

PENGARUH PENAMBAHAN PARTIKEL *PALM OIL FLY ASH* TERHADAP LAJU KEAUSAN KOMPOSIT Matrik ALUMINIUM

Tugiman, Suprianto*, Farida Ariani dan Fahmi Bakrie Ananda Saragih

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
Jl. Almamater Kampus USU, Padang Bulan, Medan 20155, Indonesia.

*Email: suprianto@usu.ac.id

Abstrak

Komposit matrik aluminium memiliki sifat mekanis yang baik dan densitas rendah sehingga sangat potensial untuk penggunaan di bidang teknik. Pemilihan partikel pemerkuat serta metode pembuatan yang tepat merupakan faktor sangat menentukan untuk memperoleh bahan komposit yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan *palm oil fly ash* (pofa) dari sisa pembakaran di industri kelapa sawit sebagai bahan pemerkuat komposit. Pengaruhnya terhadap mikrostruktur, kekerasan dan laju keausan menjadi bahan kajian pada penelitian ini. Pembuatan komposit dilakukan menggunakan teknik pengecoran tekan ($P=25$ MPa) dengan suhu penuangan 700°C dan suhu cetakan 300°C . Pengujian mikrostruktur menggunakan optical microscope, kekerasan Brinell dan pengujian aus metode pin on disk. Hasil pengujian memperlihatkan mikrostruktur terdiri dari α -aluminium dan partikel-partikel silikon yang terdispersi diantara aluminium, penambahan lebih banyak pofa menghasilkan struktur lebih halus dan lebih banyak daerah berwarna gelap (Si/SiO₂-rich). Hasil pengujian mekanis diperoleh penambahan pofa menghasilkan kenaikan kekerasan dan penurunan laju keausan bahan komposit untuk semua variasi komposisi.

Kata kunci : komposit, kekerasan, mikrostruktur, pin on disk, Si/SiO₂

1. PENDAHULUAN

Metal matrix composites (MMCs) merupakan bahan yang sangat potensial untuk diaplikasikan pada berbagai bidang teknik dikarenakan sifat mekanis yang baik serta densitas yang ringan dibanding paduan baja pada umumnya. Aluminium memiliki ketahanan korosi yang baik dan densitas yang relatif rendah, bahan ini banyak dipergunakan sebagai matrik pada pembuatan bahan komposit yang diperkuat berbagai jenis partikel seperti SiC (Ramachandra dan Radhakrishna, 2006), *fly ash* (Subarmono dkk., 2008) dan *palm oil fly ash* (pofa) (Tugiman dkk., 2017). Penambahan partikel *fly ash* telah mampu meningkatkan kekerasan, *tensile* dan *compression strength* (Muruganandhan dan Eswaramoorthi, 2014). Pembuatan komposit diperkuat partikel *fly ash* dilaporkan peneliti sebelumnya dapat meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus (Subarmono dkk., 2008). Kombinasi partikel *fly ash* dengan SiC pada pembuatan komposit menggunakan matrik Al-4.5%Cu alloy berhasil meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan (Lokesh dkk., 2013). Hasil penelitian-penelitian sebelumnya terlihat adanya keterkaitan antara kekerasan dengan ketahanan aus bahan komposit.

Keausan merupakan suatu gejala terlepasnya permukaan material akibat adanya interaksi dengan lingkungan sekitar, seperti gesekan (*friction*) diantara dua benda. Ketahanan aus material komposit biasanya dipengaruhi oleh banyak parameter diantaranya beban yang diberikan (Isranuri dkk., 2012) dan kondisi operasi (*dry/lubricated*). Xavier dan Suresh (2016) juga telah melaporkan hasil penelitiannya bahwa keausan bahan komposit matrik aluminium dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti kecepatan pengaus, beban, jarak lintasan dan jenis bahan yang digunakan. Pada bahan komposit diketahui bahwa perpaduan antara matrik dan jenis partikel pemerkuat telah berhasil meningkatkan *wear resistance*. Pembuatan komposit matrik aluminium dapat dilakukan dengan berbagai metode diantaranya metalurgi serbuk (Akrom dan Marwoto, 2010) dan *casting*. Metode *casting* telah banyak diaplikasikan peneliti-peneliti terdahulu, pembuatan komposit matrik aluminium menggunakan *direct squeeze casting* (Lokesh dkk., 2014), *stir casting* (Sulardjaka dkk., 2011), *vortex casting technique* (Ramachandra dan Radhakrishna, 2006) telah berhasil membuat berbagai jenis komposit yang diperkuat *fly ash*.

Penelitian mengenai komposit matrik aluminium diperkuat *fly ash* telah banyak dilakukan, namun penggunaan partikel *pofa* sebagai bahan alternatif pemerkuat komposit masih belum banyak

diteliti. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh penambahan partikel *pofa* (SiO_2 -rich) terhadap mikrostruktur, kekerasan dan laju keausan bahan komposit matrik aluminium.

2. METODOLOGI

Penelitian telah dilakukan menggunakan aluminium *type* A356 dengan komposisi $\pm 7,44\%$ Si sebagai matrik. *Pofa* yang digunakan berasal dari sisa pembakaran bahan bakar di pabrik kelapa sawit yang berlokasi di Sumatera Utara dengan komposisi utama terdiri dari SiO_2 (36,73%), Al_2O_3 (6,83%) dan Fe_2O_3 (0,69%), partikel ini sebelum digunakan terlebih dahulu dipanaskan pada suhu $800^\circ C$ untuk menghilangkan bagian-bagian yang masih bisa terbakar. *Wettability* antara partikel dan aluminium diperbaiki dengan menambahkan sekitar 5wt.% Mg saat temperatur cairan $660^\circ C$. Komposit yang menjadi objek penelitian dibagi kedalam tiga jenis (tabel 1) dengan komposisi *pofa* yang berbeda.

Tabel 1. Komposisi model komposit

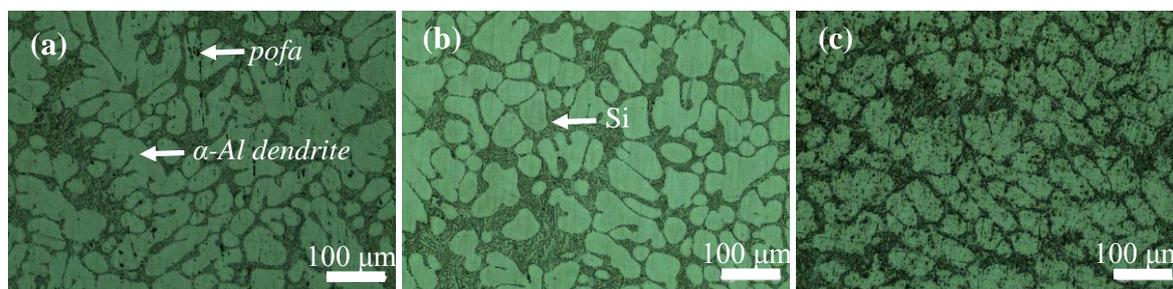
No.	Matrik	Reinforcement	Magnesium	abbreviation
1	Aluminium A356	1wt.% <i>pofa</i>	5 wt.%	1- <i>pofa</i>
2	Aluminium A356	1.5wt.% <i>pofa</i>	5 wt.%	1.5- <i>pofa</i>
3	Aluminium A356	5wt.% <i>pofa</i>	5 wt.%	5- <i>pofa</i>

Proses pencairan dilakukan menggunakan bahan bakar arang kayu dan tempat pencairan menggunakan *crucible* grafit. Penuangan cairan dilakukan pada suhu $700^\circ C$ dilanjutkan proses pembuatan komposit menggunakan pengecoran tekan (25 MPa) selama ± 30 detik, penekanan dilakukan saat fasa semi *solid* dengan temperatur cetakan $300^\circ C$. Mikrostruktur komposit diperoleh menggunakan *mikroskop* optik, kekerasan standar Brinnell dan pengujian *pin on disk test* untuk mengetahui laju keausan komposit. Pengujian keausan mengacu standar ASTM G99-04, komposit berbentuk disk dengan ukuran ketebalan 2-10 mm dan diameter 30-100 mm, sedangkan media pengaus berbentuk pin dengan ujung berbentuk bola. Kecepatan disk berturut-turut 90, 120, 150, 180 dan 210 rpm dengan kondisi operasi *dry sliding* tanpa pelumas selama 30 detik pada pembebanan 5 N.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

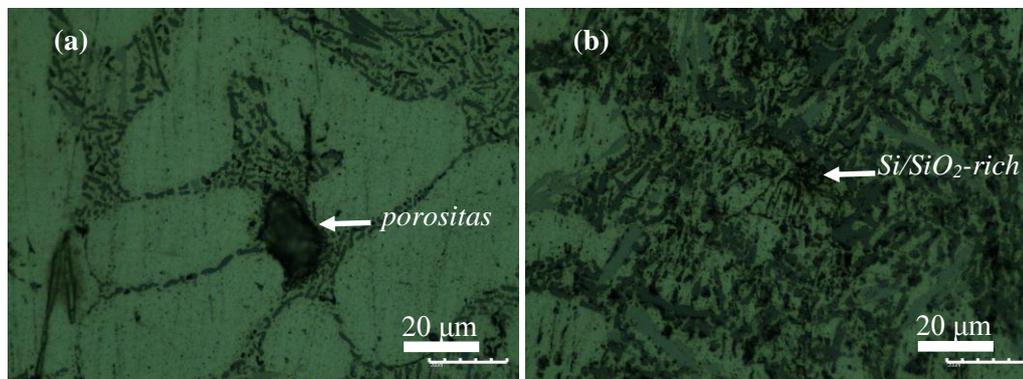
3.1. Hasil Pengujian Mikrostruktur

Pengujian mikrostruktur dilakukan menggunakan *optical microscope* terhadap tiga jenis material 1-*pofa*, 1.5-*pofa* dan 5-*pofa*. Hasil pengujian diperoleh struktur utama yang terdiri dari α -Al *dendrite* yang berwarna cerah dan silikon yang terdispersi diantara aluminium berwarna *gray* serta *pofa* berwarna gelap (gambar 1a). Penambahan 1.5wt.% *pofa* tidak merubah struktur secara signifikan, namun lebih banyak diperoleh aluminium mendekati bentuk *spherical* (gambar 1b) dan mikrostruktur terdiri α -aluminium serta partikel *silicon* (*gray area*) yang tersebar merata diantara aluminium. Gambar 1c merupakan bahan yang memiliki komposisi *pofa* tertinggi (5%), mikrostruktur memperlihatkan partikel *pofa* menyebar diantara silikon dan α -aluminium dalam jumlah yang besar dibanding komposit 1-*pofa*.



Gambar 1. Mikrostruktur komposit (a) 1-*pofa*, (b) 1.5-*pofa* dan (c) 5-*pofa*

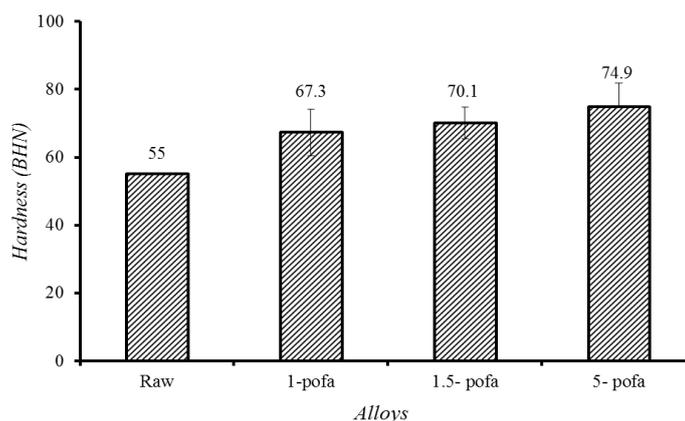
Penambahan partikel *pofa* menggunakan teknik pengecoran tekan ini tidak sepenuhnya menghasilkan distribusi merata diantara matrik, hasil pengujian diperoleh partikel yang menumpuk dibatas butir alumunium (gambar 2a) dan diantara partikel Si (gambar 2b). Akumulasi partikel *pofa* di satu are tertentu menyebabkan terbentuknya porositas sehingga dapat menurunkan kekuatan material. Proses pengadukan yang lebih baik saat percampuran alumunium cair + partikel *pofa* kemungkinan akan dapat mengurangi hal tersebut.



Gambar 2. Mikrostruktur model komposit (a) 1-pofa dan (b) 5-pofa

3.2. Hasil Pengujian Kekerasan

Kekerasan komposit diperoleh menggunakan metode Brinell terhadap empat jenis bahan dengan komposisi partikel *pofa* berbeda, hasil pengujian seperti diperlihatkan pada gambar 3. Penambahan *pofa* 1wt.% ke dalam *raw* material (A356) meningkatkan kekerasan $\pm 22\%$ dan penambahan komposisi *pofa* hingga 5wt.% berhasil meningkatkan kekerasan hingga $\pm 36.2\%$ dibanding *raw* material. Kekerasan maksimum sebesar 74.9 BHN ini bersesuaian dengan hasil photo mikro gambar 2b yang memiliki butiran lebih halus (*fine*) / rapat dengan distribusi partikel Si/SiO₂ lebih merata dibanding komposit lain pada penelitian ini (gambar 2a). Terjadinya penghalusan butiran ini bisa diakibatkan oleh laju pendinginan yang cepat, dimana pemberian tekanan terhadap cairan komposit alumunium mengakibatkan transfer panas lebih cepat terjadi ke dinding cetakan, dan kemungkinan juga keberadaan partikel oxide (*pofa*) bisa bertindak sebagai *grain refiner*. Beberapa jenis *oxide* yang terdapat di dalam partikel *pofa* terdiri dari senyawa utama SiO₂, Al₂O₃ dan FeO (Tugiman dkk., 2017).



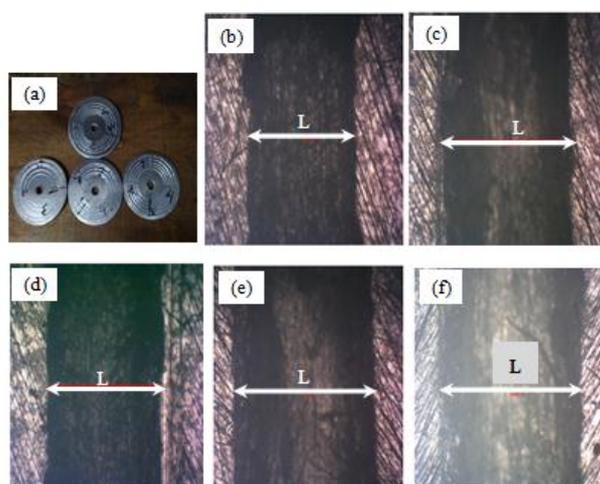
Gambar 3. Hardness berbagai jenis model komposit

Kekerasan suatu bahan tidak hanya ditentukan oleh komposisi penyusun, mikrostruktur tetapi juga dipengaruhi oleh cacat yang terbentuk. Ketidakhomogenan distribusi *pofa*, pelepasan udara/*oxygen* yang tidak sempurna selama proses dan adanya *impurities* pada matrik alumunium kemungkinan menyebabkan terbentuk cacat seperti porositas, dan hal ini berpengaruh terhadap

sifat mekanis material. Model komposit *1-pofa* dan *5-pofa* (gambar 2) memperlihatkan terbentuknya porositas pada mikrostruktur.

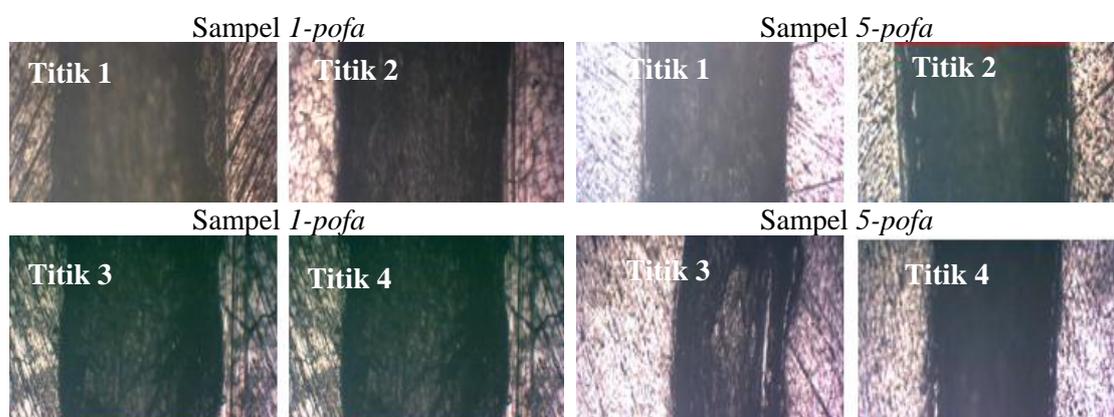
3.3. Pengujian Keausan

Gambar 3 memperlihatkan model komposit *1-pofa* yang telah dilakukan pengujian aus menggunakan metode *pin on disk test* untuk berbagai kecepatan. Jejak pin terlihat membentuk lintasan melingkar pada permukaan disk, lintasan ini memiliki lebar yang berbeda di tiap sisinya sehingga untuk mendapatkan hasil yang mendekati nilai sesungguhnya dilakukan pengukuran pada empat titik yang berbeda (gambar 4a). Kecepatan *disk* ini akan mempengaruhi lebar lintasan (*L*), gambar 4b-f memperlihatkan kecepatan paling rendah menghasilkan lebar lintasan paling kecil dan sebaliknya peningkatan kecepatan menghasilkan lebar lintasan lebih besar. Peningkatan kecepatan akan meningkatkan temperatur kontak permukaan, pada akhirnya material uji akan lebih mudah aus/kehilangan lapisan permukaan. Pengaruh peningkatan temperatur terhadap ketahanan aus bahan komposit telah dilaporkan pada penelitian sebelumnya (Shanmughasundaram, 2017).



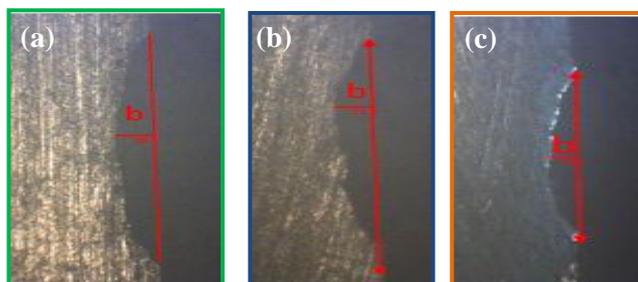
Gambar 4. Sampel hasil uji aus bahan *1-pofa* (a) 4 titik pengukuran pada sampel dan lebar lintasan pada putaran (b) 90, (c) 120, (d) 150, (e) 180 dan (f) 210 rpm (Perbesaran 50x)

Selain parameter kecepatan *disk*, keausan bahan juga dipengaruhi oleh komposisi komposit serta kondisi pengujian (kondisi kering/lubrikasi). Gambar 5 memperlihatkan lintasan pin pada dua jenis komposit. Gambar sampel *5-pofa* memperlihatkan lintasan yang lebih kecil dibandingkan sampel *1-pofa*.



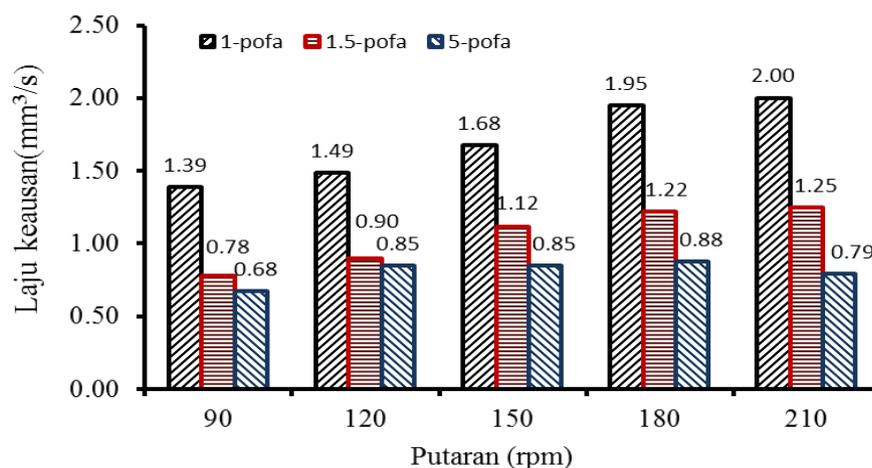
Gambar 5. Lebar lintasan pengujian aus bahan aluminium diperkuat partikel *pofa* (a) *1-pofa* dan (b) *5-pofa* pada berbagai titik pengukuran dengan kecepatan 120 rpm.

Penentuan laju keausan suatu bahan menggunakan metode *pin on disk* tidak hanya dipengaruhi oleh lebar lintasan, tetapi juga mempertimbangkan kedalaman bekas lintasan yang diperoleh melalui pemotongan sampel secara melintang. Gambar 6 memperlihatkan profil kedalaman lintasan hasil pengujian aus untuk tiga jenis komposit.



Gambar 6. Profil kedalaman bekas lintasan pengujian aus bahan (a) 1-pofa, (b) 1.5-pofa dan (c) 5-pofa pada putaran 120 rpm

Profil kedalaman paling besar diperoleh pada bahan *1-pofa* sebesar $185\ \mu\text{m}$ dan paling rendah $104\ \mu\text{m}$ pada komposit *5-pofa*, bahan yang memiliki profil kedalaman yang besar akan diperoleh laju keausan lebih besar. Gambar 6 di atas juga memperlihatkan beberapa lintasan tidak berbentuk setengah bola, hal ini kemungkinan disebabkan pada saat pengujian terjadi vibrasi sehingga mengganggu pergerakan pin dan proses penekanan pada permukaan sampel uji. Gambar 6c terlihat bentuk bekas lintasan yang lebih baik bila dibanding dua material lainnya, dimana lebar dan kedalaman lebih proporsional untuk menggambarkan bentuk setengah bola dari pin penekan.



Gambar 7. Laju keausan model komposit pada berbagai putaran

Hasil pengujian aus menggunakan metode *pin on disk* untuk berbagai jenis komposit diperlihatkan pada gambar 7. Laju keausan meningkat seiring dengan kenaikan kecepatan *disk*, peningkatan laju keausan tertinggi diperoleh pada bahan *1-pofa* saat kecepatan 210 rpm. Hasil ini berkesesuaian dengan hasil photo bekas lintasan (gambar 4) dimana pada kecepatan tertinggi diperoleh lintasan paling besar. Penelitian terdahulu menyatakan bahwa ketahanan aus suatu bahan komposit akan mengalami penurunan seiring dengan kenaikan kecepatan *sliding* (Shanmugasundaram, 2017). Gambar 7 mengkonfirmasi bahwa bahan komposit *5-pofa* memiliki laju keausan paling kecil, hal ini dikarenakan komposisi bahan terdiri dari Si/SiO₂ (*dark area*) lebih banyak sehingga memiliki kekerasan lebih baik. (Gowri dkk., 2014) pada penelitiannya menyatakan penambahan partikel SiO₂ pada alloy akan mempengaruhi kekerasan bahan komposit. Partikel *silicone dioxide* sangat sulit untuk larut ke dalam matrik aluminium sehingga partikel-partikel ini hanya terdispersi diantara matrik aluminium.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian memperlihatkan adanya pengaruh penambahan partikel *pofo* terhadap mikrostruktur, kekerasan dan laju keausan bahan komposit matrik aluminium. Dari data yang diperoleh maka dapat dibuatkan beberapa kesimpulan berikut:

1. Penambahan partikel *pofo* menyebabkan butir lebih halus/rapat dengan lebih banyak *dark area* yang merupakan Si/SiO₂, disisi lain keberadaan partikel *pofo* kemungkinan menyebabkan terbentuknya porositas pada mikrostruktur komposit.
2. Penambahan partikel *pofo* akan meningkatkan kekerasan komposit, kekerasan maksimum sebesar 74,9 BHN pada *5-pofo*.
3. Bentuk lintasan yang terdiri dari lebar dan kedalaman lintasan sangat berkaitan dengan laju keausan, lebar lintasan paling kecil diperoleh pada bahan *5-pofo* yang memiliki laju keausan paling kecil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Universitas Sumatera Utara melalui LPPM USU yang telah mendanai penelitian ini dengan nomor kontrak No: 58/UN5.2.3.1/PPM/KP-DRPM/2017.

DAFTAR PUSTAKA

- Akrom, M. and Marwoto, P. (2010) 'Pembuatan Mmc Berbasis Teknologi Metalurgi Serbuk Dengan Bahan Baku Aluminium Dari Limbah Kaleng Minuman Dan Aditif Abu', *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 6, pp. 14–19. Available at: <http://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/JPFI/article/view/1096>.
- Gowri Shankar M.C1, Jayashree P.K2, Dr. U.AchuthaKini3, D. S. . S. 1 (2014) 'Effect Of Silicon Oxide (SiO₂) Reinforced Particles On Ageing Behavior Of Al-2024 Alloy', *International Journal of Mechanical Engineering Technology*, Volume-5(Issue-9), pp. 15–21.
- Isranuri, I., Suprianto, Aditya, W. (2012) 'Analisa Pengaruh Beban Terhadap Laju Keausan Al-Si Alloy Dengan Metode Pin On Disk Test', *Jurnal Dinamis*, II(10), pp. 32–39.
- Lokesh, G. N. *et al.* (2013) 'Effect of Hardness , Tensile and Wear Behavior of Al- 4 . 5wt % Cu Alloy / Flyash / SiC Metal Matrix Composites', *International Journal of Modern Engineering Research*, 3(1), pp. 381–385.
- Lokesh, G. N., Ramachandra, M. and Mahendra, K. V (2014) 'Production of Al-4 . 5 % Cu Alloy Reinforced Fly Ash and SiC Hybrid Composite by Direct Squeeze Casting', *International Journal on Mechanical Engineering and Robotics (IJMER)*, 2(4), pp. 199–203.
- Muruganandhan, P. and Eswaramoorthi, M. (2014) 'Aluminum Composite with Fly Ash – A Review', *IOSR-JMCE*, 11(6), pp. 38–41.
- Ramachandra, M. and Radhakrishna, K. (2006) 'Sliding wear, slurry erosive wear, and corrosive wear of aluminium/SiC composite', *Materials Science-Poland*, 24(2), pp. 333–349. doi: http://direct.dbc.wroc.pl/Content/1691/ms_vol24_2006_2_1.pdf#page=32.
- Shanmugasundaram, P. (2017) 'Effect of Temperature, Load and Sliding Velocity on the Wear Behavior of AA7075–SiC Composites', *Mechanics and Mechanical Engineering*, 21(1), pp. 85–93.
- Subarmono, Jamasri, Wildan, M.W. and Kusnanto (2008) 'Pemanfaatan Limbah Abu Terbang Sebagai Penguat Aluminium Matrix Composite', *Jurnal Teknik Mesin*, 10(2), pp. 109–114. Available at: <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/mes/article/view/17823>.
- Sulardjaka, Wibowo, D.B., Arijanto, Setiaji, E.F. (2011) 'Pengaruh temperatur tuang pada proses pengecoran stir casting terhadap densitas dan porositas komposit aluminium diperkuat serbuk besi', *Rotasi 'Jurnal Teknik Mesin'*, 13(3), pp. 19–21. Available at: <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/rotasi/article/view/4430/4041>.
- Tugiman, Saragih, F.B.A. Ariani, F. and Suprianto (2017) 'Analisa Sifat Mekanis Dan Mikrostruktur Pengecoran Tekan Aluminium A356 Diperkuat Partikel Oxide Dari Palm Oil Fly Ash', *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, 19(2), pp.46-51.
- Xavier, L. F. and Suresh, P. (2016) 'Studies on Dry Sliding Wear Behavior of Aluminium Metal Matrix Composite Prepared From Diskarded Waste Particles', *International Journal of Advanced Engineering Technology*, VII(1), pp. 539–543. doi: 10.1155/2016/6538345.