

COATING ON COMPOSITE PISTON HEAD WITH ZIRCONIA POWDER USING SPRAY THERMAL COATING TO INCREASE MECHANICAL STRENGTH AND FUEL SAVING

(Pelapisan Kepala Piston dengan Serbuk Zirconia Menggunakan Spray Thermal Coating untuk Meningkatkan Kekuatan Mekanik dan Hemat Bakar)

Solechan^{1*}, Joko Suwignyo², Fuad Abdillah³, Ngubaidi Achmad⁴, Moh. Arozi⁵

ABSTRACT

Motor vehicle pistons are often damaged. Most of the damage to the piston is worn and broken. Waste aluminum piston added with SiC can be used for the manufacture of new pistons, but low heat resistance, easy wear and high abrasion. How to overcome these shortcomings, carried out the process of coating the composite piston head with zirconia powder using a thermal spray coating. This process is able to improve mechanical properties and save fuel, but its strength is still below the standard strength of the original piston. The research objective is to analyze the effect of the composition of the material mixture, the number of coatings and the firing distance on the composite piston head on mechanical strength and fuel saving. The research method is to coat the composite piston head using a thermal spray coating using zirconia powder. The research variable is by varying the composition of the piston material mixture, the number of coatings and the firing distance of the coating. Coating material of zirconia or for grain size of 20 μm . Optimal results are obtained by the composition of the piston mixture on the P3 code specimen, coated 5 times, and the firing range is 8 cm. For hardness of 77.29 HRV, wear of 1.50E-03 mm^2/Kg and fuel saving of 4.36% compared to the original piston.

Keywords: Coating, Composite, Piston, Spray, Thermal Barrier

PENDAHULUAN

^{1, 5} Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Semarang, Semarang, Indonesia

^{2, 3, 4} Pendidikan Teknik Mesin-FPTK- Universitas Ivet Semarang, Semarang, Indonesia

*Corresponding author:
solechan@unimus.ac.id

Pemanfaatan aluminium daur ulang secara ekonomi dan lingkungan sangat membantu (Francis, 2012). Kualitas material aluminium baru dan daur ulang secara sifat mekanik tidak ada perbedaan (Aalco, 2013). Material aluminium di industri otomotif digunakan sebagai bahan baku piston, blok mesin, *cylinder head*, dan *valve* (Budinski, 2001). Komponen piston pada kendaraan bermotor berfungsi pemindah tenaga dari tekanan pembakaran dalam mesin. Piston sering mengalami kerusakan dan dilakukan pergantian setiap *overhould* (Solechan, 2010). Kerusakan piston paling banyak aus dan pecah, akibat temperatur, tekanan, dan gaya gesek tinggi (Nurhadi, 2010). Piston terbuat dari paduan aluminium dan silikon memiliki daya tahan terhadap korosi, abrasi, ulet, dan kekuatan tinggi tetapi kekerasan rendah (Cole., 1995). Beberapa inovasi telah dikembangkan untuk pembuatan piston melalui proses pengecoran gravitasi (Radimin, 2012), metalurgi serbuk (Toto., 2009), dan *squeeze casting* (Shoujiang, 2007, Aditya P, Solechan, dan Samsudi R, 2013). Proses pengecoran *squeeze casting* memiliki banyak kelebihan dibandingkan pengecoran lainnya. Mulai dari porositas, penyusutan, kekuatan mekanik, hemat material, biaya rendah dan bentuk akhir mendekati dimensi yang diinginkan (Shoujiang, 2007, Abdillah F dan Joko Suwignyo, 2010). Penambahan material untuk meningkatkan kekuatan mekanik melalui metode komposit (Martin, 2011).

Komposit matrik aluminium (AMCs) banyak digunakan dalam pembuatan piston. Kurzawa (2008), membuat piston AMCs dengan perbandingan 80% Al-Si dan 20% SiC menggunakan metode *squeeze casting*. Diameter partikel SiC 1,8 μm , penekanan 100 ton dan kecepatan penekanan 5 m/s. Hasilnya porositas 2%, kekerasan meningkat 200% dan permukaan halus. Kelemahannya kurang tangguh, oksidasi, korosi dan muai besar. Limbah paduan aluminium ditambah SiC menggunakan metode *squeeze casting* dengan penguat partikel dan fiber dapat meningkatkan kekuatan tarik 225%, kekerasan 150% dan porositas 5%, tetapi ketahanan terhadap panas rendah dan abrasi tinggi (Asano K, Yoneda H., 2004, Shoujiang., 2007). Radimin, Abdillah F, dan Joko Suwignyo (2014) membuat piston komposit untuk mobil Daihatsu Hijet-100 dengan perbandingan limbah piston bekas 77%, silikon karbida 18 % , dan magnesium 11% pada tekanan *squeeze casting* 800 Mpa. Hasilnya kekerasan naik 20%, *interface* sempurna, dan keausan rendah. Kelemahan pada ketangguhan, ketahanan panas, korosi, abrasi dan pemuaian besar. Meningkatkan hal tersebut, dilakukan proses perlakuan panas. Proses perlakuan panas pada temperatur *solution heat treatment* 505°C, waktu tahan 2 jam di *quenching* oli SAE 40. Proses aging temperatur 400°C dan waktu 5 jam menghasilkan peningkatan ketangguhan, ketahanan panas, korosi, dan menurunkan

muai, tetapi sifat mekanik ini masih dibawah standar piston original (Radimin, dan kawan-kawan, 2014).

Telah banyak penelitian untuk peningkatan ketangguhan, ketahanan panas, korosi, abrasi, dan penurunan muai pada piston komposit (Jingwei Wu, et.al, 2006). A.J Helmisyah et.al (2011) melakukan *thermal barrier coating* pada kepala piston menggunakan *spray thermal coating* dengan zirconia atau zirconium dioksida (ZrO_2). Hasilnya untuk transfer panas, ketangguhan, dan muai piston menjadi lebih baik. Selain itu, pembakaran semakin sempurna dan konsumsi bahan bakar menjadi rendah. Shailesh Dhomne et. al (2014), melakukan pelapisan kepala piston metode *thermal barrier coating* menggunakan *thermal spraying techniques* dengan *Yttria-Stabilized Zirconia (YSZ)*. Hasilnya tenaga mesin meningkat, emisi berkurang, transfer panas menurun, korosi, abrasi, dan muai kecil. Vijaya Kumar K.R and Sundareswaran V (2011) membuat coating permukaan kepala piston Diesel dengan metode *thermal barrier coating* dengan *20% Lead Zirconate Titanate (PZT) dan 60% Cyanate modified Epoxy*. Hasilnya transfer panas, abrasi, dan muai rendah pada piston Diesel. Dari latar belakang diatas, riset ingin pengembangan prototipe piston komposit dari limbah piston berpenguat silikon karbida menggunakan *thermal barrier ceramic coating* untuk meningkatkan performa kerja mesin, abrasi, dan koefisien muai rendah.

METODOLOGI

Spesimen piston komposit dengan komposisi campuran 89% PB + 6 % SiC + 5% Mg Kode P1, 83% PB + 12% SiC + 8% Mg kode P2, dan 77% piston bekas + 18 % SiC + 11% Mg Kode P3 pada tekanan 800 Mpa. Proses perlakuan panas pada temperatur 505°C, *holding time* 2 jam di *quenching* oli SAE 40. Proses aging temperatur 400°C dan waktu 5 jam. Proses pelapisan menggunakan *flame spray blander* dengan media serbuk zirconia dengan ukuran butir 20 μm yang dilapiskan pada kepala piston komposit. Sebelum dilapisi kepala piston komposit di *sand blasting* dengan ukuran butir 60 μm . Kekasaran permukaan diukur dengan *surface roughness tester* dengan hasil rata-rata Ra 50 μm . Jarak tembak *flame spray blander* dengan benda kerja 8-10 cm dengan jumlah pelapisan 3-5 kali. Kepala piston komposit dipanaskan dulu pada suhu 200°C menggunakan *flame spray blander* yang diperlihatkan pada **Gambar 1**. Selanjutnya pembuatan specimen uji untuk pengujian vickershardness test dengan standar ASTM E 92. Uji keausan menggunakan standar ASTM G 99-17 metode Ogushi, dan

uji penghematan bahan bakar dengan mobil Daihatsu Hijet 67,9 x 117 mm, 4 silinder 2.1 liter dalam keadaan tidak berjalan (*idle*).



Gambar 1. Proses pelapisan kepala piston komposit menggunakan *flame spray blander*

HASIL DAN PEMBAHASAN

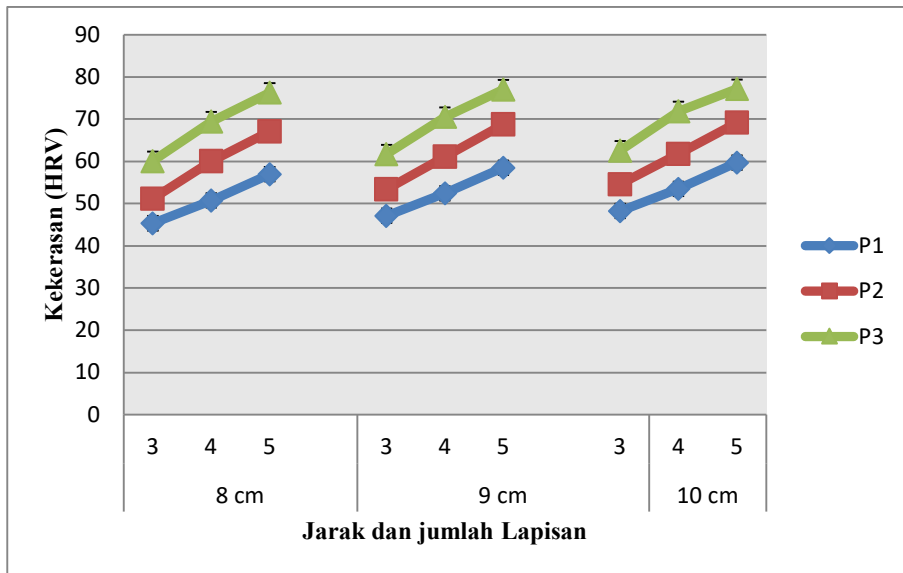
Uji Kekerasan

Keseragaman lapisan (*coating*) berpengaruh terhadap kekerasan piston komposit yang di *thermal barrier coating*. Kekerasan yang sama berbagai arah (*isotropik*) dapat meningkatkan performa piston (Deng, 2006). Spesimen material piston komposit campuran diberi kode P1, P2. Dan P3. Hasil pengujian spesimen piston komposit setelah di *thermal barrier coating* menggunakan serbuk zirconia dengan variasi jarak tembak dan jumlah lapisan ditunjukkan pada **Tabel 1.**

Tabel 1. Hasil uji kekerasan piston komposit di *thermal barrier coating*

Kode Spesimen Piston komposit	Jarak lapisan (cm)	Jumlah lapisan (x kali)		
		3	4	5
Kekerasan (HRV)				
P1	8	45,34	50,76	56,94
P2		51,16	60,09	67,08
P3		60,08	69,43	77,29
P1	9	47,11	52,43	58,48
P2		53,38	61,12	68,72
P3		61,69	70,55	77,14
P1	10	48,24	53,51	59,72
P2		54,57	61,75	69,15
P3		62,54	71,9	77,05

Semakin banyak jumlah lapisan dan jarak tembak semakin dekat untuk kepala piston komposit dapat tertutup secara sempurna, rongga dan pori-pori kecil. Proses ini dapat meningkatkan kekerasan piston komposit. Semakin kecil jumlah lapisan dan jarak tembak, maka untuk kekerasan menurun, ini diperlihatkan pada **Gambar 2**. Spesimen dengan lapisan 3, dan 4 kali belum mampu menutupi seluruh permukaan kepala piston komposit. Penyebab adanya oksigen yang masuk kedalam lapisan sehingga membentuk rongga dan kerapatan antar partikel berkurang (D. Koch, et.al, 2017). Jumlah lapisan 5 kali penyemprotan pada permukaan kepala piston komposit untuk yang berongga dan berpori-pori dapat tertutup diakibatkan penyebaran semprotan partikel-partikel kecil butiran zirconia yang semakin tebal (Caliister Jr. W., 2009, Bo-Eun Park, et.al, 2017).



Gambar 2. Hasil uji kekerasan piston komposit yang di *thermal barrier coating*

Jumlah pelapisan semakin banyak membentuk kestabilan termomekanik lapisan protektif pada serbuk zirconia. Ini dapat meningkatkan ketebalan lapisan dan pencegahan pembentukan void disepanjang *interface* lapisan zirconia dan subtract piston komposit (Pei-Hu Gao, et.al, 2016). Untuk ketebalan lapisan dan kedalaman difusi antara material piston komposit dan zirconia dapat dilihat dari uji Strukturmakro. Spesimen uji dengan 4 kali lapisan untuk kedalaman difusi sangat kecil dan tidak merata dengan ketebalan lapisan sebesar 215 μm .

Spesimen uji dengan 5 kali lapisan menunjukkan kedalam difusi dan ketebalan lapisan bertambah dibandingkan specimen uji 4 kali lapisan. Ketebalan lapisan untuk specimen uji 5 kali lapisan sebesar 233 μm dan memiliki kedalaman difusi cukup dalam dan ketebalan lapisan. Jumlah lapisan semakin banyak pada kepala piston komposit meningkatkan kekerasan. Nilai kekerasan optimal dengan jumlah lapisan 5 kali, jarak tembak 8 cm, dengan kode P3 sebesar 77,29 HRV. Selain ketebalan lapisan, faktor yang sangat berpengaruh terhadap kekerasan yaitu material Zirconia. Material ini memiliki unsur sifat semi konduktor, ketahanan panas dan kekerasan tinggi (G. Sivakumar, S. S. Kumar, 2014).

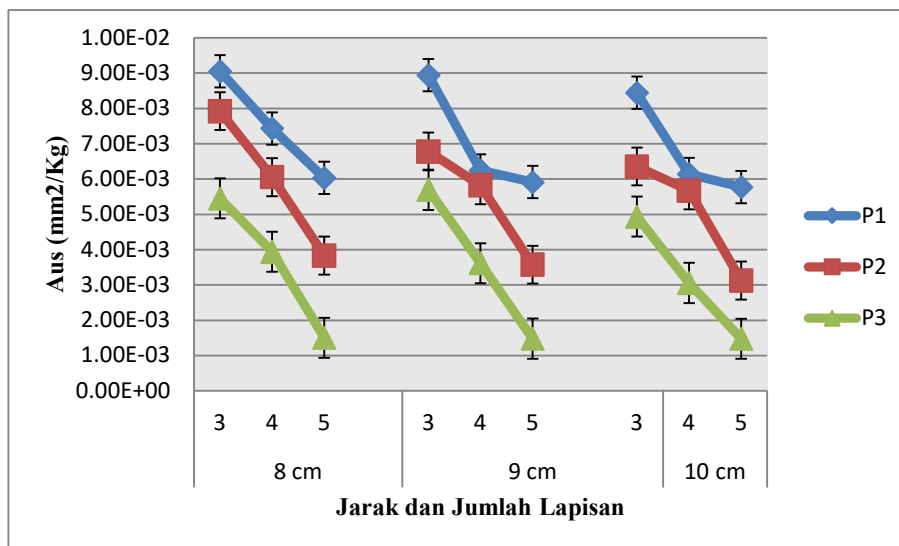
Uji Keausan

Pengujian keausan menggunakan standar ASTM G 99-04 menggunakan metode Ogushi. Hasil uji aus specimen piston ditampilkan pada **Tabel 2**. Proses uji aus dengan pembebanan yang menghasilkan kontak antar permukaan dan berulang-ulang yang mengurangi permukaan benda uji. Besarnya jejak dan material yang hilang dijadikan penentu tingkat keausan suatu material. Hasil uji keausan berbanding lurus dengan pengujian kekerasan, semakin keras dari material piston komposit, maka keausan semakin kecil. Keausan dipengaruhi juga jarak tembak dan jumlah lapisan. Keausan paling kecil pada piston komposit jumlah lapisan 5 kali, jarak tembak 8 cm dimiliki specimen kode P3. Sedangkan keausan paling tinggi pada specimen kode P1, jumlah lapisan 3 kali, dan jarak tembak 10 cm dengan nilai $9,44\text{E-}03 \text{ mm}^2/\text{Kg}$.

Tabel 2. Hasil uji aus specimen kepala piston komposit

Komposisi material Piston Komposit	Jarak coating (cm)	Jumlah Lapisan (x kali)		
		3	4	5
Hasil Uji Aus /Ws (mm^2/Kg)				
P1	8	9,05E-03	7,43E-03	6,03E-03
P2		7,92E-03	6,05E-03	3,83E-03
P3		5,45E-03	3,94E-03	1,50E-03
P1	9	8,94E-03	6,24E-03	5,91E-03
P2		6,78E-03	5,82E-03	3,57E-03
P3		5,69E-03	3,61E-03	1,57E-03
P1	10	9,44E-03	6,14E-03	5,77E-03
P2		6,35E-03	5,67E-03	3,12E-03
P3		4,93E-03	3,05E-03	1,59E-03

Hasil pengujian keausan selaras dengan hasil pengujian kekerasan, kekuatan tarik, dan porositas. Kekerasan semakin tinggi untuk nilai keausan semakin rendah (Caliister Jr. WD., 2009). Nilai keausan paling rendah dimiliki oleh spesimen paling keras. Nilai keausan paling kecil pada spesimen P3 pada jumlah lapisan 5 kali, untuk jarak tembak 8 cm sebesar $1,50E-03 \text{ mm}^2/\text{Kg}$. Keausan ini lebih kecil dari keausan piston original sebesar $1,50E-03 \text{ mm}^2/\text{Kg}$, bagaimana diperlihatkan pada **Gambar 3**. Nilai keausan paling rendah dipengaruhi oleh komposisi campuran, jarak tembak, dan jumlah lapisan (Caliister Jr. WD., 2009, C. E. Campbell, et.al, 2005).



Gambar 3. Hasil uji keausan piston komposit di *thermal barrier coating*

Uji Penghematan Bahan Bakar

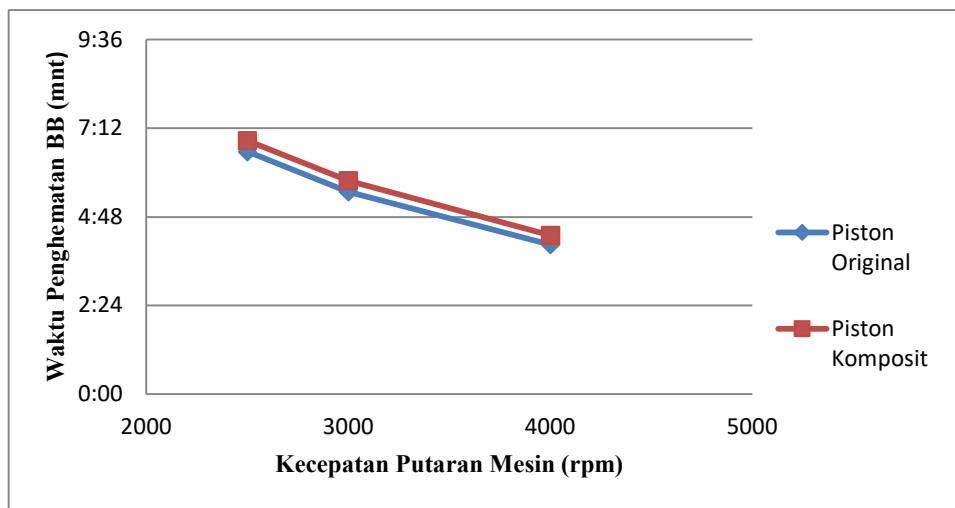
Prototipe piston komposit hasil pengujian mekanik sudah dilakukan. Hasil yang terbaik dimiliki oleh spesimen uji kode P3, jumlah lapisan 5 kali, jarak tembak 8 cm. Selanjutnya dilakukan pengujian performa mesin pada mobil Daihatsu Hijet 67,9 x 117 mm, 4 silinder 2.1 liter dalam keadaan tidak berjalan. Piston komposit yang sudah di *thermal barrier coating* diuji pada kecepatan 2500, 3000, 4000 rpm. Semua parameter kinerja diukur penghematan bahan bakar, torsi dan keausan. Hasil pengujian penghematan bahan bakar diperlihatkan pada **Tabel 3**. Membandingkan antara piston original dan piston komposit di *thermal barrier coating* dengan kecepatan putaran mesin 2500, 3000, 4000 rpm. Bahan bakar pertalite untuk percobaan dengan volume 300 ml. Pada piston original mobil Daihatsu untuk waktu penghematan bahan

bakar pada kecepatan putaran mesin 2000 rpm yaitu 6:34 menit, sedangkan pada piston komposit yang di *thermal barrier coating* untuk waktu penghematan bahan bakar menjadi 6:52 menit atau mengalami kenaikan 18 detik (4,36%).

Tabel 3. Hasil pengujian penghematan bahan bakar

Kecepatan Mesin (rpm)	Waktu Penghematan Bahan Bakar (menit)	
	Piston Original	Piston Komposit di Coating
2500	6:34	6:52
3000	5:29	5:47
4000	4:03	4:18

Naiknya kecepatan putaran mesin menjadi 3000 rpm untuk waktu habisnya bahan bakar semakin cepat. Waktu penghematan bahan pada piston original yaitu 5:29 menit, sedangkan piston komposit yang di *thermal barrier coating* meningkat menjadi 5:44 menit atau 4,85%. Kecepatan putaran mesin naik 4000 rpm atau kecepatan mesin paling tinggi pada pengujian ini. Piston original waktu penghematan 4:03 menit, sedangkan piston yang di *thermal barrier coating* menjadi 4:18 menit atau naik 5.81% bagaimana bisa dilihat pada **Gambar 4**. Turunnya temperatur mesin diakibatkan lapisan *thermal barrier coating* piston karena mampu mengalangi panas akibat pembakaran di ruang mesin. Temperatur mesin turun dapat mengurangi detonasi sebelum piston naik sampai titik mati atas (TMA) dan meningkatkan daya mesin (Arismunandar, 2005).



Gambar 4. Waktu penghematan bahan bakar antara piston original dan piston komposit di *thermal barrier coating*

KESIMPULAN

1. Komposisi campuran piston komposit yang terbaik dimiliki oleh kode P3 dengan jumlah lapisan 5 kali, dan jarak tembak 8 cm memiliki kekerasan 77,29 HRV dan keausan $1,50E-03 \text{ mm}^2/\text{Kg}$.
2. Penghematan bahan bakar pada piston komposit kode P3 mampu menghemat bahan bakar 4,36% dengan putaran mesin 2000 rpm bila dibandingkan dengan piston original.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi Dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang telah memberikan dana untuk Penelitian Strategis Nasional Institusi tahun anggaran 2017-2018.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM E92 – 17. Standard Test Methods for Vickers Hardness and Knoop Hardness of Metallic Materials.
- ASTM G99 – 17. Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus
- Aalco Metals Ltd., 2013., Aluminium Alloy: Introduction to Aluminium and its alloys ., 25 High Street, Cobham, Surrey KT11 3DH., 12 Januari., hlm 1-3.
- Asano K, Yoneda H., 2004., Microstructure and strength of a squeeze cast aluminum piston alloy composite reinforced with alumina short fibre using Al₂O₃ binder. International Journal of Cast Metals Research,17(6): 351-356.
- Arismunandar, Wiranto, 1988, Penggerak Mula Motor Bakar, Bandung, ITB.
- Abdillah F dan Joko Suwignyo, 2010., Pengaruh perlakuan panas pada paduan aluminium dalam upaya meningkatkan sifat mekanis material piston berbasis material piston pegas., Prosiding penelitian RAPI UMS., hal 132-137.
- A.J. Helmisyah, S. Abdullah dan M.J. Ghazali., 2011., Effect of thermal barrier coating on piston crown for compressed natural gas with direct injection engine., Applied mechanics and material., vols 52-54 pp 1830-1835,

- Aditya P, Solechan, dan Samsudi R, 2013, nalisa Pengaruh Tekanan Dan Temperatur Cetakan Pada Pengecoran Ulang Dengan Memanfaatkan Limbah Piston Menggunakan Squeeze Casting, TEKNOIN, Vol. 2, ISBN 978-602-14272-0-0.
- Budinski., Swizerland, 2001, "Engineering Materials Properties and Selection," pp. 517–536.
- Bo-Eun Park, Il-Kwon Oh, Chandreswar Mahata, Chang Wan Lee, David Thompson, Han-Bo-Ram Lee, Wan Joo Maeng, Hyungjun Kim. (2017) Atomic layer deposition of Y-stabilized ZrO₂ for advanced DRAM capacitors. *Journal of Alloys and Compounds* 722, 307-312. Online publication www.worldscientific.com.
- Cole, G S., and Sherman, A. M., 1995, "Light weight materials for automotive applications," *Material Characterization*, 35 (1) pp. 3–9.
- C. E. Campbell, W. J. Boettinger, T. Hansen, P. Merewether, and B. A. Mueller, "Examination of multicomponent diffusion between two Ni-base superalloys", *Complex Inorganic Solids: Structural, Stability, and Magnetic Properties of Alloys*, P. E. A. Turchi, A. Gonis, K. Rajan, and A. Meike, Ed., New York: Springer, 2005
- Callister Jr, William D, 2009, *Materials Science And Engineering An Introduction*, 8th Edition, New Jersey : John Wiley & Sons, Inc, Hoboken.
- D. Koch, G. Mauer, R. Vaßen. (2017) Manufacturing of Composite Coatings by Atmospheric Plasma Spraying Using Different Feed-Stock Materials as YSZ and MoSi₂. *Journal of Thermal Spray Technology* 26:4, 708-716. Online publication date: 1-Apr-2017.
- Deng X., 2006., Modeling the effect of particle clustering on the mechanical behavior of SiC particle reinforced Al matrix composites. *J Mater Sci*;41:5731-5734.
- Francis Mangels., 2012., Why In The World Are They Spraying., page 87-98.
- G. Sivakumar, S. S. Kumar, 2014, Investigation on effect of Yttria Stabilized Zirconia coated piston crown on performance and emission characteristics of a diesel engine, *Materials Science, Engineering, alexandria engineering journal*, DOI:10.1016/J.AEJ.2014.08.003 Corpus ID: 136595392.
- Jingwei Wu, Jianguo Yang, Hongyuan Fang, Sanghoon Yoon, Changhee Lee., 2006., The bond strength of Al–Si coating on mild steel by kinetic spraying deposition., *elsevier jurnal.*, pp.7809–7814
- Kurzawa. A, J.W. Kaczmar, A. Janus., 2008., Selected mechanical properties of aluminum composite materials reinforced with SiC particles., *Archives of Foundry Engineering.*, ISSN (1897-3310) Volume 8 Issue 2.

- Martin I. Pech.C., 2011., Aluminum Alloys for Al/SiC Composites, Recent Trends in Processing and Degradation of Aluminium Alloys, ISBN: 978-953-307-734-5
- Nurhadi., 2010., Studi Karakterisasi Material Piston dan Pengembangan Prototipe Piston Berbasis Limbah Piston Bekas., Jurnal RETII 4., Vol 4, No1, 201-207.
- Pei-Hu Gao, Guan-Jun Yang, Si-Ting Cao, Jian-Ping Li, Zhong Yang, Yong-Chun Guo. (2016) Heredity and variation of hollow structure from powders to coatings through atmospheric plasma spraying. Surface and Coatings Technology 305, 76-82. Online publication date: 1-Nov-2016.
- Radimin, Abdillah F, dan Ngubaidi Achmad, 2014, Studi Pengaruh Tekanan Dan Komposisi Campuran Pada Prototipe Piston Komposit Dengan Penguat Silikon Karbida (SiC) Menggunakan Metode Squeeze Casting, SNATIF, Edisi 1 vol 1,
- Radimin, Abdillah F, dan Joko Suwignyo, 2014, Pengaruh perlakuan panas Piston Komposit Dengan Menggunakan Metode Squeeze Casting terhadap peningkatan sifat mekanik, Jurnal Gardan, Vol 4 No 1, ISSN: 2338-2775, hal 16-21.
- Shoujiang QU., y, Lin Geng dan Jiecai Han., 2007., SiCp/Al Composites Fabricated by Modified Squeeze Casting Technique., J. Mater. Sci. Technol., Vol.23 No.5.
- Solechan., 2010., Studi pembuatan material piston menggunakan limbah piston bekas dan ADC 12 yang diperkuat dengan insert ST 60 dan besi cor., Jurnal RETII 4., Vol 4, No1, hal 213-219.
- Shailesh Dhomne, A. M. Mahalle, and Mohammad Ayaz Afsar, 2014, Experimental and Computational Investigations on Piston Coated Externally Scavenged S.I. Engine., Journal of Mechanical and Civil Engineering , *e-ISSN: 2278-1684*
- Toto Rusianto, 2009., Hot pressing of aluminum powder metallurgy with variations of heating temperature., Journal Teknolog.i, 89 Volume 2 No. 1., pp.89-95.
- Vijaya Kumar K.R and Sundareswaran V, 2011, The Effect of Thermal Barrier Coatings on Diesel Engine Performance, Journal of Mechanical and Industrial Engineering, ISSN 1995-6665, Vol 5, No 5, Pages 403 – 406.