

Analisis Sifat Mekanik Fe_2O_3 Undoping dan Doping Graphene sebagai Material Penguat pada Paduan Al-Si

Cepi Yazirin^{1✉}, Ena Marlina²

^{1,2} Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 10-05-2023

Direvisi : 17-05-2023

Diterima : 22-05-2023

Kata Kunci:

Sifat Mekanik, Al-Si, Fe_2O_3 , Graphene.

Keywords :

Mechanical Properties, Al-Si, Fe_2O_3 , Graphene.

ABSTRAK

Aluminium memiliki berbagai aplikasi komersial karena memiliki ketahanan korosi yang baik, ringan, sifat mekanik yang baik, dan kemudahan fabrikasi. Paduan Aluminium-Silikon memiliki kemampuan cor dan las yang baik, konduktivitas termal yang baik, dan ketahanan korosi yang sangat baik. Semakin berkembangnya zaman, maka dunia industri saat ini dituntut untuk meningkatkan kualitas hasil produksinya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat mekanik paduan Al-Si setelah ditambahkan material lain. Metode penguatan pada paduan Al-Si menggunakan metode *stir casting*. Hasilnya Penambahan Fe_2O_3 undoping dan doping graphene tidak dapat meningkatkan kekuatan tarik dari paduan Al-Si dan sebaliknya penambahan Fe_2O_3 undoping dan doping graphene menurunkan kekuatan tarik dari paduan Al-Si. Penambahan material Fe_2O_3 undoping graphene dan Fe_2O_3 doping graphene pada paduan Al-Si memiliki pengaruh terhadap kekerasan paduan Al-Si yaitu terjadi peningkatan nilai kekerasan dari Al-Si raw 108,83 HV setelah ditambah material Fe_2O_3 undoping graphene menjadi 111 HV dan menjadi 134,83 HV setelah ditambah material Fe_2O_3 doping graphene.

ABSTRACT

Aluminum has a wide range of commercial applications due to its good corrosion resistance, light weight, good mechanical properties and ease of fabrication. Aluminum-Silicon alloy has good cast and weld ability, good thermal conductivity and excellent corrosion resistance. As the times progress, the industrial world is currently required to improve the quality of its products. The purpose of this study was to determine the mechanical properties of Al-Si alloy after adding other materials. The strengthening method for Al-Si alloy uses the stir casting method. The result was that the addition of Fe_2O_3 undoped and doping graphene could not increase the tensile strength of the Al-Si alloy and conversely the addition of Fe_2O_3 undoped and doped graphene decreased the tensile strength of the Al-Si alloy. The addition of Fe_2O_3 undoping graphene and Fe_2O_3 doped graphene materials to the Al-Si alloy had an effect on the hardness of the Al-Si alloy, namely an increase in the hardness value of raw Al-Si 108.83 HV after adding Fe_2O_3 material undoping graphene to 111 HV and to 134.83 HV after adding graphene doped Fe_2O_3 material.

Corresponding Author :

Cepi Yazirin

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang

Jalan Mayjen Haryono No.193, Dinoyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65144

Email: cepiyazirin10@unisma.ac.id

PENDAHULUAN

Aluminium memiliki berbagai aplikasi komersial karena kombinasi uniknya, ketahanan korosi yang baik, ringan, sifat mekanik yang baik, kemudahan fabrikasi. Kepadatannya $\sim 2,7\text{g/cm}^3$ membuatnya menjadi logam komersial ringan selain magnesium $\sim 1,74\text{g/cm}^3$ dan berilium $\sim 1,85\text{g/cm}^3$. Aluminium dan paduannya memiliki lebih banyak manfaat dan lebih murah dari pada Mg atau Be. Paduan aluminium-silikon memiliki kemampuan cor dan las yang baik, konduktivitas termal yang baik, kekuatan pada suhu tinggi dan ketahanan korosi yang sangat baik. Karenanya, paduan ini sangat cocok untuk aplikasi pada struktural ruang angkasa, industri mobil, dan aplikasi peralatan militer (El-Mahallawi et al., 2015).

Fe_2O_3 merupakan material magnetik yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi, seperti pemisahan enzim, transpor obat, serapan gelombang mikro, foto katalis, aplikasi biologi, biomedik, pemisahan logam, dan *magnetic resonance imaging* (MRI) (Darezereshki et al., 2012) (Yahya et al., 2012). Fe_2O_3 merupakan material oksida yang sangat menarik untuk dipelajari karena perbedaan suhu kalsinasi dapat menghasilkan material magnetik dengan berbagai tipe. Pada bidang industri, Fe_2O_3 memiliki aplikasi potensial dalam reaksi katalis pada perangkat elektronik misalnya, semikonduktor, formulasi cat, dan baterai *lithium rechargeable*. Fe_2O_3 termasuk material besi oksida yang mempunyai struktur kristal yang sama dengan Fe_3O_4 dan termasuk bagian dari *feromagnetik* (Baruah & Dutta, 2009) (Dang et al., 2010). Fe_2O_3 banyak didoping dengan material lain salah satunya dengan material *graphene*.

Graphene pertama kali dapat dibuat oleh A. Geim dan K. Novoselov pada tahun 2004 dimana keduanya merupakan ilmuwan pada Universitas Manchester Inggris. *Graphene* memiliki energi gap nol untuk limit energi rendah, elektron pada *graphene* memenuhi suatu persamaan yang mirip dengan persamaan *Dirac* untuk material bermassa nol (Mayorov et al., 2012) (Geim et al., 2011) (Re et al., 2015) (Singh et al., 2009). Pada penelitian ini akan dilakukan proses penguatan pada paduan Al-Si menggunakan material Fe_2O_3 *undoping* dan *doping graphene* dengan harapan dapat meningkatkan sifat mekanik dari paduan Al-Si. Paduan Al-Si sebesar 15% akan memberikan kekuatan tarik yang cukup besar hingga mencapai 525 MPa pada aluminium paduan yang dihasilkan pada perlakuan panas. Jika konsentrasi silikon lebih tinggi dari 15%, maka tingkat kerapuhan logam akan meningkat secara drastis akibat terbentuknya kristal granula silika (El-Mahallawi et al., 2015) (Sijo & Jayadevan, 2016). Al-Si merupakan paduan yang paling unggul dibandingkan aluminium paduan yang lainnya, salah satu hasil dari paduan ini adalah piston yang ada pada mesin kendaraan bermotor. Penelitian ini akan menggunakan metode *stir casting*, dimana metode ini merupakan metode yang ekonomis untuk pembuatan komposit aluminium matrik menggunakan teknik *vortex* atau aduk cepat (Pradhan et al., 2016) (Naher et al., 2003) (Thandalam et al., 2015)

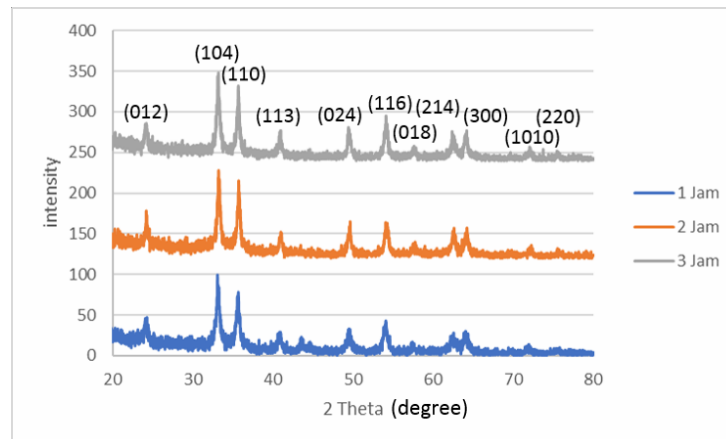
METODE PENELITIAN

Metode penguatan pada paduan Al-Si menggunakan metode *stir casting*. Proses penguatan pada paduan Al-Si menggunakan metode *stir casting* dengan variasi material penguat yaitu, 0,05% *raw material* Fe_2O_3 , 0,05% Fe_2O_3 *sintering* 600°C 2 jam, dan 0,05% Fe_2O_3 *doping graphene sintering* 600°C 1 jam. Proses awal yang dilakukan ialah peleburan paduan Al-Si di dalam tungku pada suhu 950°C menggunakan tungku tipe T 150/120 – 90 *Melting and Holding* yang memiliki suhu maksimum 1200°C hingga paduan Al-Si tampak cair. Setelah itu material penguat dicampur dengan hasil peleburan Al-Si yang sudah mencair sesuai presentase yang sudah ditentukan. Kemudian proses aduk cepat menggunakan alat bor tangan tipe GBM 350 yang memiliki kecepatan maksimal 2500 rpm yang diberi alat pengaduk dimulai dengan proses pengadukan selama 30 detik. Jika proses pengadukan sudah 30 detik, maka material paduan Al-Si dituang dalam cetakan permanen yang terbuat dari bahan besi baja dan didiamkan beberapa saat. Proses penuangan paduan Al-Si pada cetakan permanen harus dilakukan secara cepat, hal ini dikarenakan paduan cor Al-Si mudah mengeras dan meminimalisir terjadinya porositas. Setelah semua proses *stir casting* selesai, paduan Al-Si siap untuk di uji kekuatan tarik menggunakan alat

uji tarik merk *Tokyo Testing Machine* yang memiliki pembebanan maksimal 50 kN dan uji kekerasan menggunakan alat *Micro Hardness* tipe MM 0054.

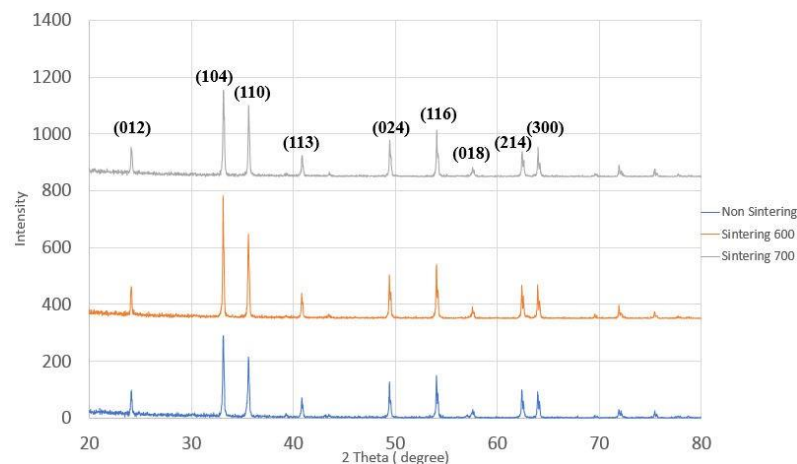
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini merupakan grafik hasil uji XRD dari nanomaterial Fe_2O_3 *undoping* dan *doping graphene*:



Gambar 1. Grafik Identifikasi Fasa Fe_2O_3 Undoping Graphene Proses Sintering 1 jam, 2 jam, dan 3 Jam

(Sumber: Yazirin, 2017)



Gambar 2. Grafik Identifikasi Fasa Fe_2O_3 Doping Graphene

(Sumber: Yazirin, 2019)

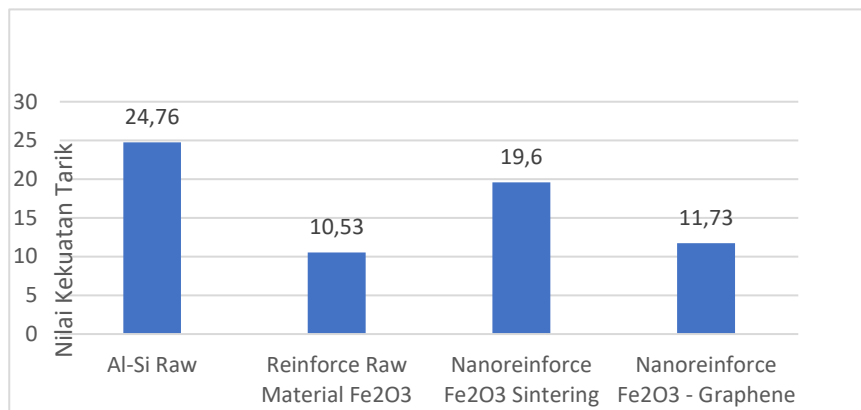
Gambar 1 menunjukkan hasil uji XRD nanomaterial Fe_2O_3 *undoping graphene* dengan variasi waktu *sintering* 1 jam, 2 jam, dan 3 jam pada suhu 600°C . Gambar 2 menunjukkan hasil uji XRD nanomaterial Fe_2O_3 *doping graphene* dengan variasi suhu *sintering* yaitu *non sintering*, *sintering* suhu 600°C 1 Jam, dan *sintering* suhu 700°C 1 jam. Gambar 1 dan 2 menunjukkan puncak difraksi yang kuat dan tajam pada titik (104) yang menandakan tingginya kristalinitas produk, sehingga pelebaran titik puncak yang terjadi bukan disebabkan ukuran kristal yang sangat kecil, melainkan adanya kontribusi dari regangan yang tidak sama dalam material dan menyebabkan sinar-x yang ditembakkan menjadi tidak sempurna. Puncak difraksi yang kuat dan tajam juga dapat dipengaruhi oleh suhu reaksi yang memiliki peranan penting dalam proses pembentukan fasa Fe_2O_3 (Yazirin, Puspitasari, Iman, et al., 2017) (Puspitasari et al., 2018) (Wang et al., 2013), (Mohammadikish, 2014) (Abdelhakim et al., 2015).

Analisis Hasil Uji Tarik

Data hasil uji tarik merupakan hasil material terbaik yang diperoleh dari penelitian sebelumnya. Berikut ini merupakan hasil uji tarik dari paduan Al-Si setelah dicampur dengan nanomaterial Fe_2O_3 *undoping* dan *doping graphene*. Perubahan pada kekuatan tarik dari paduan Al-Si dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 3 berikut.

Tabel 1. Data Hasil Uji Tarik

No.	Spesimen	Data Uji	
		Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Tegangan (kg/mm ²)
1	Al-Si Raw	24,76	24,73
2	Reinforce Raw Material Fe_2O_3	10,53	10,50
3	Nanoreinforce Fe_2O_3 Sintering 600°C 2 jam	19,60	19,63
4	Nanoreinforce Fe_2O_3 Doping Graphene Sintering 600°C 1 jam	11,73	10,96



Gambar 3. Diagram Rata-rata Nilai Kekuatan Tarik Al-Si dengan Nanoreinforce

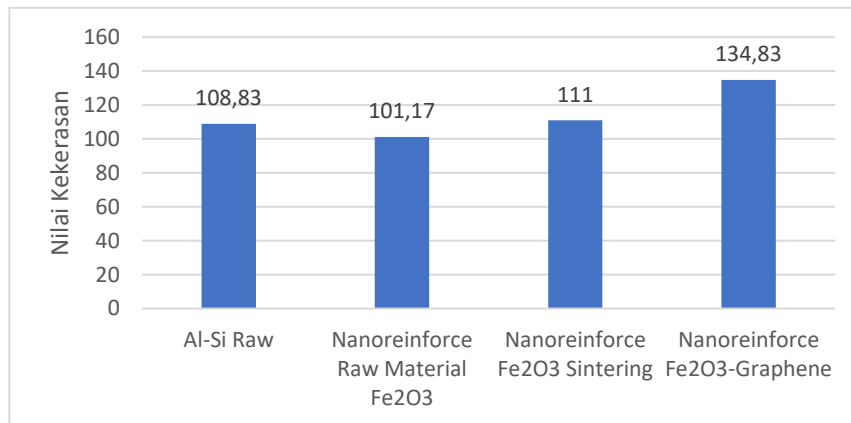
Hasil dari uji tarik menunjukkan Al-Si *raw* material memiliki kekuatan tarik sebesar 24,76 kg/mm², paduan Al-Si *nanoreinforce* Fe_2O_3 *raw* material memiliki kekuatan tarik sebesar 10,53 kg/mm², paduan Al-Si *nanoreinforce* Fe_2O_3 *sintering* 600°C 2 jam memiliki kekuatan tarik sebesar 19,60 kg/mm², dan paduan Al-Si *nanoreinforce* Fe_2O_3 *doping graphene sintering* 600°C 1 jam memiliki kekuatan tarik sebesar 11,73 kg/mm². Penambahan Fe_2O_3 *undoping* dan *doping graphene* tidak dapat meningkatkan kekuatan tarik dari paduan Al-Si dan sebaliknya penambahan Fe_2O_3 *undoping* dan *doping graphene* menurunkan kekuatan tarik dari paduan Al-Si. Hal ini dikarenakan Fe_2O_3 cenderung bergabung dengan unsur-unsur lain untuk membentuk partikel fasa intermetalik (Taylor, 2016) (Taylor, 2012) (Shabestari, 2004) (Puspitasari & Khafiddin, 2014) (Yazirin et al., 2019). *Graphene* pada paduan Al-Si tidak dapat meningkatkan kekuatan tarik dari paduan Al-Si dikarenakan celah pita pada *graphene* tidak dapat terbuka sehingga proses penguatan menjadi tidak efektif. Walaupun tidak stabil, aluminium memiliki energi pembentukan yang besar jika di *doping graphene*. Sedangkan silikon memiliki energi pembentukan yang kecil jika di *doping* dengan *graphene* (Denis, 2010) (Huang et al., 2011) (Singh et al., 2009) (Guo et al., 2011).

Analisis Hasil Uji Kekerasan

Pengaruh penambahan nanomaterial Fe_2O_3 *undoping* dan *doping graphene* pada kekerasan paduan Al-Si dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 4 berikut.

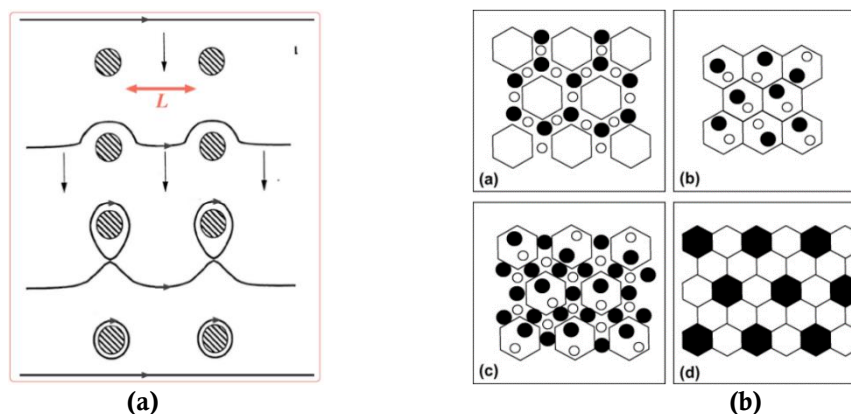
Tabel 2. Data Hasil Uji Kekerasan

No.	Spesimen	Data Uji Kekerasan (HV)
1	Al-Si Raw	108,83
2	Nanoreinforce Raw Material Fe ₂ O ₃	101,17
3	Nanoreinforce Fe ₂ O ₃ Sintering 600°C 2 jam	111
4	Nanoreinforce Fe ₂ O ₃ Doping Graphene Sintering 600°C 1 jam	134,83



Gambar 4. Diagram Rata-rata Nilai Kekerasan Al-Si dengan Nanoreinforce

Penambahan nanomaterial Fe₂O₃ sintering 600°C 2 jam dan nanomaterial Fe₂O₃ doping graphene sintering 600°C 1 jam pada paduan Al-Si memiliki pengaruh terhadap kekerasan paduan Al-Si. Terlihat pada Gambar 3 terjadi peningkatan nilai kekerasan dari Al-Si raw 108,83 HV setelah ditambah nanomaterial Fe₂O₃ sintering 600°C 2 jam menjadi 111 HV, dan menjadi 134,83 HV setelah ditambah nanomaterial Fe₂O₃ doping graphene sintering 600°C 1 jam. Penambahan Fe₂O₃ raw material tidak dapat meningkatkan kekerasan dari paduan Al-Si. Secara konsisten ketika kadar Fe₂O₃ meningkat, keuletan paduan Al-Si akan menurun dan kekerasan akan meningkat. Ini biasanya disertai dengan penurunan kekuatan tarik, namun secara umum kekuatan luluh tetap tidak terpengaruh oleh nanomaterial Fe₂O₃ (Taylor, 2016) (Ma et al., 2008) (Moustafa, 2008) (Yazirin, Puspitasari, Sasongko, et al., 2017). Penguatan pada paduan Al-Si tidak terlepas dari proses penguatan dispersi nano (*nanodispersion strengthening*), dimana proses ini sangat menguntungkan untuk penguatan pada suhu tinggi karena proses dispersi nanomaterial akan tetap stabil. Mekanisme penguatan dispersi nano dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. (a) Mekanisme Penguatan Orowan (Sumber: Fischer, 2004), (b) Distribusi Matriks dan Fasa Penguatan dalam Nanokomposit (sumber: sahib, et al, 2014)

Gambar 5a merupakan mekanisme penguatan *orowan* dimana tegangan luluh ditentukan oleh tegangan yang diperlukan dari garis dislokasi untuk melewati dua partikel yang ditunjukkan. Garis dislokasi melengkung di sekitar dua partikel sebagai tegangan yang diterapkan agar meningkat sampai garis dislokasi mencapai kelengkungan kritis. Ketika lengkungan kritis ini mencapai garis dislokasi, maka lengkungan dapat bergerak maju tanpa meningkatkan kelengkungannya. Bagian garis dislokasi di kedua sisi masing-masing partikel kemudian bergabung, dan *loop* dislokasi tertinggal di sekitar setiap partikel. Setiap garis dislokasi bergerak melewati partikel struktur sel dislokasi di sekitar partikel yang terbentuk. Fenomena inilah yang menghasilkan dispersi logam yang mengeras yang memiliki tingkat pengerasan regangan yang tinggi (Fischer, 2004) (Capdevila et al., 2003).

Gambar 5b merupakan merupakan fasa penguatan yang didistribusikan dalam *nanokomposit* (a) sepanjang batas butir dari matriks, (b) di dalam butir-butir matriks, (c) di dalam biji-bijian sepanjang batas butir, dan (d) matriks butir-butir penguat didistribusikan secara merata. Pada proses ini nanokomposit tidak hanya bergantung pada sifat-sifat konstituen individu, tetapi juga dipengaruhi oleh proses *nanodispersion* karena sifat mekanik suatu material komposit tergantung pada sejauh mana *nanodispersion* tertanam pada material paduan. Proses penguatan pada Al-Si termasuk pada fasa penguatan yang didistribusikan dalam *nanokomposit* (a) yaitu sepanjang batas butir dari matriks. Hal ini terbukti dari hasil foto mikro yang telah dilakukan pada paduan Al-Si dengan penguat Fe_2O_3 *undoping* dan *doping graphene* pada gambar 4, gambar 5, gambar 6, dan gambar 7. Pada hasil tersebut jaringan dendrit tampak berada pada sepanjang batas butir dari matriks (Saheb et al., 2014).

Hal lain yang dapat mempengaruhi sifat mekanik dari paduan Al-Si salah satunya adalah tingkat porositas. Porositas merupakan daerah kosong pada paduan coran yang terbentuk karena adanya zat yang terjebak di dalam daerah tertentu yang membentuk pori-pori. Kadar Fe_2O_3 yang tinggi akan menghasilkan lebih banyak partikel β yang kemudian bertindak sebagai situs nukleasi untuk porositas dan trombosit β yang besar akan menghambat aliran cairan *interdendritic* selama proses. Dengan demikian susut porositas lebih mudah terbentuk dan dengan adanya cacat porositas ini akan memberikan pengaruh terhadap kualitas produk hasil pengecoran yang salah satunya adalah kekuatan tarik pada Al-Si. Dengan adanya porositas bila material di uji dan mendapatkan beban, maka porositas tersebut akan menjadi pusat tegangan sehingga retak akan lebih mudah muncul pada pori-pori tersebut. Oleh sebab itu, perlu dilakukan suatu kontrol terhadap absorpsi gas selama proses pengecoran berlangsung (Taylor, 2016) (Moustafa, 2008) (El-Mahallawi et al., 2015).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penambahan Fe_2O_3 *undoping* dan *doping graphene* tidak dapat meningkatkan kekuatan tarik dari paduan Al-Si dan sebaliknya penambahan Fe_2O_3 *undoping* dan *doping graphene* menurunkan kekuatan tarik dari paduan Al-Si. Hal ini dikarenakan Fe_2O_3 cenderung bergabung dengan unsur-unsur lain untuk membentuk partikel fasa intermetalik. Penambahan nanomaterial Fe_2O_3 *sintering* 600°C 2 jam dan Fe_2O_3 *doping graphene sintering* 600°C 1 jam pada paduan Al-Si memiliki pengaruh terhadap kekerasan paduan Al-Si yaitu terjadi peningkatan nilai kekerasan dari Al-Si *raw* 108,83 HV setelah ditambah nanomaterial Fe_2O_3 *sintering* 600°C 2 jam menjadi 111 HV dan menjadi 134,83 HV setelah ditambah nanomaterial Fe_2O_3 *doping graphene sintering* 600°C 1 jam. Secara konsisten ketika kadar Fe_2O_3 meningkat, keuletan paduan Al-Si akan menurun dan kekerasan akan meningkat. Ini biasanya disertai dengan penurunan kekuatan tarik, namun secara umum kekuatan luluh tetap tidak terpengaruh oleh nanomaterial Fe_2O_3 *Graphene* pada paduan Al-Si tidak dapat meningkatkan kekuatan tarik dari paduan Al-Si dikarenakan celah pita pada *graphene* tidak dapat terbuka sehingga proses penguatan menjadi tidak efektif.

Saran

Berdasarkan kesimpulan di atas proses penguatan pada paduan Al-Si dapat dikembangkan menggunakan material yang lainnya. Karena paduan Al-Si adalah yang paling berguna dari semua pengecoran logam campuran umum dalam dunia industri saat ini yang dituntut untuk terus berinovasi dan meningkatkan kualitas produk.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Universitas Islam Malang selaku tempat penulis mengabdikan dan penulis mendapat dana Hibah melalui program Hi-ma (Hibah Unisma) tahun anggaran 2022/2023.

REFERENSI

- Abdelhakim, A., Mechakra, H., & Manso, M. (2015). *Monodisperse α -Fe₂O₃ nanoplatelets: Synthesis and characterization*. 41, 2228–2233. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2014.10.024>
- Baruah, S., & Dutta, J. (2009). *Preparation of α -Fe₂O₃ particles with controlled shape and size via a facile hydrothermal route*. 10. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/339/1/012004>
- Capdevila, C., Chen, Y. L., Jones, A. R., & Bhadeshia, H. K. D. H. (2003). *Grain Boundary Mobility in Fe-Base Oxide Dispersion Strengthened PM2000 Alloy*. 43(5), 777–783.
- Dang, F., Enomoto, N., Hojo, J., & Enpuku, K. (2010). Sonochemical coating of magnetite nanoparticles with silica. *Ultrasonics Sonochemistry*, 17(1), 193–199. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2009.05.013>
- Darezereshki, E., Bakhtiari, F., Alizadeh, M., Behrad vakylabad, A., & Ranjbar, M. (2012). Direct thermal decomposition synthesis and characterization of hematite (α -Fe₂O₃) nanoparticles. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 15(1), 91–97. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2011.09.009>
- Denis, P. A. (2010). Band gap opening of monolayer and bilayer graphene doped with aluminium, silicon, phosphorus, and sulfur. *Chemical Physics Letters*, 492(4–6), 251–257. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2010.04.038>
- El-Mahallawi, I. S., Shash, A. Y., & Amer, A. E. (2015). *Nanoreinforced Cast Al-Si Alloys with Al₂O₃, TiO₂ and ZrO₂ Nanoparticles*. 802–821. <https://doi.org/10.3390/met5020802>
- Fischer, L. (2004). *Nano-Dispersion Strengthening of Aluminum*. 1–10.
- Geim, A., Fert, A., Heer, W. De, & Ruoff, R. (2011). *editorial It 's still all about graphene*. 10(December 2010), 2010–2011. <https://doi.org/10.1002/sml.201001555>
- Guo, B., Fang, L., Zhang, B., & Gong, J. R. (2011). *Graphene Doping: A Review*. 1(2), 80–89. <https://doi.org/10.5640/insc.010280>
- Huang, X., Yin, Z., Wu, S., Qi, X., He, Q., & Zhang, Q. (2011). *Graphene-Based Materials: Synthesis, Characterization, Properties, and Applications*. 14, 1876–1902. <https://doi.org/10.1002/sml.201002009>
- Ma, Z., Samuel, A. M., Samuel, F. H., Doty, H. W., & Valtierra, S. (2008). *A study of tensile properties in Al–Si–Cu and Al–Si–Mg alloys: Effect of γ -iron intermetallics and porosity*. 490, 36–51. <https://doi.org/10.1016/j.jmse.2008.01.028>
- Mayorov, A. S., Elias, D. C., Mukhin, I. S., Morozov, S. V, Ponomarenko, L. A., Novoselov, K. S., Geim, A. K., & Gorbachev, R. V. (2012). *How Close Can One Approach the Dirac Point in Graphene*.
- Mohammadikish, M. (2014). Hydrothermal synthesis, characterization and optical properties of

- ellipsoid shape α -Fe₂O₃ nanocrystals. *Ceramics International*, 40(1), 1351–1358. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2013.07.016>
- Moustafa, M. A. (2008). *Effect of iron content on the formation of α -Al₅FeSi and porosity in Al – Si eutectic alloys*. 9(1995), 605–610. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.02.073>
- Naher, S., Brabazon, D., & Looney, L. (2003). *Simulation of the stir casting process*. 144, 567–571. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(03\)00368-6](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(03)00368-6)
- Pradhan, S. K., Chatterjee, S., Mallick, A. B., & Das, D. (2016). A simple stir casting technique for the preparation of in situ Fe-aluminides reinforced Al-matrix composites &. *Perspectives in Science*, 8, 529–532. <https://doi.org/10.1016/j.pisc.2016.06.011>
- Puspitasari, P., & Khafiddin, A. (2014). *Analisis Hasil Pengecoran Logam Al-Si Menggunakan Lumpur Lapindo Sebagai Pengikat Pasir Cetak*. 2, 1–11.
- Puspitasari, P., Yazirin, C., Bachtiar, A. L., Dika, W. J., & Zaharis, S. M. S. N. S. (2018). Application of nanocatalyst iron oxide (Fe₂O₃) to reduce exhaust emissions (CO and HC) Application of nanocatalyst iron oxide (Fe₂O₃) to reduce exhaust emissions (CO and HC). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 9. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/432/1/012004>
- Re, S., Ma, S., Yang, Y., Mao, Q., & Hao, C. (2015). Hydrothermal synthesis of Fe₂O₃/polypyrrole/graphene oxide composites as highly efficient electrocatalysts for oxygen reduction reaction in alkaline electrolyte. *Elsevier Ltd*. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2015.07.181>
- Saheb, N., Qadir, N. U., Siddiqui, M. U., Fazl, A., Arif, M., Akhtar, S. S., & Al-aqeeli, N. (2014). *Characterization of Nanoreinforcement Dispersion in Inorganic Nanocomposites: A Review*. 4148–4181. <https://doi.org/10.3390/ma7064148>
- Shabestari, S. G. (2004). *The effect of iron and manganese on the formation of intermetallic compounds in aluminum – silicon alloys*. 383, 289–298. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2004.06.022>
- Sijo, M. T., & Jayadevan, K. R. (2016). Analysis of stir cast aluminium silicon carbide metal matrix composite: A comprehensive review. *Procedia Technology*, 24, 379–385. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.05.052>
- Singh, V. K., Patra, M. K., Manoth, M., Gowd, G. S., Vadera, S. R., & Kumar, N. (2009). In situ synthesis of graphene oxide and its composites with iron oxide. *New Carbon Materials*, 24(2), 147–152. [https://doi.org/10.1016/S1872-5805\(08\)60044-X](https://doi.org/10.1016/S1872-5805(08)60044-X)
- Taylor, J. A. (2012). *Iron-containing intermetallic phases in Al-Si based casting alloys*. 1, 19–33. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2012.06.004>
- Taylor, J. A. (2016). *The Effect of Iron in Al-Si Casting Alloys*. October 2004.
- Thandalam, S. K., Ramanathan, S., & Sundarajan, S. (2015). Synthesis , microstructural and mechanical properties of ex situ zircon particles (ZrSiO₄) reinforced Metal Matrix Composites (MM *Integrative Medicine Research*, 4(3), 333–347. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2015.03.003>
- Wang, F., Qin, X. F., Meng, Y. F., Guo, Z. L., Yang, L. X., & Ming, Y. F. (2013). Hydrothermal synthesis and characterization of α -Fe₂O₃ nanoparticles. *Mater. Sci. Semicond. Processing*, 16(3), 802–806. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.mssp.2012.12.029>
- Yahya, N. B., Puspitasari, P., Koziol, K. K. K., & Pavia, G. (2012). New Approach to Ammonia Synthesis by Catalysis in Magnetic Field. *Journal of Nano Research*, 16(2011), 119–130. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JNanoR.16.119>
- Yazirin, C., Puspitasari, P., & Arif, M. F. (2019). Comparison Study of Mechanical Properties of Al-Si Alloy with and without Nanoreinforce Iron Oxide (Fe₂O₃). *Journal of Mechanical*

Engineering Science and Technology, 3(1), 29–34.
<https://doi.org/10.17977/um016v3i12019p029>

Yazirin, C., Puspitasari, P., Ilman, M. N. S., Izzatus Tsamroh, D., & Risdanareni, P. (2017). *Phase Identification and Morphology Study of Hematite (Fe₂O₃) With Sintering Time Varitions*. 020038. <https://doi.org/10.1063/1.5003521>

Yazirin, C., Puspitasari, P., Sasongko, M., Tsamroh, D., & Risdanareni, P. (2017). Phase identification and morphology study of hematite (Fe₂O₃) with sintering time varitions. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1887). <https://doi.org/10.1063/1.5003521>