

POTENSI DAN TANTANGAN KOMPOSIT ALUMINIUM-SiC SEBAGAI BAHAN *CYLINDER LINER* DENGAN METODE HORIZONTAL CENTRIFUGAL CASTING

Alaya Fadllu Hadi Mukhammad¹⁾, Bambang Setyoko²⁾

¹⁾Program Studi Diploma Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang
Jl.Prof. H. Sudarto, SH - Tembalang, Semarang. Email : alayad3tm@gmail.com

²⁾Program Studi Diploma Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang
Jl.Prof. H. Sudarto, SH - Tembalang, Semarang. Email : bsetyoko@ymail.com

Abstrak

Aluminium Matrix Composite (AMC) yang diperkuat partikel SiC merupakan material alternative untuk menggantikan besi cor sebagai bahan *Cylinder Liner*. Penggunaan *AMC* tersebut beralasan karena memiliki kekuatan spesifik dan kekakuan yang tinggi selain itu modulus elastisitas dan ketahanan aus nya pun tinggi. Salah satu metode pembuatan *Cylinder Liner* adalah menggunakan *Centrifugal casting*, akan tetapi dengan adanya perbedaan densitas antara partikel SiC ($\rho = 3,21 \text{ g/cm}^3$) dan densitas aluminium ($\rho = 2,70 \text{ g/cm}^3$) menyebabkan partikel SiC terlempar keluar dibandingkan menjauhi sumbu putar dibandingkan aluminium. Padahal partikel SiC diharapkan berada di bagian dalam sehingga mampu meningkatkan ketahanan aus.

Kata kunci: *AMC, Cylinder, Liner, Centrifugal, Casting*

Abstract

Aluminum Matrix Composites (AMC) reinforced SiC particles are alternative materials to replace the cast iron as a material Cylinder Liner. The use of AMC is justified because it has specific strength and stiffness than that the modulus of elasticity and wear resistance was also high. One method of manufacture Cylinder Liner Centrifugal casting is used, but with the difference in density between SiC particles ($\rho = 3.21 \text{ g/cm}^3$) and the density of aluminum ($\rho = 2.70 \text{ g/cm}^3$) causes the SiC particles thrown out than stay away from the axis swivel than aluminum. Though SiC particles are expected to be on the inside so as to increase the wear resistance.

Keyword : *AMC, Cylinder, Liner, Centrifugal, Casting*

1. PENDAHULUAN

Selama dua dekade terakhir material *Metal Matrix Composite (MMC)* khususnya yang berbasis aluminium telah diteliti pada berbagai aplikasi misalnya industri penerbangan dan otomotif (Roy dkk, 2006). Hal ini sejalan dengan pernyataan Bonollo dkk (2003) bahwa fokus produsen mobil untuk menghemat konsumsi bahan bakar adalah pengurangan berat dari komponen mesin melalui penggantian jenis bahan-bahan yang memiliki densitas tinggi menjadi densitas relative rendah. Salah satu komponen mesin yang diganti bahannya adalah *Cylinder Linier (CL)*. *CL* merupakan salah satu komponen utama dalam mesin otomotif yang berfungsi sebagai tempat terjadinya pembakaran bahan bakar dengan udara (Atmanto dkk, 2014).

Pada umumnya *DCL* terbuat dari besi cor kelabu (*grey cast iron*) karena memiliki ketahanan aus pada suhu tinggi (Situngkir, 2009), akan tetapi memiliki densitas yang tinggi ($\rho = 7,85 \text{ g/cm}^3$) sehingga beratnya relative tinggi.

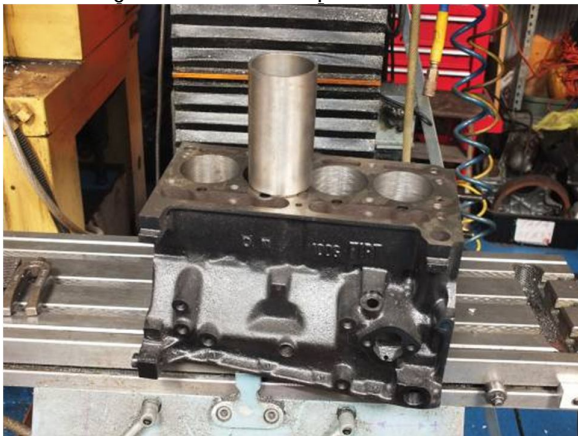
Aluminium Matrix Composite (AMC) merupakan material alternative untuk menggantikan besi cor sebagai bahan *CL*. Penggunaan *AMC* tersebut beralasan karena memiliki kekuatan spesifik dan kekakuan yang tinggi (Cline dkk, 1993 dan Harrington dkk, 1994 dalam Roy dkk, 2006), selain itu modulus elastisitas dan ketahanan ausnya pun tinggi (Kumar dan Dhiman, 2013). Pada dasarnya *AMC* merupakan komposit dengan matriks berupa logam aluminium dan penguat berupa keramik, atau logam lain seperti baja. Aluminium dipanaskan sampai ke titik lelehnya, lalu dicampur dengan SiC serbuk, selanjutnya dituang ke dalam cetakan (Simanjutak dan Abda, 2013). Saat ini beberapa serbuk keramik sangat populer sebagai penguat dalam *MMC*. Berdasarkan tingkat kekerasannya serbuk keramik dibagi menjadi 2 yaitu keras dan lunak. Partikel keras memiliki kekerasan sekitar 30 Gpa (580– 4350 ksi), seperti SiC, Al₂O₃, dan silica, sedangkan partikel lunak memiliki kekerasan di bawah 2 Gpa (290 ksi) seperti graphite dan MoS₂, yang biasanya ditambahkan untuk

keperluan pelumas padat (Rooy, 1988 dalam Kumar dan Dhiman, 2013).

2. KEBUTUHAN DCL DI INDONESIA

Salah satu jenis mesin yang paling banyak digunakan dalam industri transportasi di Indonesia adalah mesin bensin dan diesel. Mesin bensin dan diesel termasuk dalam kategori Mesin Pembakaran Dalam (*Internal Combustion Engine*). Energi yang dihasilkan mesin otomotif diperoleh dari proses oksidasi (pembakaran) bahan bakar dengan udara dalam sebuah ruangan yang dinamakan *Cylinder Liner (CL)*. Pada tahun 2012 diperkirakan terdapat 17.698.661 armada transportasi (mobil pribadi, bus dan truck) yang beroperasi di Indonesia. Pada umumnya mesin bensin dan diesel yang digunakan dalam industry transportasi memiliki 4-6 CL dengan berbagai kapasitas. Fakta kasus lapangan untuk Mesin Diesel memiliki usia pakai DCL rata-rata berkisar 250.000 km atau setara 3-4 tahun masa pemakaian (Atmanto dkk, 2014)

Jika diambil jumlah rata-rata setiap armada memiliki 4 CL maka kebutuhan di Indonesia mencapai kira-kira 70.794.644 CL/ 4 tahun, dengan kata lain setiap hari diperlukan 48.489 buah CL untuk mendukung industri transportasi di Indonesia.



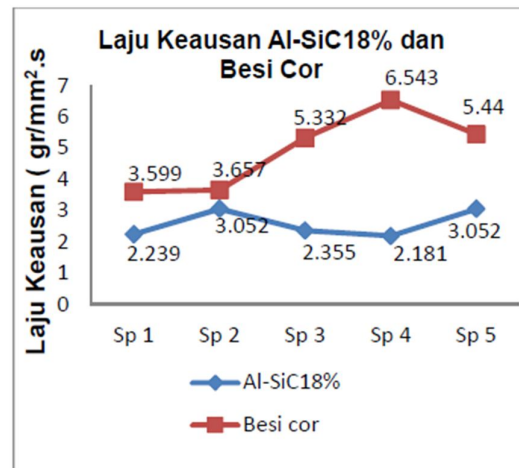
Gambar 1. *Cylinder Liner* (www.sandsports.net)

3. POTENSI AMC-SiC SEBAGAI BAHAN CYLINDER LINER

Cylinder Liner dalam kondisi kerjanya menerima tegangan akibat panas, gaya gesek dari ring piston, tegangan dari gaya yang dihasilkan dari pembakaran, korosi akibat pembakaran yang tidak sempurna sehingga *CL* berkualitas harus memiliki kekuatan mekanis, ketahanan aus dan bebas dari cacat-cacat pada saat proses pembuatannya.

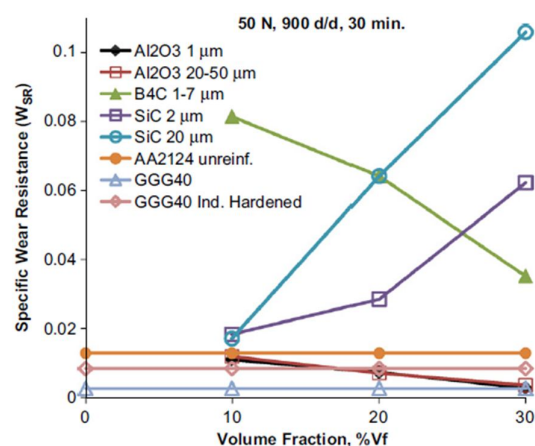
Simanjutak dan Abda (2013) telah melakukan penelitian mengenai karakterisasi komposit matriks logam Al-SiC pada produk Kanvas Rem Kereta Api. Pada Penelitian tersebut dibandingkan nilai kekerasan, keausan dan kekuatan tarik besi cor, dan *AMC-SiC*

pada berbagai variasi fraksi volume 5%, 10%, 15% dan 18%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kekerasan dan kekuatan tarik semakin meningkat seiring peningkatan fraksi volume SiC. Kekerasan dan kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada komposit Al-18%SiC yaitu 88,96HRB, dan 19,77 kgf/mm². Nilai tersebut lebih tinggi jika dibandingkan kekerasan dan kekuatan tarik besi cor yaitu sebesar 82,58 HRB dan 19,22 kgf/mm². Ketahanan aus Al-18%SiC pun lebih tinggi dibandingkan besi cor. (Gambar 2)



Gambar 2. Grafik perbandingan Al-SiC 18% dengan besi cor terhadap nilai keausan. (Simanjutak dan Abda, 2013)

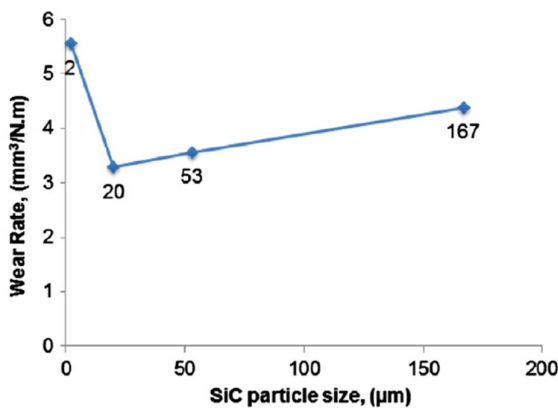
Jika dibandingkan dengan komposit Aluminium yang diperkuat beberapa jenis serbuk keramik lain seperti Al₂O₃, dan B₄C, *AMC-SiC* menunjukkan ketahanan aus yang lebih tinggi (Gambar 3)(Karamis dkk, 2012).



Gambar 3. Ketahanan aus spesifik pada berbagai material dan fraksi volume (Karamis dkk, 2012)

Karamis dkk (2012) melakukan pengujian kekerasan, dan keausan komposit Aluminium tanpa penguat

(AA 2124 *unreit*) dan dengan penguat jenis Al_2O_3 , B_4C dan SiC pada berbagai fraksi volume sebagai bahan *camshaft*. Sebagai kontrol adalah bahan *camshaft* original yaitu besi cor kelabu GGG40 dengan komposisi kimia C(3,25-3,5%), Cr (0,05-0,4%), Si(1,8-2,3%), Cu (0,15-0,4%) dan Mn (0,5-0,9%). Pengujian keausan menggunakan *universal wear tester disk on disk* dengan beban 50 N dan putaran 900 rpm selama 30 menit pada kondisi pelumasan kering. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ketahanan aus spesifik Al-SiC dengan ukuran serbuk 20 μm memiliki ketahanan aus paling tinggi dibandingkan paling tinggi dibandingkan material lainnya khususnya besi cor kelabu. Gambar 3 juga menunjukkan peningkatan ketahanan aus seiring peningkatan fraksi volume 10%-30% pada AMC-SiC SiC dengan ukuran 2 μm dan 20 μm . Laju keausan AMC-SiC juga dipengaruhi ukuran diameter serbuk penguat, laju keausan minimum diperoleh pada ukuran 20 μm .



Gambar 4. Laju Keausan berbagai macam ukuran serbuk SiC dengan fraksi volume 30%.

Peningkatan ketahanan aus pada pelumasan kering dapat dilakukan penambahan partikel lunak memiliki kekerasan di bawah 2 Gpa (290 ksi) seperti *graphite* dan *MoS2*. Kumar dan Dhiman (2013) telah melakukan penelitian mengenai laju keausan Komposit hibrid Al7075-SiC-Gr dibandingkan material aluminium 7075 dengan metode *pin on disc* dengan variasi kecepatan putaran (2, 4, 6 m/s), variasi beban (20, 40, 60 N) dan jarak (2, 3, 4 m). Hasil pengujian menunjukkan bahwa laju keausan spesifik material komposit *hybrid* lebih rendah dibandingkan paduan aluminium 7075.

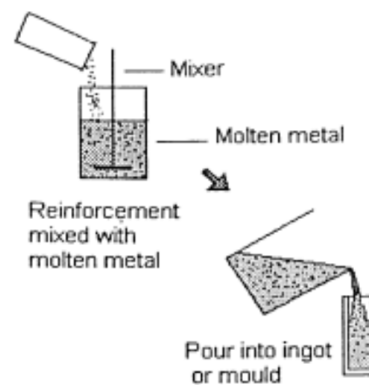
4. MANUFAKTUR CYLINDER LINER AMC-SiC DENGAN METODE CENTRIFUGAL CASTING

4.1. Peleburan AMC-SiC dengan metode *Stirr casting*

AMC-SiC dapat diperoleh dengan beberapa metode diantaranya adalah *stirr casting*, *liquid metal infiltration*,

squeeze casting, *spray decomposition* dan *powder metallurgy* (Nai dkk, 2002 dalam Prabu dkk, 2006) (Hashim dkk, 1999). Diantara beberapa teknik pembuatan AMC-SiC metode *stirr casting* merupakan metode paling cocok untuk skala industri (Prabu dkk, 2006) dikarenakan simple, fleksible dan ekonomis (Hashim dkk, 1999).

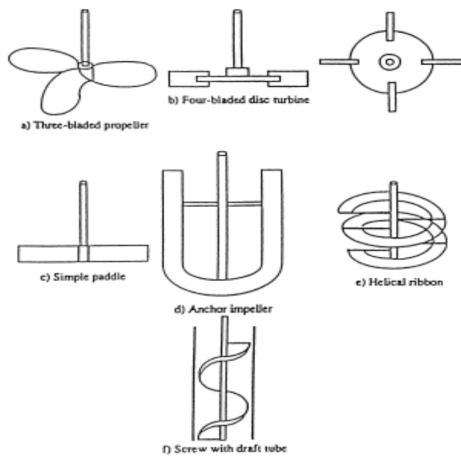
Prinsip utama dari *stirr casting* adalah aluminium cair dan serbuk penguat SiC dicampur dalam sebuah tungku kemudian diaduk (Gambar 5) Temperatur aluminium cair yang direkomendasikan adalah antara 600-700 $^{\circ}C$ (Simanjutak dan Abda,2013) (Prabu dkk, 2002) (Kumar dan Dhiman, 2013). Selanjutnya serbuk SiC dimasukkan secara perlahan-lahan ke dalam aluminium cair.



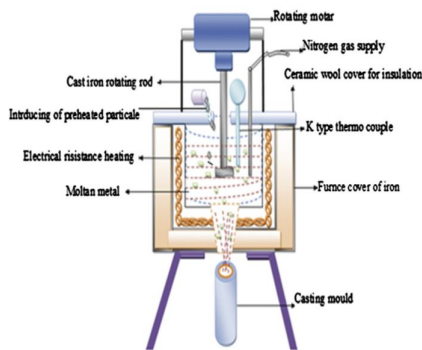
Gambar 5. Skema *Stirr casting* pada komposit *hybrid* Al-SiC (Hashim dkk, 2002)

Permasalahan utama dalam *stirr casting* adalah menjamin distribusi partikel keramik merata dalam aluminium cair. Harnby dkk(1985) dalam Hashim (1999) telah melakukan penelitian mengenai pengaruh bentuk pengaduk dalam *stirr casting* terhadap homogenitas aluminium cair dan serbuk keramik. Diantara bentuk pada Gambar 6 pengaduk bentuk turbin yang paling baik. Parameter-parameter utama *stirr casting* juga telah diteliti oleh Hashim dkk (2002) seperti kecepatan pengadukan, posisi pengaduk, viskositas fluida.

Kumar dan Dhiman (2013) dalam penelitiannya membuat komposit Al 7075 + 7%SiC + 3% Gr menggunakan *stirr casting* dengan temperatur 700 $^{\circ}C$ dan ketinggian pengaduk 2/3 dari dasar tungku. Kecepatan putaran dijaga 600 rpm, dan selama proses pengadukan juga ditambahkan 1% magnesium untuk meningkatkan wettability serbuk dengan aluminium. Selama proses peleburan gas nitrogen disemburkan di dalam tungku (Gambar 7)



Gambar 6. Bentuk-bentuk pengaduk mekanis *stirr casting* (Harnby dkk, 1985 dalam Hashim dkk, 1999)

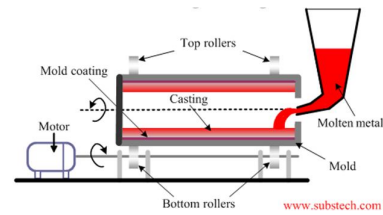


Gambar 7. Skema *Stirr casting* (Kumar dan Dhiman, 2013)

4.2. Pembuatan *Cylinder Liner* Dengan Metode *Centrifugal casting*

Centrifugal casting adalah salah satu teknik pengecoran dengan cara menuangkan logam cair ke dalam cetakan yang berputar (ASM Handbook, 1998). Gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh putaran cetakan akan menyebabkan logam cair yang dituang terdorong menjauhi sumbu putar dan menuju jari-jari terjauh cetakan dan menghasilkan pengisian rongga cetakan lebih sempurna (Jorstad, 1993). Pada pengecoran sentrifugal, cetakan berputar pada kecepatan antara 300-3000 rpm pada posisi horisontal, vertikal pada waktu logam cair dituang.

Horizontal *Centrifugal casting* (Gambar 8) digunakan pada benda kerja yang memiliki ukuran relative panjang yaitu lebih dari 100 mm. Pengecoran sentrifugal horizontal pada umumnya digunakan dalam pembuatan pipa tabung, bushing, liner dan beberapa komponen yang berbentuk silinder dengan bentuk yang relative simple. (ASM Handbook, 1998).



Gambar 8. Gambar skematik horizontal *Centrifugal casting* (www.substech.com)

Situngkir (2009) telah melakukan penelitian mengenai Pengaruh putaran cetakan terhadap sifat mekanik besi cor kelabu FC 300 pada pembuatan silinder liner mesin otomotif. Hasil penelitian tersebut menghasilkan data bahwa putaran optimum yang dapat digunakan pada pembuatan bahan silinder liner yang terbuat dari material FC 300 dengan diameter dalam coran 60 mm berkisar antara 1100 sampai dengan 1450 rpm dan semakin tinggi putaran cetakan yang digunakan, semakin besar kekuatan tarik dan kekerasan dari coran yang dihasilkan.

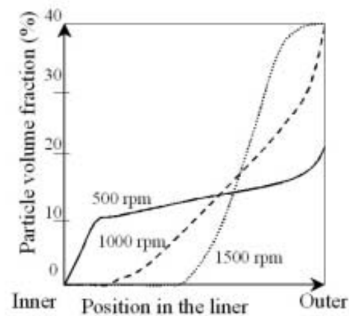
5. TANTANGAN DCL DENGAN BAHAN ALUMINIUM-SiC

Tantangan dalam membuat *AMC-SiC* dengan metode *Centrifugal casting* adalah distribusi partikel penguat (SiC). Distribusi partikel penguat dipengaruhi ukuran partikel, kecepatan putaran dan fraksi volume komposit (Bonollo dkk, 2003).

Partikel penguat (SiC) memiliki densitas $\rho = 3,21 \text{ g/cm}^3$ lebih besar dibandingkan densitas aluminium ($\rho = 2,70 \text{ g/cm}^3$). Perbedaan densitas tersebut menyebabkan partikel SiC terlempar keluar dibandingkan menjauhi sumbu putar dibandingkan aluminium. Hal ini lah yang menjadi tantangan dalam pembuatan *Cylinder Liner* berbasis *AMC*. Partikel SiC yang diharapkan berada di bagian dalam sehingga mampu meningkatkan ketahanan aus malah terletak di bagian luar *Cylinder Liner*.

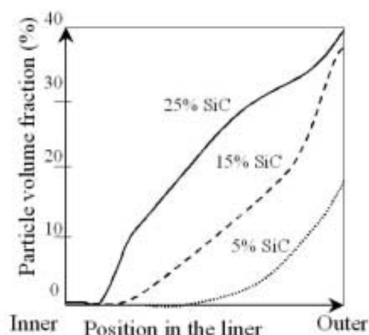
Beberapa penelitian awal Kang dan Rohatgi (1996), Liu dan Hu(1996), Gao dan Wang (2000) dalam Bonollo dkk (2003) telah menunjukkan pengaruh parameter proses *Centrifugal casting* terhadap distribusi radial partikel penguat SiC. Gambar 9 menunjukkan pengaruh kecepatan putaran 500, 1000, dan 1500 rpm komposit Al-15%SiC (ukuran partikel rata-rata 10 mikron) yang dicor menggunakan proses *Centrifugal*. Pada kecepatan putaran 500 rpm gaya *Centrifugal* yang dihasilkan relatif kecil sehingga distribusi partikel yang dihasilkan relatif konstan di bagian dalam dan luar. Pada putaran 1000 rpm menghasilkan 2 daerah utama yaitu daerah bebas partikel (*free region*) dan daerah transisi (*gradient region*), sedangkan pada kecepatan putaran 1500 rpm terlihat jelas 3 daerah utama yaitu daerah bebas partikel (*free region*), daerah transisi (*gradient region*), dan daerah penuh partikel (*packed*

region). Peningkatan ukuran partikel 5, 10 dan 20 μm menghasilkan fenomena yang sama seperti perubahan kecepatan putaran. Semakin besar ukuran partikel juga akan meningkatkan percepatan *Centrifugal*.



Gambar 9. Pengaruh kecepatan putaran terhadap distribusi partikel penguat pada komposit Al-15% SiC (Kang dan Rohatgi (1996), Liu dan Hu(1996), Gao dan Wang (2000) dalam Bonollo dkk (2004))

Peningkatan fraksi volume penguat SiC dalam komposit menghasilkan pengaruh yang signifikan terhadap distribusi partikel SiC. Ketebalan dari *free region* semakin kecil seiring peningkatan fraksi volume. Dan pada komposit Al-25%SiC menghasilkan daerah penuh partikel (*packed region*) sebesar 40%. (Kang dan Rohatgi (1996), Liu dan Hu(1996), Gao dan Wang (2000) dalam Bonollo dkk (2004))



Gambar 10. Pengaruh fraksi volume terhadap distribusi partikel penguat pada komposit Al-15% SiC (Kang dan Rohatgi (1996), Liu dan Hu(1996), Gao dan Wang (2000) dalam Bonollo dkk (2004))

6. SIMPULAN

Evaluasi dari beberapa sumber referensi maka dapat ditarik beberapa kesimpulan :

1. Sifat fisik-mekanik yang lebih baik menjadikan AMC-SiC layak sebagai material alternatif bahan *Cylinder Liner* pengganti besi cor di Indonesia. Hal ini didukung dengan jumlah kebutuhan *Cylinder Liner* yang tinggi sehingga pemasarannya terbuka lebar.
2. Pembuatan *Cylinder Liner* dengan menggunakan metode *Centrifugal casting* menghasilkan produk yang layak digunakan,

akan tetapi kaitannya dengan AMC-SiC menghasilkan tantangan penentuan beberapa parameter agar penguat partikel SiC berada di permukaan *Cylinder Liner*.

7. DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook. 1998. "Casting Volume 15". ASM International Handbook Committee
- Atmanto, I.S., Mukhammad, A.F.H., Setyoko, B., Santoso, N., 2014. "Rancang Bangun Mesin *Centrifugal Casting* Kombinasi Untuk Memproduksi Diesel *Cylinder Liner* (DCL) Skala Laboratorium". *Jurnal Traksi Vol 2*
- Bonollo, F., Moret, A., Gallo, S., Mus, C., 2003. "Cylinder Liners in Aluminium Matrix
- Clyne, T.W., dan Withers, P.J.1993. "An introduction to metal-matrix composites". UK: Cambridge University Press.
- Composite by *Centrifugal Casting*", the 6th Int. Seminar on "Experimental techniques and design in composite materials" Vicenza
- Gao, J. W. dan Wang C. Y., 2000. "Modeling the solidification of functionally graded materials by *Centrifugal casting*", *Materials Science and Engineering A*, Vol. 292 , pp. 207-215.
- Harnby, N., Edward, M.F., Nienow, A.W., 1985. "Mixing in Process Industries", Butterworths, London,
- Harrington, Jr. W.C. 1994. "Metal-matrix composite application". In: Ochiai S, editor. *Mechanical properties of metallic composites*. New York: Marcel-Dekkerp. 759-73.
- Hashim, J., Looney, L., Hashmi, M.S.J., 1999. "Metal matrix composites: production by the stir casting method", *J. Mater. Process. Technol.* 92/93 1-7.
- Hashim, J., Looney, L. Hashmi, M.S.J. 2002. "Particle distribution in cast metal matrix composites, Part 1", *J. Mater. Process. Technol.* 123 251-257
- Jorstad, J., Rasmussen, L., Wayne. M.. 1993." Aluminum Casting Technology". U.S.A: American Foundrymen's Society. Inc
- Kang, C.G., dan Rohatgi, P.K. 1996. "Transient Thermal Analysis of Solidification in a *Centrifugal Casting* for Composite Materials Containing Particle Segregation", *Metallurgical and Materials Transactions B*, Vol. 27B pp.277-285.
- Karamis, M.B., Cerit, A.A., Selcuk, B., Nair, F. 2012. The Effects of Different Ceramics Size and

- Volume Fraction on Wear Behavior of Al Matrix Composites (for Automobile Cam Material). *Wear* 289
- Kumar, R., dan Dhiman, S., 2013. "Technical Report A study of sliding wear behaviors of Al-7075 alloy and Al-7075 hybrid composite by response surface methodology analysis". *Materials and Design* 50 351–359.
- Liu, Q., Jiao, Y., Hu, Z. 1996. "Theoretical Analysis of the Particle Gradient Distribution in Centrifugal Field During Solidification", *Metallurgical and Materials Transactions B*, Vol. 27B , pp. 1025-1029.
- Nai, S.M.L., Gupta, M. 2002. "Influence of stirring speed on the synthesis of Al/SiC based functionally gradient materials" *Compos. Struct.* 57.227–233.
- Prabu, S.B., Karunamoorthy, L., Kathiresan, S. Mohan, B. 2006. "Influence of Stirring Speed and Stirring Time on Distribution of Particles In Cast Metal Matrix Composite". *Journal of Materials Processing Technology* 171, 268–273
- Rooy, E.L., 1988. "Aluminum and Aluminum Alloys. *Metals handbook*, vol. 15. ASM Intrenational;. p. 743-770.
- Roy, D., Basu, B., Mallick, A.B., Kumar, B.V.M., Ghosh, S., 2006. "Understanding the Unlubricated Friction and Wear Behavior of Fe-Aluminide Reinforced Al-Based in-situ Metal-Matrix Composite", *Composites: Part A* 37 1464–1472
- Simanjuntak, A.M., dan Abda, S., 2013. "Karakterisasi Komposit Matriks Logam Al-SiC Pada Produk Kanvas Rem Kereta Api" *Jurnal e-Dinamis*, Volume. 6, No.2
- Situngkir, H., 2009. "Pengaruh Putaran Cetakan Terhadap Sifat Mekanik Besi Cor Kelabu Pada Pembuatan Silinder Liner Mesin Otomotif Dengan Pengecoran Sentrifugal Mendatar", *Jurnal Dinamis* Vol. II, No. 4
- www.sandsports.net diakses 29 April 2016
- www.substech.com diakses 29 April 2016