

## KARAKTERISASI *FEEDSTOCK* Fe2%Ni PADA PROSES METAL INJECTION MOLDING

### CHARACTERIZATION OF Fe2%Ni *FEEDSTOCK* ON METAL INJECTION MOLDING PROCESS

Winda Sri Jaman\*, Shinta Virdhian, Martin Doloksaribu, Hakim Ginajar

Balai Besar Logam dan Mesin, Jalan Sangkuriang Nomor 12 Bandung

Diterima: 11 Januari 2021 Direvisi: 15 Februari 2021 Disetujui: 9 Maret 2021

#### ABSTRAK

Bahan baku atau bahan umpan (*feedstock*) merupakan bahan yang penting pada proses Cetak Injeksi Logam (MIM). Pada penelitian ini, tiga bahan umpan dikarakterisasi untuk mengetahui jenis bahan pengikatnya (*binder*). Bahan umpan A (pabrikasi Jepang), bahan umpan B (pabrikasi Korea) dan bahan umpan C (hasil penelitian) dikarakterisasi dengan menggunakan SEM, PSA, TG-DTA, *Rheometer Torque* dan kelarutan. Karakterisasi SEM menunjukkan bentuk serbuk yang terdiri dari *ligament, rounded, spherical, spongy*. Bentuk serbuk *rounded* mendominasi bentuk serbuk *feedstock* A, B dan C. Karakterisasi PSA menunjukkan distribusi ukuran bahan umpan A, B dan C yang menyebar; bahan umpan B mempunyai ukuran serbuk paling kecil  $D_{50} = 2,04 \mu\text{m}$  di antara bahan umpan A  $D_{90} = 14,62 \mu\text{m}$  dan bahan umpan C  $D_{90} = 14,494 \mu\text{m}$ . Karakterisasi FTIR menunjukkan adanya kecenderungan gugus fungsi yang dikandung oleh *Polyethylene, Ethylene Vinyl Acetate* dan *Paraffin Wax*. Karakterisasi *Rheometer* menunjukkan homogenitas dari bahan umpan A, B dan C dengan nilai *torque* yang stabil. Pengujian kelarutan menunjukkan kelarutan bahan umpan A, B dan C tetapi hasil tersebut kurang tepat untuk menentukan komposisi bahan pengikat umpan.

**Kata kunci:** bahan umpan, bahan pengikat, pengujian *feedstock*, Fe2%Ni

#### ABSTRACT

*The feedstock is an essential material in the Metal Injection Molding (MIM) process. In this study, three feedstocks were characterized to determine the binder material. Feedstock A (Japanese product), feedstock B (Korean product) and feedstock C (this research) were characterized using SEM, PSA, TG-DTA, Torque Rheometer and Solubility. SEM characterization shows the shape of the powder consisting of ligaments, rounded, spherical, spongy. Rounded powder dominates the form of feedstock powder. PSA characterization shows the spread of size distribution in which feedstock B has the smallest powder size  $D_{50} = 2.04 \mu\text{m}$  between feedstock A  $D_{90} = 14.62 \mu\text{m}$  and feedstock C  $D_{90} = 14,494 \mu\text{m}$ . FTIR characterization showed the tendency of functional groups contained in Polyethylene, Ethylene Vinyl Acetate and Paraffin Wax. Rheometer characterization showed homogeneity of feedstock A, B and C with steady torque values. The solubility test showed the solubility of feedstock A, B and C, but the results were not precise to determine the composition of the binder.*

**Keywords:** *feedstock, binder, metal injection molding, Fe2%Ni*

#### PENDAHULUAN

*Metal Injection Molding* (MIM) merupakan teknologi yang mampu menghasilkan produk dengan geometri *near net-shape* [1, 2]. Produk *near net-shape* tidak memerlukan proses lanjutan sehingga biaya fabrikasi relatif rendah untuk produksi massal.

Harga bahan baku (*feedstock*) akan mempengaruhi biaya manufaktur dan

kemudian mempengaruhi biaya produksi secara keseluruhan. Biaya manufaktur dipengaruhi oleh biaya material [3]. Harga Fe2%Ni dalam bentuk *feedstock* (campuran serbuk logam dan bahan pengikat) berkisar 31 \$/kg lebih mahal dibandingkan harga serbuk logam Fe2%Ni berkisar 21 \$/kg. Sedangkan harga sistem bahan pengikat (*binder*) seperti PP, PE dan EVA berkisar 2 \$/kg.

\*Corresponding author:

Email: [windasj@kemenperin.go.id](mailto:windasj@kemenperin.go.id)

DOI: <http://dx.doi.org/10.37209/jtbbt.v11i1.288>

Perbandingan komposisi antara serbuk logam dan bahan pengikat adalah 60-70% berbanding 30-40% [4]. Pembuatan bahan baku di dalam negeri dapat menurunkan biaya produksi berkisar 10-30 %. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan sifat bahan baku impor dengan bahan baku yang dibuat sendiri sehingga mengetahui karakter bahan baku yang dibuat. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan bahan baku dalam negeri.

**BAHAN DAN METODE**

Bahan penelitian merupakan *feedstock* komersil pabrikan Jepang (*feedstock A*), pabrikan Korea (*feedstock B*) dan hasil penelitian (*feedstock C*). Semua *feedstock* dikarakterisasi dengan SEM, Particle Size Analysis (PSA) SALD 7000 Shimadzu, FTIR Shimadzu Prestige21, TG-DTA dan Rheometer. Hasil karakterisasi morfologi serbuk, distribusi ukuran serbuk, gugus fungsi, perubahan berat dan homogenitas dari *feedstock A* dan *feedstock B* dibandingkan dengan *feedstock C*.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Karakterisasi Morfologi Serbuk (SEM dan PSA)**

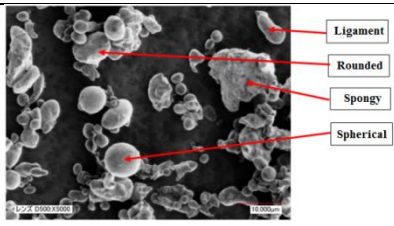
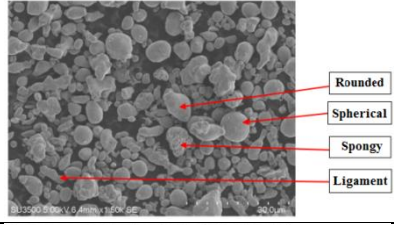
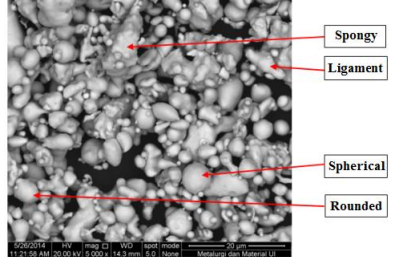
Hasil karakterisasi morfologi serbuk dengan SEM ditunjukkan pada Tabel 1. Pengamatan dilakukan dengan perbesaran 1500x dan 5000x. Morfologi serbuk *feedstock A*, *B* dan *C* memiliki bentuk *ligament*, *rounded*, *spherical*, *spongy*. *Feedstock* dengan morfologi serbuk seperti itu dihasilkan dari proses pembuatan serbuk dengan *carbonyl iron powder* [5, 6].

*Feedstock A*, *B* dan *C* didominasi oleh serbuk *rounded*. Bentuk *rounded* mempunyai kelebihan pada proses injeksi yaitu mampu alir yang baik. Hal ini disebabkan karena bentuk *rounded* mempunyai *inter-particle-friction* yang rendah sehingga pada saat injeksi akan menghasilkan bentuk yang diinginkan dan tingkat homogenitas yang baik. Homogenitas merupakan faktor yang penting [7].

Hasil pengamatan distribusi ukuran serbuk dapat dilihat pada grafik Gambar 1, Gambar 2 dan Gambar 3. Informasi ukuran serbuk pada  $D_{90}$ ,  $D_{50}$  dan  $D_{10}$  sesuai dengan ukuran serbuk pada 90, 50 dan 10 persen

distribusi kumulatif [8]. Distribusi serbuk *feedstock A* adalah  $D_{90} = 14.62 \mu\text{m}$ ;  $D_{50} = 9,556 \mu\text{m}$  dan  $D_{10} = 5,256 \mu\text{m}$ . Ukuran serbuk *feedstock A* tersebar merata; terdapat ukuran yang besar dan kecil. Persentase  $D_{90}$  memiliki ukuran kurang dari  $22 \mu\text{m}$  sesuai dengan persyaratan serbuk untuk proses MIM untuk *stainless steel* [3, 9]. Distribusi ukuran partikel memberikan pengaruh terhadap densitas, penyusutan dan proses *debinding* [10, 11].

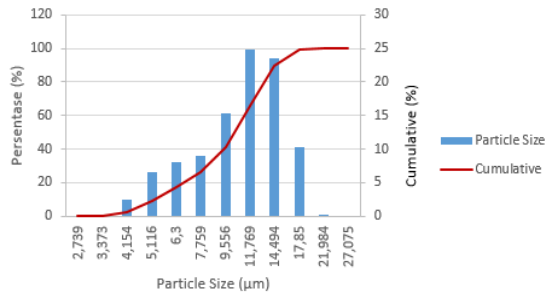
**Tabel 1.** Karakterisasi Morfologi Serbuk Fe2%Ni

<i>Feedstock</i>	Karakterisasi Morfologi Serbuk
A Pembesaran 5000x	
B Pembesaran 1500x	
C Pembesaran 5000x	

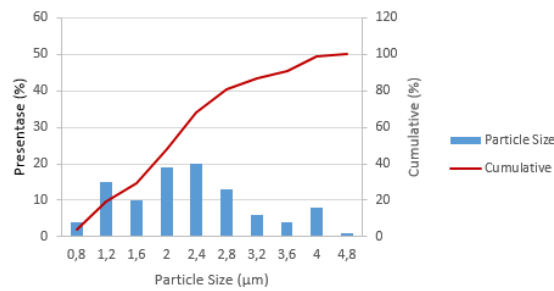
Ukuran dan distribusi ukuran serbuk mempengaruhi viskositas campuran dan *injection molding* [5]. Jika ukuran serbuk makin besar maka viskositas campuran menurun. Hal tersebut mempengaruhi proses injeksi.

Ukuran serbuk juga mempengaruhi *sintering* kepadatan dan sifat mekanik. Jika ukuran serbuk semakin kecil maka respon *sintering* meningkat. Oleh karena itu, variabilitas ukuran serbuk mempengaruhi dimensi, *part density* (kepadatan produk) dan sifat mekanik. Ukuran dan distribusi ukuran serbuk sesuai standar dapat memberikan produk sesuai yang diinginkan.

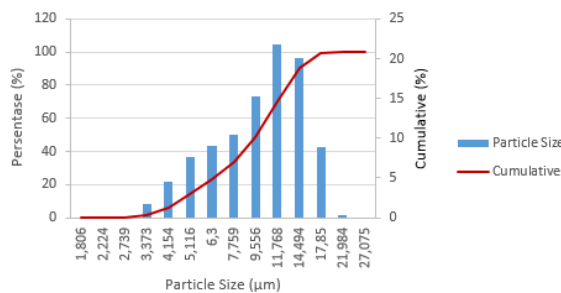
Distribusi ukuran serbuk *feedstock* B dapat dilihat pada Gambar 2. Distribusi  $D_{90} = 3,5\mu\text{m}$ ,  $D_{50} = 2,04\ \mu\text{m}$  dan  $D_{10} = 0,96\ \mu\text{m}$ . Ukuran serbuk *feedstock* B tersebar merata; terdapat ukuran yang besar dan yang kecil. Ukuran serbuk  $D_{90}$  kurang dari  $22\ \mu\text{m}$ .



**Gambar 1.** Distribusi Ukuran Serbuk *Feedstock* A



**Gambar 2.** Distribusi Ukuran Serbuk *Feedstock* B



**Gambar 3.** Distribusi Ukuran Serbuk *Feedstock* C

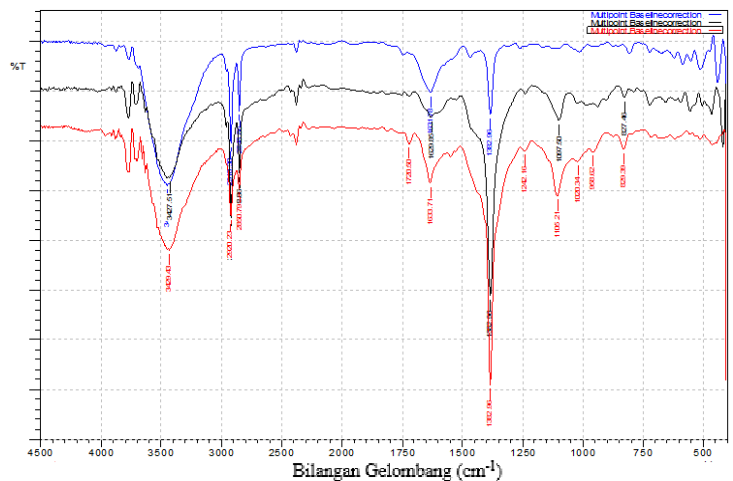
Gambar 3 menunjukkan grafik distribusi ukuran serbuk *feedstock* C. Nilai  $D_{90} = 14,494\ \mu\text{m}$ ;  $D_{50} = 9,556\ \mu\text{m}$  dan  $D_{10} = 5,116\ \mu\text{m}$ . Ukuran serbuk tersebar merata; terdapat ukuran serbuk besar dan serbuk kecil. Ukuran  $D_{90}$  kurang dari  $22\ \mu\text{m}$ .

Distribusi ukuran serbuk *feedstock* A memiliki kesamaan ukuran dengan *feedstock* C. *Feedstock* A dan C memiliki jumlah kandungan bahan pengikat relatif sama.

*Feedstock* B mempunyai distribusi ukuran serbuk yang lebih kecil dibandingkan *feedstock* A dan C.

### Karakterisasi FTIR

Grafik pada Gambar 4 menunjukkan hasil karakterisasi FTIR *Polyethylene* pada area region yang dimiliki oleh *feedstock* A, B dan C [12]. Panjang gelombang di area  $2850-3000\ \text{cm}^{-1}$  dan  $1370-1390\ \text{cm}^{-1}$  menunjukkan peta panjang gelombang *Polyethylene*. Karakterisasi antara HDPE dan LDPE sangat sulit dibedakan karena hasil karakterisasi FTIR yang sangat mirip. HDPE dan LDPE hanya bisa dibedakan jenisnya dengan cara mengetahui berat jenis dari masing-masing jenis *Polyethylene* (PE).



**Gambar 4.** Grafik FTIR *Feedstock* A, B dan C

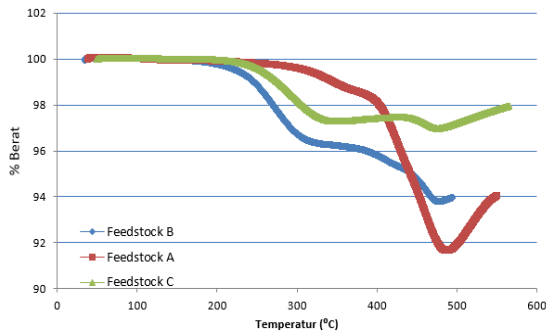
EVA (*Etyhylene Vinyl Acetate*) pada karakterisasi FTIR literatur terlihat pada area region yang dimiliki oleh *feedstock* A dan C. Peta panjang gelombang EVA terlihat pada region/area  $2850-3000\ \text{cm}^{-1}$ ,  $1630-680\ \text{cm}^{-1}$ ,  $1370-1390\ \text{cm}^{-1}$ ,  $1180-1260\ \text{cm}^{-1}$ , dan  $1085-1125\ \text{cm}^{-1}$ .

PW (*Parafin Wax*) literatur terlihat pada area region *feedstock* A, B dan C. Peta panjang gelombang PW literatur terlihat pada region/area  $2850-3000\ \text{cm}^{-1}$ ,  $1370-1390\ \text{cm}^{-1}$  dan  $750-850\ \text{cm}^{-1}$ .

### Karakterisasi TG-DTA

Grafik TG-DTA ditunjukkan pada Gambar 5. Pada grafik dapat dilihat beberapa tahap degradasi *feedstock*. Struktur yang

mempunyai susunan tidak teratur akan terlebih dahulu terdegradasi sedangkan struktur yang memiliki susunan teratur akan terdegradasi setelahnya. Melalui karakterisasi TGA diketahui temperatur degradasi ( $T_{deg}$ ), temperatur mulai terdegradasi ( $T_{onset}$ ) dan temperatur berakhirnya degradasi ( $T_{final}$ ). Selain itu, TGA dapat menentukan analisis komposisi bahan pengikat tiap tahapan dan jumlah berat sampel yang terdegradasi [13].



**Gambar 5.** Grafik TG-DTA Feedstock A, B dan C

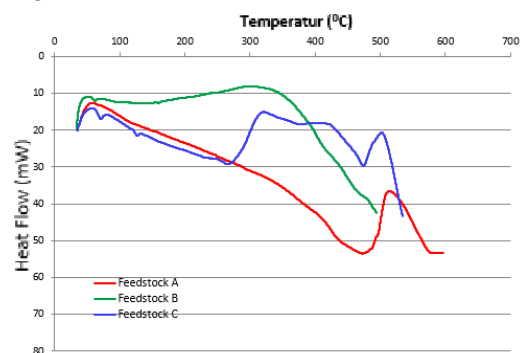
Tahap 1 Feedstock A menunjukkan  $T_{onset}$  142 °C;  $T_{deg}$  283 °C;  $T_{final}$  288 °C dengan kehilangan berat 0,22%. Kemudian diikuti Tahap 2 menunjukkan  $T_{onset}$  321 °C;  $T_{deg}$  365 °C;  $T_{final}$  386 °C dengan kehilangan berat 1,53%. Tahap 2 mempunyai susunan struktur di antara Tahap 1 dan Tahap 3. Pada Tahap 3 menunjukkan  $T_{onset}$  388 °C;  $T_{deg}$  487 °C;  $T_{final}$  500 °C dengan kehilangan berat 6,72%. Tahap 3 mempunyai susunan struktur yang teratur dibandingkan dengan susunan struktur Tahap 1 dan Tahap 2. Susunan struktur yang teratur dibentuk oleh bahan pengikat yang memiliki ikatan antara rantai yang kuat.

Feedstock B pada Tahap 1 menunjukkan  $T_{onset}$  181 °C;  $T_{deg}$  188 °C;  $T_{final}$  321 °C dengan kehilangan berat 3,7%. Persen kehilangan berat sampel Feedstock B Tahap 1 lebih banyak dibandingkan dengan Feedstock A Tahap 1. Feedstock B Tahap 2 menunjukkan  $T_{onset}$  325 °C;  $T_{deg}$  327°C;  $T_{final}$  468 °C dengan kehilangan berat 2,5%. Persen kehilangan berat Feedstock B Tahap 2 lebih banyak dibandingkan dengan Feedstock A Tahap 2. Pada Tahap 3 terdapat fluktuasi perubahan temperatur dan berat tetapi tidak dapat dinyatakan sebagai  $T_{onset}$ ,  $T_{deg}$  dan  $T_{final}$ . Hal tersebut disebabkan karena bahan pengikat

yang terkandung dalam Feedstock B bercampur sempurna.

Feedstock C Tahap 1 menunjukkan  $T_{onset}$  185 °C;  $T_{deg}$  245 °C;  $T_{final}$  330 °C dengan kehilangan berat 3,25%. Persen kehilangan berat Feedstock C Tahap 1 lebih banyak dibandingkan dengan Feedstock A Tahap 1. Feedstock C Tahap 2 menunjukkan  $T_{onset}$  425 °C;  $T_{deg}$  435 °C;  $T_{final}$  475 °C dengan kehilangan berat 0,5%. Persen kehilangan berat Feedstock C Tahap 2 lebih sedikit dibandingkan dengan Feedstock A Tahap 2. Feedstock C Tahap 3 menunjukkan  $T_{final}$  570 °C. Pada Tahap 3 terjadi kenaikan temperatur dan kehilangan berat yang diakibatkan oleh oksidasi dari sisa berat akibat kekeringan dan keluarnya gas dan uap yang mengotori chamber sehingga terakumulasi dan bereaksi dengan sampel.

Kehilangan berat berdasarkan kenaikan temperatur menunjukkan kandungan komposisi bahan pengikat masing-masing feedstock. Feedstock A mempunyai komposisi bahan pengikat 0,22%; 1,53%; 6,72%. Feedstock A mengandung 3 jenis bahan pengikat utama. Feedstock B mempunyai komposisi bahan pengikat 3,7% dan 2,5%. Feedstock B mengandung 2 jenis bahan pengikat utama. Feedstock C mempunyai komposisi bahan pengikat 3,25% dan 0,5%. Feedstock C mengandung 2 jenis bahan pengikat utama.



**Gambar 6.** Grafik DTA Feedstock A,B dan C

Grafik DTA dapat dilihat pada Gambar 6. Feedstock A diawali tahap kristalisasi pada temperatur 50 °C yang berlangsung secara eksotermik (melepaskan panas). Temperatur rekristalisasi terendah yang terjadi di antara Feedstock B dan C. Temperatur leleh ( $T_m$ )

terjadi pada temperatur 480 °C yang berlangsung endotermik (menyerap panas). *Cross-linked macromolecules* terjadi pada temperatur 520 °C. Pada tahap ini terjadi ketidakstabilan ikatan atom antara rantai makromolekul yang diakibatkan oleh ikatan antara molekul yang lemah. Hal tersebut disebabkan temperatur yang tinggi dan penyerapan energi yang rendah. Tahap terakhir terjadi dekomposisi atau oksidasi karena sampel bereaksi terhadap lingkungan.

*Feedstock B* diawali tahap kristalisasi pada temperatur 60 °C. Temperatur leleh ( $T_m$ ) pada temperatur 61 °C, 240 °C. *Cross-linked macromolecules* terjadi pada temperatur 325 °C.

*Feedstock C* diawali tahap kristalisasi pada temperatur 61 °C, 320 °C. Temperatur melting ( $T_m$ ) pada temperatur 70 °C, 275 °C, 257 °C dan 480 °C. *Cross-linked macromolecules* terjadi pada temperatur 520 °C.

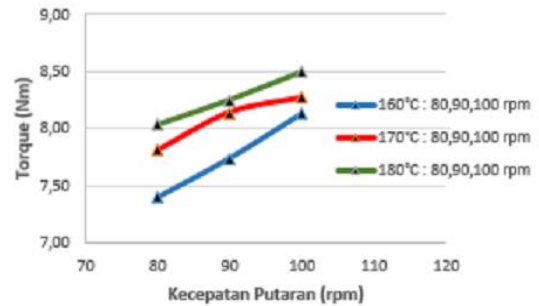
Temperatur transisi merupakan temperatur antara temperatur leleh dan temperatur kristalisasi. Temperatur transisi digunakan sebagai temperatur proses injeksi. Proses injeksi *Feedstock A* dilakukan pada temperatur 50-480 °C, *Feedstock B* pada 61-240 °C, dan *Feedstock C* pada 61-480 °C.

### Karakterisasi Torque Rheometer

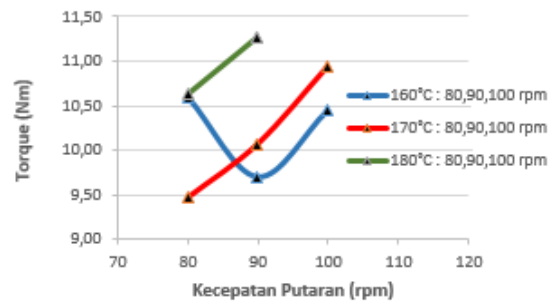
Gambar 7 menunjukkan grafik hasil karakterisasi torsi *Feedstock A*. Grafik memberikan informasi pengaruh torsi terhadap kecepatan putaran pada temperatur 160 °C, 170 °C dan 180 °C. Grafik menunjukkan semakin tinggi kecepatan putar maka torsi semakin tinggi. Grafik pada temperatur 170 °C dengan kecepatan putaran 90 rpm menunjukkan kenaikan torsi tidak terlalu signifikan. Pada *Feedstock A* kecepatan putaran berpengaruh terhadap nilai torsi. Nilai torsi yang rendah direkomendasikan untuk proses MIM sedangkan kecepatan putaran tinggi direkomendasikan untuk mencapai kehomogenan.

Gambar 8 menunjukkan Grafik Torsi *Feedstock B*. Pada temperatur 170 °C nilai torsi berbanding lurus dengan kecepatan putar. Temperatur mempengaruhi nilai torsi. Pada

temperatur 180 °C dengan kecepatan putaran 80-90 rpm menghasilkan nilai torsi yang mendekati. Pada kondisi tersebut homogenitas *feedstock* telah tercapai. Pada *Feedstock B* nilai torsi dipengaruhi oleh kecepatan putaran. Makin tinggi nilai torsi maka makin tinggi kecepatan putaran yang diberikan untuk mencapai homogenitas yang dipersyaratkan pada proses MIM.

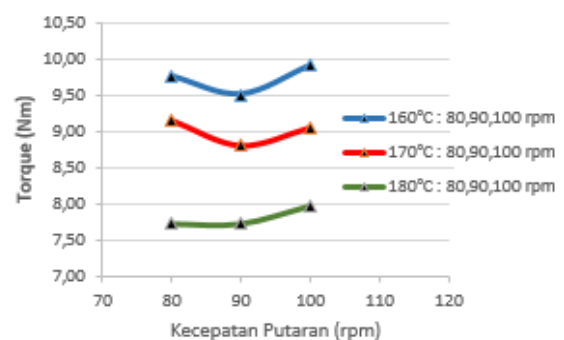


Gambar 7. Nilai Torsi *Feedstock A*



Gambar 8. Grafik Torsi *Feedstock B*

Gambar 9 menunjukkan torsi *Feedstock C*. Nilai torsi sedikit dipengaruhi oleh kecepatan putaran. Makin tinggi nilai torsi maka makin tinggi kecepatan putaran yang diberikan untuk mencapai homogenitas *feedstock*. Namun nilainya tidak terlalu signifikan dibandingkan *Feedstock A* dan *B*.



Gambar 9. Grafik torsi *Feedstock C*

## KESIMPULAN

Karakterisasi dilakukan terhadap *Feedstock A* (pabrikan Jepang), *Feedstock B* (pabrikan B) dan *Feedstock C* (hasil penelitian) untuk mengetahui karakter *Feedstock C*. Distribusi ukuran partikel *Feedstock C* mirip dengan *Feedstock A*. Karakterisasi FTIR menunjukkan terdapatnya bahan pengikat (*binder*) PE, EVA dan PW pada *Feedstock C*. Karakterisasi TG *Feedstock C* menunjukkan bahwa *feedstock* terdiri dari dua jenis bahan pengikat dengan kisaran temperatur injeksi dalam kisaran temperatur injeksi *Feedstock A* dan B yaitu 61-480 °C. Pengaruh kecepatan putaran terhadap homogenitas *Feedstock C* di bawah *Feedstock A* dan B.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Hartwig, L. Lopes, P. Wendhausen, and N. Ünal, "Metal injection molding (MIM) of NdFeB magnets," *EPJ Web Conf*, vol. 75, pp. 4–7, 2014, doi: 10.1051/epjconf/20147504002.
- [2] Z. Lu, Z. Huang, S. Jiang, W. Liu, and K. Zhang, "Influencing Factors for the Microstructure and Mechanical Properties of Micro Porous Titanium Manufactured by Metal Injection Molding," *Metals (Basel)*, vol. 6, no. 4, pp. 1–10, 2016, doi: 10.3390/met6040083.
- [3] A. Dehghan-Manshadi, P. Yu, M. Dargusch, D. StJohn, and M. Qian, "Metal Injection Moulding of Surgical Tools, Biomaterials and Medical Devices: A review," *Powder Technol*, vol. 364, pp. 189–204, 2020, doi: 10.1016/j.powtec.2020.01.073.
- [4] M. Wolff *et al.*, "Metal injection molding (MIM) of magnesium and its alloys," *Metals (Basel)*, vol. 6, no. 5, pp. 1–12, 2016, doi: 10.3390/met6050118.
- [5] S. Ahn, S. J. Park, S. Lee, S. V. Atre, and R. M. German, "Effect of powders and binders on material properties and molding parameters in iron and stainless steel powder injection molding process," *Powder Technol*, vol. 193, no. 2, pp. 162–169, Mar. 2009, doi: 10.1016/j.powtec.2009.03.010.
- [6] J. Ma *et al.*, "Microstructure and magnetic properties of Fe–79%Ni–4%Mo alloy fabricated by metal injection molding," *Powder Technol*, vol. 253, pp. 158–162, 2014, doi: 10.1016/j.powtec.2013.11.011.
- [7] R. Supati, N. H. Loh, K. A. Khor, and S. B. Tor, "Mixing and characterization of feedstock for powder injection molding," *Materials Letter*, vol. 46, no. April, 2000, doi: 10.1016/S0167-577X(00)00151-8.
- [8] S. Park, Y. Wu, D. F. Heaney, X. I. N. Zou, G. Gai, and R. M. German, "Rheological and Thermal Debinding Behaviors in Titanium Powder Injection Molding," *The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International 2008*, vol. 40, no. January, pp. 215–222, 2009, doi: 10.1007/s11661-008-9690-3.
- [9] B. Hausnerova, B. N. Mukund, and D. Sanetnik, "Rheological properties of gas and water atomized 17-4PH stainless steel MIM feedstocks: Effect of powder shape and size," *Powder Technol*, vol. 312, pp. 152–158, 2017, doi: 10.1016/j.powtec.2017.02.023.
- [10] M. E. Sotomayor, A. Várez, and B. Levenfeld, "Influence of powder particle size distribution on rheological properties of 316L powder injection moulding feedstocks," *Powder Technol*, vol. 200, no. 1–2, pp. 30–36, 2010, doi: 10.1016/j.powtec.2010.02.003.
- [11] R. M. German, "Progress in Titanium Metal Powder Injection Molding," *Materials*, vol. 6, no. 8, pp. 3641–3662, 2013, doi: 10.3390/ma6083641.
- [12] M. D. Hayat, P. P. Jadhav, H. Zhang, S. Ray, and P. Cao, "Improving titanium injection moulding feedstock based on PEG/PPC based binder system," *Powder Technol*, p. #pagerange#, 2018, doi: 10.1016/j.powtec.2018.02.043.
- [13] S. J. Park, D. Kim, D. Lin, S. J. Park, and S. Ahn, "Rheological Characterization of Powder Mixture Including a Space Holder and Its Application to Metal Injection Molding," *Metals*, vol. 7, no. 4, p. 120, Mar. 2017, doi: 10.3390/met7040120.