

STUDI PENGARUH JUMLAH LAPISAN DAN JARAK TEMBAK *SPRAY THERMAL COATING* TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN PENGHEMATAN BAHAN BAKAR PADA PISTON KOMPOSIT DENGAN MATERIAL PELAPIS SERBUK ZIRCONIA

Joko Suwignyo¹, Fuad Abdillah, Ngubaidi Achmad, Solechan²

¹Pendidikan Teknik Mesin-FPTK- IKIP Veteran Semarang

Jl. Pawiyatan Luhur IV No.17, Bendan Duwur, Gajahmungkur, Semarang 50233

²Teknik Mesin-Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Semarang

Jl. Kasipah No 12 Semarang 50274

e-mail : jokosuwigno40@gmail.com, solechan@unimus.ac.id

Abstrak

Kualitas material aluminium baru dan daur ulang secara sifat mekanik tidak ada perbedaan. Material aluminium di dunia otomotif digunakan membuat piston, blok mesin, dan cylinder head. Komponen piston kendaraan bermotor sering mengalami kerusakan. Kerusakan piston paling banyak aus dan pecah. Limbah aluminium piston ditambah SiC dapat digunakan untuk pembuatan piston baru, tetapi ketahanan terhadap panas rendah, mudah aus dan abrasi tinggi. Mengatasi kekurangan tersebut dilakukan proses perlakuan panas. Proses ini mampu meningkatkan sifat mekanik, tetapi masih dibawah kekuatan standar piston original. Tujuan riset menganalisa pengaruh ketebalan lapisan thermal barrier ceramic pada piston komposit terhadap kekuatan rekat dan konduktivitas thermal lapisan. Manfaatnya meningkatkan kekuatan mekanik, dan performa mesin atau penghematan bahan bakar. Variabel penelitian dengan memvariasi komposisi campuran material piston, jumlah pelapisan 3, 4 dan 5 kali dan jarak tembak pelapisan. Material lapisan dari zirconia atau zirconium dioksida untuk ukuran butir 20 μm . Hasilnya komposisi campuran piston komposit yang terbaik dimiliki oleh kode P3 dengan jumlah lapisan 5 kali, jarak tembak 8 cm, dan ukuran butir 20 μm dengan memiliki kekerasan 77,29 HRV dan keausan 1,50E-03 mm²/Kg. Pengujian penghematan bahan bakar pada piston komposit kode P3 mampu menghemat bahan bakar 4,36% dengan putaran mesin 2000 rpm bila dibandingkan dengan piston original.

Kata kunci: lapisan, komposit, piston, spray, barrier thermal.

1. PENADAHULUAN

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 membuat 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 penggantian 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), proses metalurgi serbuk (Toto., 2009), dan pengecoran *squeeze casting* (Shoujiang, 2007). Proses pengecoran *squeeze casting* memiliki banyak kelebihan dibandingkan pengecoran lainya. 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).

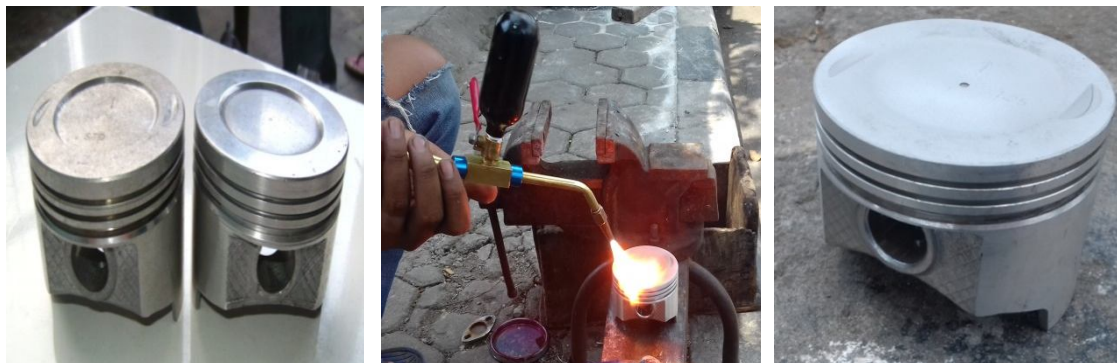
Komposit matrik aluminium (AMCs) banyak digunakan dalam pembuatan piston. Kurzawa (2008), membuat piston AMCs dengan perbandingan 80% Al-Si dan 20% SiC menggunakan metode *squeeze casting*. Diameter partikel SiC 1,8 μm , penekanan 100 ton dan kecepatan penekanan 5 m/s. Hasilnya porositas 2%, kekerasan meningkat 200% dan permukaan halus. Kelemahannya kurang tangguh, oksidasi, korosi dan muai besar. Limbah 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 (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% Mg pada tekanan *squeeze casting* 800 Mpa. Hasilnya kekerasan naik 20%, interface sempurna, dan keausan rendah. Tetapi memiliki kelemahan pada ketangguhan, ketahanan panas, korosi, abrasi dan pemuaian besar. Meningkatkan ketangguhan, ketahanan panas, korosi, abrasi, dan penurunan muai piston komposit, 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 penurunan muai, tetapi sifat mekanik ini masih dibawah standar piston original (Radimin, Abdillah F, dan Joko Suwignyo, 2015).

Telah banyak penelitian untuk peningkatan ketangguhan, ketahanan panas, korosi, abrasi, dan penurunan muai pada piston komposit. A.J Helmisyah et.al (2011) melakukan *thermal barrier coating* pada kepala piston menggunakan *spray thermal coating* dengan zirconia. 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.

2. 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 dengan *flame spray blander* menggunakan material keramik serbuk zirconia yang dilapiskan pada kepala piston. Sebelum dilakukan coating kepala piston di *sand blasting* dengan ukuran butir 60 μm . kepala piston diukur kekasaran permukaan dengan *surface roughness tester* dengan kekasaran rata-rata Ra 50 μm . 8. Jarak nozzle *flame spray blander* dengan benda kerja 8-10 cm. Benda kerja sebelum *coating* dipanaskan dulu pada suhu 200°C dengan jumlah pelapisan 3-5 kali. Proses pelapisan permukaan piston dengan zirconia menggunakan *flame spray blander* diperlihatkan pada **Gambar 1**. Selanjutnya proses pembuatan specimen uji. Pengujian kekerasan piston komposit menggunakan vickershardness test dengan standar ASTM E 92. Pengujian keausan menggunakan standar ASTM G 99-04 metode Ogushi, dan pengujian penghematan bahan

bakar menggunakan mobil Daihatsu Hijet 67,9 x 117 mm, 4 silinder 2.1 liter dalam keadaan tidak berjalan.



Gambar 1. Proses pelapisan mahkota piston menggunakan *flamespray thermal coating*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

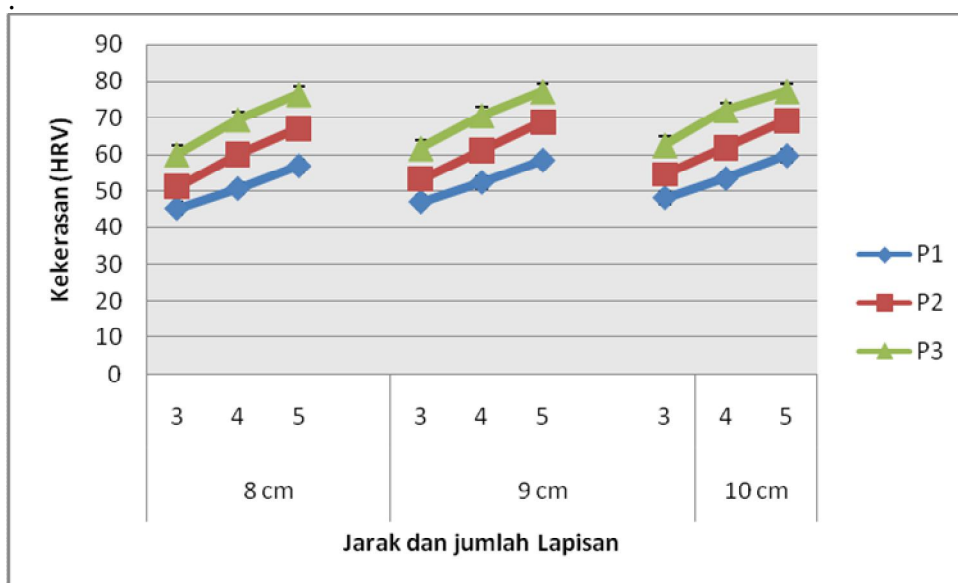
3.1 Pengujian Kekerasan

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

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

Kode Spesimen Piston Coating	Jarak coating (cm)	Jumlah Coating (lapisan)		
		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 pada lapisan thermal barrier coating pada mahkota permukaan material piston komposit dan semakin dekat jarak tembak dapat menutupi permukaan secara sempurna, rongga dan pori-pori kecil, sehingga meningkatkan kekerasan piston komposit. Semakin kecil jumlah lapisan dan jarak tembak lapisan semakin jauh untuk kekerasan menurun ini bisa diperlihatkan pada **Gambar 2**. Ini disebabkan jumlah 3, dan 4 lapisan belum menyuluruh menutupi permukaan piston komposit, tetapi dengan 5 lapisan untuk permukaan yang berongga dan berpori-pori dapat tertutupi penyebaran semprotan partikel-partikel butiran zirconia oxide dan menutup permukaan secara menyuluruh (Bo-Eun Park, et.al, 2017).



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

Jarak tembak semakin jauh untuk serbuk zirconia banyak yang tidak menempel dan menyebabkan terjadinya rongga dan pori-pori selain partikel butiran belum mampu menutupi, ada juga oksigen yang masuk kedalam lapisan sehingga membentuk rongga dan kerapatan antar partikel berkurang (D. Koch, G. Mauer, R. Vaben, 2017). Jumlah pelapisan semakin banyak membentuk kestabilan termomekanik lapisan protektif pada zirconium oxide. Ini dapat meningkatkan ketebalan lapisan dan pencegahan pembentukan void disepanjang interface lapisan zirconium oxide dan subtract piston komposit (Pei-Hu Gao, et.al, 2016). Untuk ketebalan lapisan dan kedalaman difusi antara material piston komposit dan zirconium oxide dapat dilihat dari uji Strukturmakro. Spesimen uji 4 lapisan untuk kedalaman difusi sangat kecil dan tidak merata yang diperlihatkan pada tanda panah, sedangkan ketebalan lapisan sebesar 215 μm . Untuk Spesimen uji 5 lapisan menunjukkan kedalam difusi dan ketebalan lapisan bertambah dibandingkan specimen uji 4 lapisan. Ketebalan lapisan untuk specimen uji 5 lapisan sebesar 233 μm . Hasil uji strukturmakro spesimen uji 6 lapisan memiliki kedalaman difusi cukup dalam dan ketebalan lapisan sebesar 254 μm . Kekerasan coating pada piston komposit pada variabel jumlah lapisan 5 kali, jarak tembak lapisan 8 cm, dan ukuran butir material coating 20 μm pada kode P3 memiliki kekerasan paling optimal yaitu 77,29 HRV.

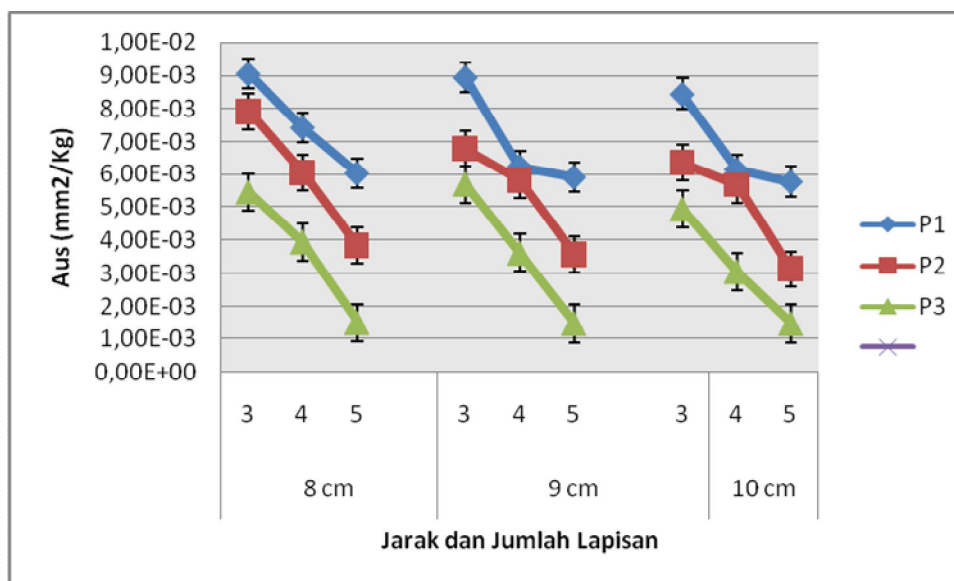
3.2 Pengujian Keausan

Mahkota piston setelah dicoating menggunakan *thermal spray coating* dengan material keramik serbuk zirconia dilakukan pengujian keausan. Pengujian menggunakan standar ASTM G 99-04 menggunakan metode Ogushi. Hasil uji aus spesimen piston setelah di *thermal barrier coating* ditampilkan pada **Tabel 2**. Pembebanan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang yang mengurangi permukaan benda uji. Besarnya jejak dijadikan penentu tingkat keausan suatu material.

Tabel 2. Hasil uji aus spesimen piston komposit thermal barrier coating

Komposisi material Piston Komposit (Tekanan 800 Mpa)	Jarak coating (cm)	Jumlah Lapisan		
		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	8,44E-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 uji keausan berbanding lurus dengan pengujian kekerasan, semakin keras dari material piston komposit, maka keausan semakin kecil. Poristas dipengaruhi juga jarak tembak dan jumlah lapisan. Porositas paling kecil pada piston komposit jumlah lapisan 5 kali, jarak tembak coating 8 cm, dan ukuran butir material coating 20 µm dimiliki oleh kode P3. Hasil pengujian selaras dengan hasil pengujian kekerasan, kekuatan tarik, dan porositas. Kekerasan semakin tinggi untuk nilai keausan semakin rendah (Caliister, 2007). Nilai keausan paling rendah dimiliki oleh spesimen paling keras. Nilai keausan paling kecil pada spesimen P3 pada jumlah lapisan 5 kali, dan jarak tembak 8 cm sebesar 1,50E-03mm²/Kg. Keausan ini lebih kecil dari keausan piston original sebesar 1,50E-03 mm²/Kg, bagaimana diperlihatkan pada **Gambar 3**. Nilai keausan paling rendah dipengaruhi oleh komposisi campuran, jarak tembak, dan jumlah lapisan (Caliister Jr. W., 2007, C. E. Campbell, et.al, 2005).



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

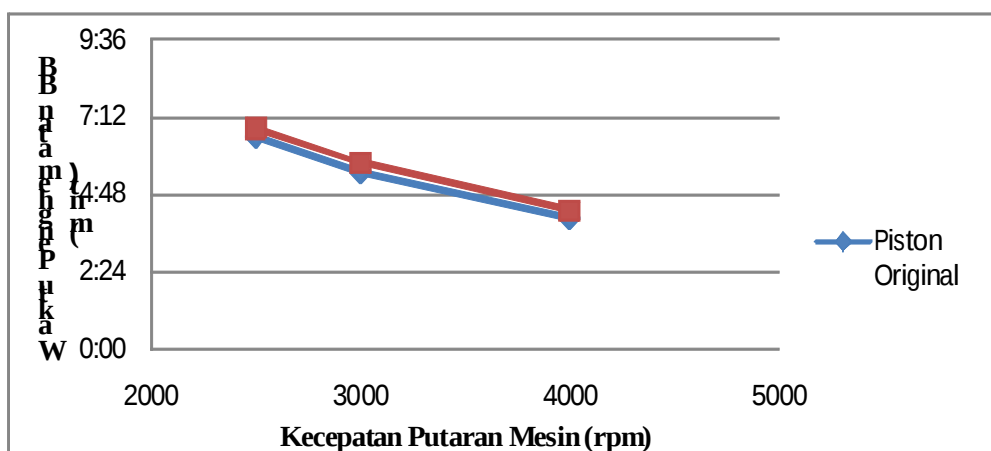
3.3 Pengujian Penghematan Bahan Bakar

Prototipe piston komposit hasil pengujian karakteristik dan mekanik sudah dilakukan. Hasil yang terbaik dimiliki oleh spesimen uji kode P3, jumlah lapisan 5 kali, jarak tembak 8 cm, dan ukuran butir 20 μm . 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 dicoating 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 coating waktu penghematan bahan bakar menjadi 6:52 menit atau mengalami kenaikan 18 detik (4,36%).

Tabel 3. Hasil pengujian waktu penghematan bahan bakar

Kecepatan Mesin (rpm)	Waktu Penghematan BB (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 performa kinerja mesin turun. Waktu penghematan bahan pada piston original yaitu 5:29 menit, sedangkan piston komposit 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 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 menghalangi panas akibat pembakaran di mesin. Temperatur mesin turun dapat mengurangi detonasi sebelum piston naik sampai TMA (Arismunandar, 2005).



Gambar 4. Waktu penghematan bahan bakar pada piston

4. KESIMPULAN

1. Komposisi campuran piston komposit yang terbaik dimiliki oleh kode P3 dengan jumlah lapisan 5 kali, jarak tembak 8 cm, dan ukuran butir 20 μm dengan memiliki kekerasan 77,29 HRV dan keausan $1,50\text{E-}03 \text{ mm}^2/\text{Kg}$.
2. Pengujian 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.
- 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,
- 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.
- 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 PH., 2012., Inovasi Pembuatan Prototipe Piston dari Material Piston Bekas dengan Penambahan Insert Besi Cor Pada Alur Ring kompresi., Gardan., ISSN 34-365., hal 23-30.
- Radimin, Abdillah F, dan Joko Suwignyo, 2014, Pengaruh perlakuan panas Piston Komposit DenMenggunakan 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
- 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.
- .