



PENGARUH VARIASI TEMPERATUR *SINTERING* PADA PROSES *METAL INJECTION MOLDING* TERHADAP DENSITAS, POROSITAS, DAN KEKERASAN *SINTER PART* BERBAHAN SS 17-4 PH

EFFECT OF SINTERING TEMPERATURE OF METAL INJECTION MOLDING PROCESS ON DENSITY, POROSITY, AND HARDNESS OF SS 17-4 PH POWDER

Apang Djafar Shieddieque¹, Amri Abdulah^{1*}, Moch Iqbal Zaelana Muttahar², Raja Mualtio Panggabean¹

¹Jurusan Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana, Purwakarta
Jalan Cikopak No 53 Purwakarta 41151, Jawa Barat Indonesia

²Balai Besar Logam dan Mesin-Kementerian Perindustrian
Jl. Sangkuriang No. 12 – Bandung 40135, Jawa Barat, Indonesia

E-mail : amri@stt-wastukencana.ac.id

Abstrak

Metal Injection Molding (MIM) yaitu gabungan dari proses *powder metallurgy* dan *plastic injection molding* yang diterapkan pada pembuatan produk/komponen yang memerlukan sifat mekanis yang tinggi (*high performance*), fleksibilitas desain dan material, permukaan yang baik, dan jumlah produksi yang tinggi sehingga dapat meminimalisir biaya manufaktur. Proses ini dapat diterapkan pada berbagai jenis material termasuk material logam maupun keramik seperti *superalloy*, baja tahan karat, titanium, karbida, zirconia dan lain-lain. Dalam penelitian ini *metal injection molding* untuk aplikasi ortodontik dilakukan dengan basis bahan *stainless steel* 17-4 PH selain itu ditambahkan variasi temperatur sebesar 1200°C, 1250°C, dan 1300°C selama 2 jam, untuk melihat perbandingan nilai densitas, struktur mikro, dan kekerasan sampel dari proses perbandingan nilai densitas didapatkan hasil nilai rata-rata variasi temperatur 1200°C sebelum *sintering* 67,31% , setelah *sintering* 86,07% , variasi temperatur 1250°C sebelum *sintering* 68,62%, setelah *sintering* 89,50% , variasi temperatur 1300°C sebelum *sintering* 69,31% , setelah *sintering* 91,48% , dari proses pengujian metalografi didapatkan hasil porositas sebesar 12% pada temperatur 1200°C, variasi temperatur 1250°C didapatkan hasil porositas sebesar 5% , variasi temperatur 1300°C didapatkan hasil porositas sebesar 9%, dari proses pengujian kekerasan didapatkan hasil rata-rata variasi temperatur 1200°C 59,3 HV , variasi temperatur 1250°C 88,9 HV , variasi temperatur 1300°C 70,275 HV.

Kata Kunci: *Metal injection molding*, *stainless steel* 17-4 PH, *sintering*, kekerasan, densitas.

Abstract

Metal Injection Molding (MIM) is a combination of *powder metallurgy* and *plastic injection molding* processes that are applied to the manufacture of products/components that require high mechanical properties (*high performance*), design and material flexibility, good surface, and high production quantities so that they can minimize manufacturing costs. This process can be applied to various types of materials including metallic and ceramic materials such as *superalloys*, *stainless steels*,

titanium, carbides, zirconia and others. In this study, metal injection molding for orthodontic applications has been made with 17-4 PH stainless steel base, in addition to adding temperature variations of 1200°C, 1250°C, and 1300°C for 2 hours, to compare the density values, microstructure, and the hardness of the sample from the density value comparison process, the average temperature variation is 1200°C before sintering 67.31%, after sintering 86.07%, temperature variation 1250°C before sintering 68.62%, after sintering 89, 50%, temperature variation 1300°C before sintering 69.31%, after sintering 91.48%, from the metallographic testing process obtained 12% porosity at a temperature of 1200°C, temperature variation 1250°C obtained porosity of 5%, temperature variation 1300°C obtained 9% porosity, from the hardness testing process the average temperature variation was 1200°C 59.3 HV, temperature variation 1250°C 88.9 HV, temperature variation 1300°C 70,275 HV.

Keywords : Metal injection molding, stainless steel 17-4 PH, sintering, hardness, density.

PENDAHULUAN

Metal injection molding telah di produksi sejak tahun 1970-an. Selama waktu itu pasar telah berkembang pesat dengan menyertakan beragam aplikasi keberhasilan awal adalah pada *bracket*, ortodonti gigi, *case* jam tangan, dan senjata api, sebagai contoh perawat ortodonti memiliki tujuan masing-masing diantaranya mastikasi untuk merapihkan gigi dan estetika atau memperindah tampilan wajah seseorang. Pembuatan braket harus dilakukan dengan proses yang sesuai untuk menghasilkan hasil yang bagus. Proses yang biasa digunakan adalah *investment casting*, *machining*, dan *metal injection molding*. *Investment Casting* memiliki kelemahan yaitu kekasaran permukaan yang cukup tinggi untuk standart dan memerlukan proses lebih lanjut. Pemesinan dilakukan dengan menghilangkan bagian yang tidak diinginkan untuk mendapatkan keinginan bentuk, sedangkan bentuk braket membutuhkan ketelitian yang tinggi dan cukup rumit maka dari itu di buat menggunakan proses *Metal injection molding*

Dari penelitian yang sudah dilakukan didapatkan bahwa Hasilnya menunjukkan bahwa kerapatan pada proses *sintering* menggunakan argon relatif tinggi 87%, susut homogen relatif dan kekerasan tinggi dicapai dengan *sintering* pada 1360°C untuk 1,5 jam dan atmosfer argon. Namun, produk MIM memiliki rentang kerapatan relatif dari 98-99%. Hasil densitas relatif rendah mungkin disebabkan oleh tekanan injeksi rendah selama proses cetakan pemadatan (Shieddieque et al., 2021).

Parameter *sintering* meliputi temperatur (T), waktu tahan/holding, atmosfer *sintering* dan jenis material. Kombinasi parameter tersebut menyebabkan mekanisme *sintering* cukup

kompleks. Ketika temperatur naik, akan terjadi proses difusi antar partikel-partikel logam, sehingga membuat kekuatan, kepadatan, keuletan, thermal, dan konduktivitas listrik meningkat. Tahap yang kedua dari *sintering* adalah fase transpor uap (*vapor-phase transport*). Pada saat dipanaskan hingga akan mencapai titik leburnya, partikel-partikel akan berubah menjadi uap, setelah itu temperatur didinginkan dan uap akan memadat kembali. Jika dua partikel dari jenis logam yang berbeda dipanaskan bersama-sama, maka partikel yang memiliki titik lebur lebih rendah akan mencair terlebih dahulu dan mengikat partikel yang tidak melebur. Peristiwa ini disebut *liquid-phase transport*.

Penelitian ini berfokus pada proses *sintering* dengan memvariasikan temperatur sebesar 1200°C – 1250°C dan 1300°C (selama kurun waktu 2 jam) proses dilakukan terhadap perubahan densitas produk, kekerasan, dan mikrostruktur pada tablet berbahan SS 17-4 PH.

METODOLOGI

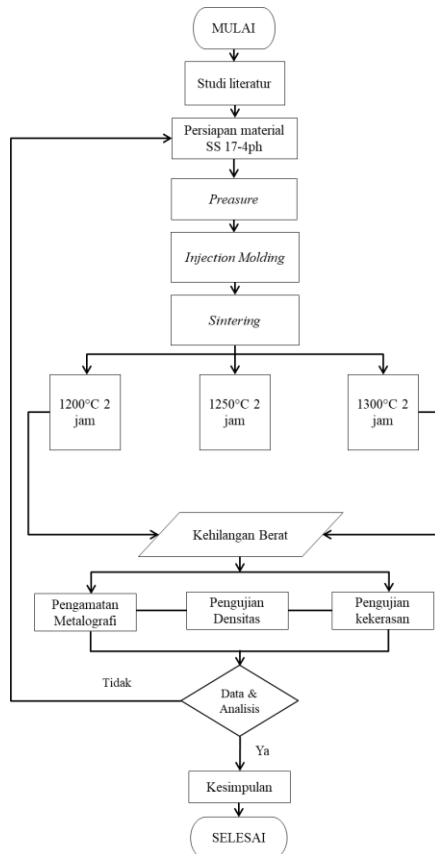
Bahan dan Proses Penelitian

Dalam proses *sintering* berbahan material stainless steel 17-4 PH, metode penelitian yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 1.

Serbuk SS 17-4 PH ditimbang dengan berat sekitar 2,5 hingga 2,8 gram kemudian dikompaksi dengan tekanan sebesar 100 bar untuk menghasilkan tinggi spesimen sekitar 3,1-3,4 mm dengan diameter silinder sebesar 10 mm. Ukuran tersebut ditentukan untuk mencapai densitas terukur sebesar 70%.

Sintering dilakukan setelah pengepresan dan pengukuran massa dan dimensi sampel. Proses *sintering* diawali dengan *flushing* tungku

yang dilakukan sebanyak 3 kali dalam rentan waktu 15 menit, setelah *flushing* sampel dimasukkan kedalam tungku disertai pengaturan pada tungku dengan variasi temperatur 1200°C, 1250°C dan 1300°C selama 2 jam.



Gambar 1. Alur penelitian *sintering* SS 17-4 PH

Pengujian

Pengamatan metalografi dilakukan melalui proses *mounting* terhadap sampel hasil *sintering* yang kemudian di-*grinding* dan di-*polishing* dengan menggunakan kain beludru dan alumina. Etsa dilakukan dengan menggunakan *aqua regia*. Pada saat permukaan sampel sudah halus dan bening maka dilanjutkan pada pengamatan metalografi untuk melihat tingkat porositas pada sampel.

Pengujian densitas dilakukan dengan cara penimbangan dan pengukuran sampel pada saat sebelum dan setelah *sintering*, ketika pengambilan data sudah dilakukan dilanjutkan dengan perhitungan data untuk mencari nilai densitas rata-rata (*bulk density*). Setelah densitas didapatkan, selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan dengan metode *Vickers*, dilakukan

beberapa kali indentasi pada titik yang berbeda agar didapatkan nilai yang representatif terhadap sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Densitas

Pada hasil pengujian ini, *Stainless Steel* 17-4 PH yang sudah melalui proses *sintering* dengan tiga variasi suhu yang berbeda antara, 1200°C, 1250°C dan 1300°C dan di ketahui densitas *Stainless steel* adalah 7,75 g/cm³ (azom.com, 2021). Pada Tabel 1 memperlihatkan komposisi standar pada *stainless steel* 17-4 PH data ini didapatkan dari (Desktop Metal, 2018).

Tabel 1. komposisi standar *stainless steel* 17-4 PH

PH	
C	0.07 (max)
Cr	15.5 – 17.5
Ni	3 - 5
Cu	3 - 5
Mn	1.0 (max)
nb + Ta	0.15 – 0.45

Matriks penelitian ditunjukkan pada Tabel 2. Sedangkan data pengukuran sampel sebelum dilakukan *sintering* ditunjukkan pada Teabel 3.

Tabel 2. Kode sampel dan variasi temperatur

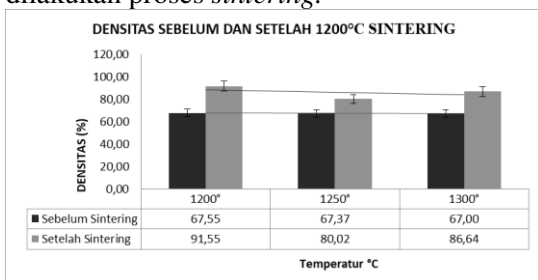
Waktu	Temperatur	Densitas Terhitung		Sample No	Kode Sample
		g/cm ³	%		
2 jam	1200	7,75	70	A	27A
		7,75	70	B	27B
		7,75	70	C	27C
	1250	7,75	70	A	37A
		7,75	70	B	37B
		7,75	70	C	37C
	1300	7,75	70	A	47A
		7,75	70	B	47B

		7,75	70	C	47C
--	--	------	----	---	-----

Tabel 3. Data sampel sebelum di *sintering*

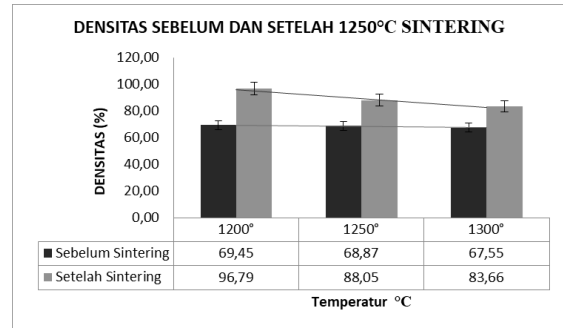
Sebelum <i>sintering</i>							
No	Temperatur	Waktu	Berat	Tebal	Diameter	Perhitungan Densitas	
	°C	jam	g	mm	Cm	$\frac{g}{cm^3}$	%
1	1200	2	1,5	3,65	1	5,24	67,55
2		2	1,5	3,66	1	5,22	67,37
3		2	1,5	3,68	1	5,19	67,00
4	1250	2	1,5	3,55	1	5,38	69,45
5		2	1,5	3,58	1	5,34	68,87
6		2	1,5	3,65	1	5,24	67,55
7	1300	2	1,5	3,62	1	5,28	68,11
8		2	1,5	3,63	1	5,26	67,92
9		2	1,5	3,43	1	5,57	71,88

Gambar 2-4 menunjukkan diagram perbandingan densitas sebelum dan setelah dilakukan proses *sintering*.



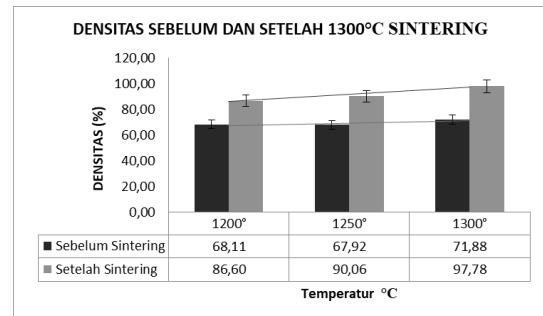
Gambar 2. Grafik perbandingan densitas pada temperatur sebesar 1200 °C

Pada temperatur 1200 °C nilai densitas sebelum dilakukannya *sintering* yaitu ada pada kisaran sebesar 60-67,55%. Setelah dilakukan proses *sintering* sampel mengalami peningkatan densitas hingga 91,55% dari densitas SS 17-4 PH.



Gambar 3. Grafik perbandingan densitas pada temperatur sebesar 1250 °C

Pada temperatur 1250 °C nilai densitas sebelum dilakukannya *sintering* yaitu ada pada kisaran sebesar 67,55-69,45%. Setelah dilakukan proses *sintering* sampel mengalami peningkatan densitas hingga 96,79% dari densitas SS 17-4 PH



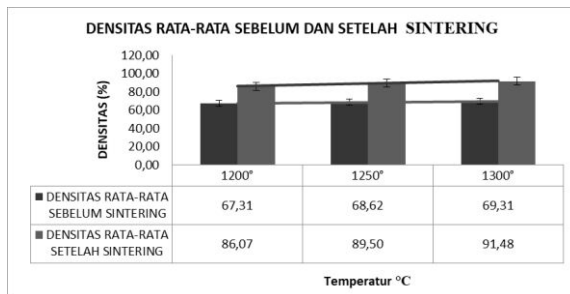
Gambar 4. Grafik perbandingan densitas pada temperatur sebesar 1300 °C

Pada temperatur 1250 °C nilai densitas sebelum dilakukannya *sintering* yaitu ada pada kisaran sebesar 67,92-71,88%. Setelah dilakukan proses *sintering* sampel mengalami peningkatan densitas hingga 90,06% dari densitas SS 17-4 PH

Tabel 4 menunjukkan hasil rata-rata densitas dengan variasi temperatur sebesar 1200°C, 1250°C, dan 1300°C, grafik mengalami peningkatan pada setiap temperatur setelah dilakukannya proses *sintering*. Grafik perbandingan densitas setelah *sintering* ditunjukkan pada Gambar 5.

Tabel 5. densitas rata-rata sebelum dan sesudah *sintering*

No	Densitas rata-rata			
	Temperatur ^o C	Waktu	Sebelum <i>sintering</i>	Sesudah <i>sintering</i>
1	1200	2 jam	67,31	86,07
2	1250	2 jam	68,62	89,50
3	1300	2 jam	69,31	91,48



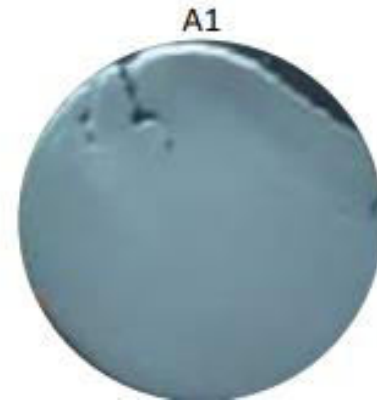
Gambar 5. densitas rata-rata sebelum dan setelah di-*sintering*

Pengamatan Metalografi

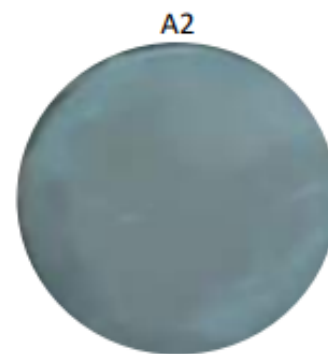
Pengamatan metalografi menghasilkan tingkat porositas yang dapat dilihat pada *microscope optic*, Pengamatan sebelum dilakukan pengetsaan di tunjukan pada Gambar 6-8. Analisis berikutnya dengan cara *polish* dan diberi etsa, pengetsaan dilakukan menggunakan *Aqua Regia* = (HN03 + HCI) kemudian dilihat struktur mikro dengan pembesaran 500x.

Pada Gambar 6 menunjukan gambar sampel A1 dengan variasi temperatur sebesar 1200°C sebelum dilakukan struktur mikro, Gambar 7 menunjukan sampel A2 dengan variasi temperatur sebesar 1250°C, dan Gambar 8 menunjukan gambar sampel A3 dengan variasi temperatur sebesar 1300°C.

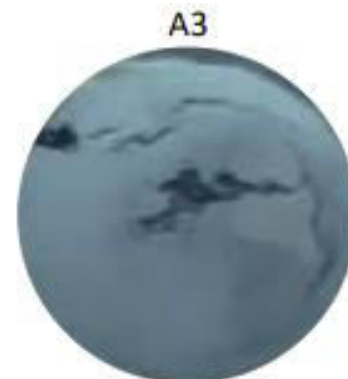
Pada Gambar 9 menunjukan hasil dari pemngamatan metalografi pada sampel A1 dengan temperatur *sintering* 1200°C setelah dilakukan *polishing* dan *etching* dengan pembesaran 500x



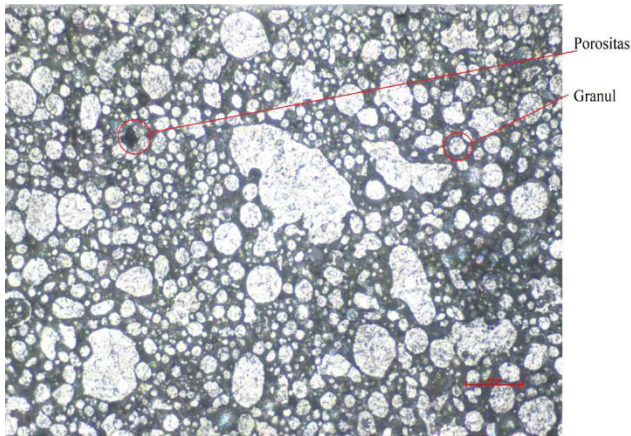
Gambar 6. sampel A1 1200°C, permukaan sampel sebelum *polish*



Gambar 7. sampel A2 1250°C, permukaan sampel sebelum *polish*

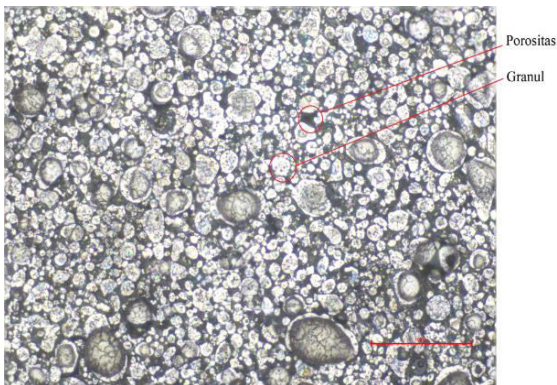


Gambar 8. sampel A3 1300°C, permukaan sampel sebelum *polish*



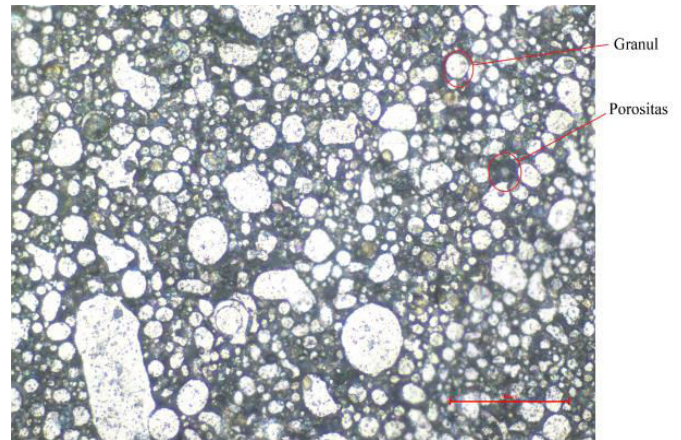
Gambar 9. sampel A1 pada temperatur 1200°C dengan pembesaran 500x

Gambar 9 menunjukkan bentuk butir yang berbentuk dengan kecenderungan membulat, pada sampel A1 dengan variasi temperatur 1200°C, ketika sudah dilakukan perhitungan menggunakan metode *grain counting* maka didapatkan hasil sebesar 12% porositas. Gambar 10 menunjukkan hasil dari pengamatan metalografi pada sampel A2 dengan temperatur 1250°C *sintering* setelah dilakukan *polishing* dan *etching* dengan pembesaran 500x. porositas terhitung sebesar 5% pada sampel dengan temperatur *sintering* sebesar 1250 °C.



Gambar 10. sampel A2 pada temperatur 1250°C dengan pembesaran 500x

Gambar 11 menunjukkan hasil metalografi sampel A3 dengan variasi temperatur 1300°C. Terlihat bentuk butir yang didapat berbentuk berbagai macam bentuk, pada sampel A3 dengan variasi temperatur 1300°C, ketika sudah dilakukan perhitungan menggunakan metode *grain counting* maka didapatkan hasil sebesar 9% porositas.



Gambar 11. sampel A3 pada temperatur 1300°C dengan pembesaran 500x

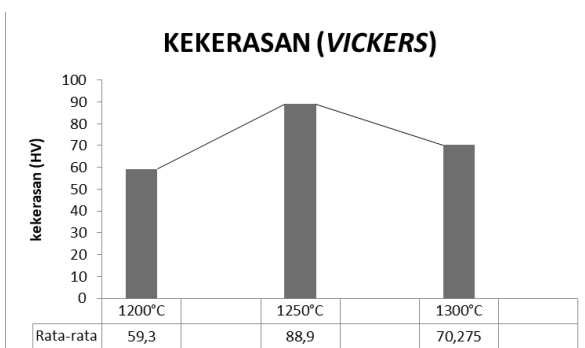
Jadi hasil dari semua sampel A1, A2, A3 dengan variasi temperatur 1200°C, 1250°C, dan 1300°C selama 2 jam didapatkan yaitu, pada sampel A1 terlihat pada mikrostruktur lebih banyak butir dibandingkan dengan porositas, berbeda dengan sampel A2 terlihat banyak kerapatan antar batas butir dan butir dan tidak banyak rongga pada sampel tersebut, pada sampel A3 sama seperti sampel A1 lebih banyak batas butir dibandingkan dengan porositas nya, jadi sampel yang paling optimum terdapat pada sampel A2 dikarenakan batas butir dan porositas tidak terlalu besar.

Hasil Pengujian Kekerasan *Vickers*

Hasil pengujian kekerasan dengan menggunakan metode *vickers* dari bahan stainless steel 17-4 PH yang melalui proses *sintering* dengan variasi temperatur berbeda antara 1200°C, 1250°C dan 1300°C. Tabel 6 merupakan data hasil dari kekerasan dan rata-rata hasil pengujian kekerasan *Vickers* pada variasi temperatur 1200°C, 1250°C dan 1300°C *sintering* dengan waktu selama 2 jam. Gambar 12 menunjukkan grafik hasil pengujian kekerasan *vickers* dengan variasi temperatur 1200°C, 1250°C dan 1300°C dengan waktu selama 2 jam.

Tabel 6. tabel data kekerasan dan rata - rata kekerasan (*Vickers*)

No	Tempera tur	Kekerasan		Rata- rata
	°C	HV		HV
1	1200	64,2	66,5	59,3
		50,2	56,3	
2	1250	68,4	69,6	88,9
		112,1	105,5	
3	1300	59,7	55,5	70,275
		81,5	84,4	



Gambar 12. Kekerasan (*Vickers*) hasil sintering pada berbagai temperatur

Gambar 4.11 menunjukkan grafik hasil pengujian kekerasan *vickers* dengan variasi temperatur 1200°C, 1250°C dan 1300°C dengan waktu selama 2 jam, berarti nilai kekerasan material yang diuji coba selama 2 kali dengan variasi temperatur hasilnya mengalami perbedaan yang agak jauh berbeda. Hasil yang didapat berbeda-beda dikarenakan permukaan dari spesimen hasil *sintering* memiliki permukaan yang rapuh di beberapa bagian, hal ini bisa disebabkan karena oksidasi pada *powder* atau kurangnya tekanan yang diberikan saat proses kompaksi sehingga kurangnya ikatan fisik yang terbentuk antar butir 17-4 PH. Pada saat pemasangan spesimen kesalahan terjadi tergantung pada lengkungan, beban, penumbuk, dan kekerasan bahan. Hasil yang paling optimum didapatkan pada proses *sintering* pada temperatur 1250°C sebesar 88,9 HV.

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang didapatkan dari penelitian seperti berikut :

Hasil dari variasi temperatur *sintering* terhadap densitas. Sampel pada temperatur 1200°C dengan kode sampel 27B setelah *disintering*, memiliki nilai terendah yaitu 6,20 g/cm³ dengan presentase densitas sebesar 80,02%, sampel pada temperatur 1300°C dengan kode sampel 47C, memiliki nilai densitas tertinggi yaitu 7,58 g/cm³ dengan presentase densitas 97,78%. Hal tersebut dikarenakan semakin tinggi temperatur *sintering* maka sampel akan semakin padat sehingga memiliki nilai densitas yang besar.

Terdapat hasil dari variasi temperatur *sintering* 1200°C, 1250°C dan 1300°C selama 2 jam terhadap porositas, setelah dilakukan perhitungan menggunakan metode grain counting pada sampel A1 didapatkan hasil porositas sebesar 12% , pada sampel A2 didapatkan hasil porositas sebesar 5%, pada sampel A3 didapatkan hasil porositas sebesar 9%, maka didapatkan sampel yang paling optimum ada pada sampel A2 dengan temperatur 1250°C, karena batas butir dan total porositas tidak terlalu besar.

Terdapat hasil dari variasi temperatur *sintering* terhadap nilai kekerasan vickers, sampel pada variasi temperatur 1200°C memiliki nilai kekerasan terendah dengan nilai rata-rata keseluruhan titik yaitu 59,3 HV, sedangkan untuk sampel pada temperatur 1250°C dengan nilai rata-rata keseluruhan titik yaitu 88,9 HV, nilai kekerasan *Vickers* material yang diuji coba 2 kali, menggunakan 3 kali variasi temperatur 1200°C, 1250°C dan 1300°C hasilnya mengalami perbedaan, mengakibatkan kurangnya signifikan, hal tersebut bisa jadi dikarenakan terlalu lamanya material didalam tungku

DAFTAR PUSTAKA

Afrilinda, E., Virdhian, S., & Doloksaribu, M. (2017). Studi Awal Pembuatan Feedstock Metal Injection Moulding Menggunakan Torque Rheometer. *Metal Indonesia*, 39(1), 33. <https://doi.org/10.32423/jmi.2017.v39.33-44>.

- azom.com. (2021). *Stainless Steel Grade 17-4 (UNS S17400)*. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6778>
- Barriere, T., Liu, B., & Gelin, J. C. (2003). Determination of the optimal process parameters in metal injection molding from experiments and numerical modeling. *Journal of Materials Processing Technology*, 143–144(1), 636–644. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(03\)00473-4](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(03)00473-4)
- Desktop Metal. (2018). 17-4 PH Stainless Steel. *Www.Desktopmetal.Com*, 1. <https://s3.amazonaws.com/desktopmetal/Studio-MDS-17-4-PH-stainless-steel.pdf>
- Ghanbari, A., & Attar, M. M. (2014). Surface free energy characterization and adhesion performance of mild steel treated based on zirconium conversion coating: A comparative study. *Surface and Coatings Technology*, 246, 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.02.057>
- Jamaluddin, A. (2007). *INJECTION MOLDING dan PENERAPANNYA di INDUSTRI MANUFAKTUR*. <http://anifmaterial.blogspot.com/2007/01/injection-molding-dan-penerapannya-di.html>
- Kekerasan, B. A. B. P. (2019). *Bab 1. pengujian kekerasan. 1*, 4–17.
- Li, Y., Li, L., & Khalil, K. A. (2007). Effect of powder loading on metal injection molding stainless steels. *Journal of Materials Processing Technology*, 183(2–3), 432–439. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.10.039>
- Modeling, L. M., Measurement, F., Snowrift, O. N., Environmental, A. R., Regional, S., Power, E., Limited, G. C., Influence, T. H. E., Snow, O. F., On, F., Around, S., Embankment, T. H. E., Wind, I. N., Snow, B., Aspect, O. F., On, R. R., Distribution, S., Model, A. A. C., Simulation, N., ... Maciejowski, J. M. (2019). Title. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 26(3), 1–4.
- Permana, M. R. R. (2013). *PENGARUH SUHU DAN WAKTU PROSES SOLVENT DEBINDING BERAT GREENPART PADA METAL INJECTION MOLDING SERBUK ALUMUNIUM*.
- Putra, R. H. S. (2018). Karakteristik Pada Logam Baja Paduan dengan Menggunakan Metoda X-Ray Fluoresence (XRF) dan Optical Emission Spectroscopy (OES). *Universitas Negeri Yogyakarta*.
- Schaeffer, R. (2017). STUDI TENTANG PENGARUH JARAK (SPACER) TERHADAP KUALITAS KRISTAL LAPISAN TIPIS Sn) HASIL PREPARASI DENGAN TEKNIK EVAPORASI VAKUM. In 2017 (Vol. 22).
- Shieddieque, A. D., Virdhian, S., Muttahar, M. I. Z., & Muttaqin, M. R. (2021). Effects of *sintering* variables on the physical and mechanical properties of metal injection molding molded 17-4 ph stainless steel. *Materials Science Forum*, 1028 MSF, 403–408. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1028.403>
- Zaky, M. T. (2004). Effect of solvent debinding variables on the shape maintenance of green molded bodies. *Journal of Materials Science*, 39(10), 3397–3402. <https://doi.org/10.1023/B:JMISC.0000026942.64551.97>