gambar 4.2 dapat diketahui bahwa terdapat pengaruh ukuran butir serbuk yang digunakan pada proses *powder metallurgy* terhadap kekerasan spesimen yang dihasilkan. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai kekerasan rata-rata untuk ukuran butir 125 μm , 160 μm , 200 μm , 250 μm , dan 315 μm berturut-turut adalah 90,72 VHN ; 78,00 VHN ; 72,23 VHN ; 62,66 VHN ; dan 52,43 VHN. Berdasarkan pengujian diperoleh data nilai kekerasan rata-rata yang semakin menurun seiring dengan semakin besarnya ukuran butir yang digunakan. Data tersebut sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin kecil ukuran butir yang digunakan dalam *powder metallurgy* maka dapat meningkatkan kekerasan produk yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan bahwa saat terjadi pengikatan antar partikel selama proses *compacting* dan *sintering*, ukuran butir kecil memiliki luas bidang kontak antar permukaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan ukuran butir besar sehingga partikel yang berdifusi semakin banyak serta meningkatkan kekuatan ikatan antar partikel. Inilah yang menyebabkan nilai kekerasan ukuran butir kecil lebih tinggi dari pada ukuran butir besar.

Berdasarkan data hasil pengujian, nilai distribusi kekerasan tiap segmen juga dapat dilihat perbedaannya. Dimana nilai distribusi kekerasan untuk segmen 1, segmen 2, dan segmen 3 berturut-turut adalah berkisar antara 62,41 VHN – 92,07 VHN ; 38,22 VHN – 89,40 VHN, dan 56,66 VHN - 90,68 VHN. Nilai distribusi kekerasan untuk segmen 1 dan segmen 3 lebih tinggi dibandingkan dengan segmen 2. Data tersebut sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin besar tekanan yang digunakan pada *powder metallurgy* maka dapat meningkatkan kekerasan dari produk yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena pada segmen 2 ini tidak terkena *punch* secara langsung saat dilakukan proses *hot compacting*, sehingga tekanan yang diberikan lebih rendah daripada segmen 1 dan 3. Inilah yang menyebabkan kerapatannya berkurang sehingga nilai kekerasannya menurun dan distribusi kekerasannya menjadi yang terendah dibanding segmen lain. Sedangkan nilai distribusi kekerasan untuk segmen 1 lebih tinggi dibandingkan segmen 3. Hal ini disebabkan karena terjadi perbedaan tekanan yang diberikan pada segmen 1 dan segmen 3. Pada segmen 1 mendapat tekanan yang lebih besar dibandingkan segmen 3 sehingga kemampuan partikel untuk segmen 1 lebih rapat dibandingkan kemampuan partikel untuk segmen 3. Inilah yang menjadikan nilai kekerasan pada segmen 1 lebih tinggi dari pada segmen 3.

Dari pembahasan grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai kekerasan paling tinggi terdapat pada ukuran butir 125 μm dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 90,72 VHN, sedangkan nilai kekerasan paling rendah terdapat pada ukuran butir 315 μm dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 52,43 VHN. Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa ukuran butir 125 μm menjadi ukuran butir serbuk terbaik untuk dijadikan bahan pada *bushing powder metallurgy* duralumin dikarenakan nilai kekerasannya paling tinggi.