

## Pelapisan FeCrMnNiCSi pada Grey Cast Iron FC 25 Variabel Tekanan Gas pada Metode Thermal Arc Spray

### *FeCrMnNiCSi Coating on Grey Cast Iron FC 25 Variable Gas Pressure on Thermal Arc Spray Method*

Hariyati Purwaningsih\*, Rifqi Tanyo Putra, Slamet Raharjo, Agung Purniawan, Rochman Rochiem

Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS

\*E-mail: hariyati@mat-eng.its.ac.id

#### ABSTRACT

One of the important components of motor fuel engine is cylinder liner. There is a compression and friction combustion process with a piston that produces mechanical energy in cylinder liner. This process introduced several problems that often arise, such as wear reducing because the piston is moving back and forth continuously causing gas leakage so that compression pressure is reduced. To prevent such damage it is necessary to coat the metal with other material that has better wear resistance. This study used FeCrMnNiCSi coating material deposited on Gray cast iron FC 25 by thermal arc spray method to analyze the influence of pressure air variation on morphology and mechanical properties. SEM analysis showed that the higher pressure on the coating process results smaller particles thereby decreasing the porosity. Roughness testing also showed a decrease in the higher pressure, at a pressure of 6 bar of 127.333  $\mu\text{m}$ . Microhardness showed that the 6 bar pressure indicating hardness was 639.8 HV. At 6 bar pressure also obtained the highest abrasion resistance value is 29.66 rotation / mg. The value of adhesion strength in the 4 bar pressure variables shows the optimum value compared with other pressure variations of 15.02 MPa.

**Keywords:** cylinder liner, thermal arc-spray, pressure ambient

#### PENDAHULUAN

Mesin bakar dengan menggunakan bensin masih menjadi pilihan utama untuk digunakan pada kendaraan. Menurut AISI (Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia) jumlah sepeda motor yang terjual pada tahun 2016 adalah sebesar 5,931,585 unit. Pada dasarnya mesin motor mengubah energi kimia menjadi panas hasil pembakaran bahan bakar. Panas yang timbul dipergunakan untuk menggerakkan kendaraan (Borsoum, 2003). Proses perubahan energi yang terdapat pada motor bakar terjadi di dalam blok mesin yang terdiri dari kepala silinder (*cylinder head*), blok silinder mesin (*cylinder block*), silinder liner dan bak engkol mesin (*crankcase*) yang merupakan inti bagi kendaraan bermotor roda dua. Material yang sering digunakan untuk silinder liner adalah besi cor kelabu (Borsoum, 2003).

Pada penggunaannya silinder liner seringkali dilakukan reparasi karena terjadi keausan maupun modifikasi untuk mendapatkan kompresi yang lebih besar sehingga menghasilkan energi output yang lebih besar dengan memperbesar diameter

silinder liner. Namun memperbesar diameter silinder liner dapat memperbesar potensi untuk mengalami kerusakan karena ketebalan dari silinder liner yang semakin berkurang/menipis. Hal tersebut juga dapat memperbesar terjadinya keausan pada dinding silinder liner bagian dalam. Hal ini akan menimbulkan penambahan kelonggaran antara torak dan silinder, sehingga dapat menyebabkan kebocoran gas, tekanan kompresi berkurang dan tenaga yang dihasilkan juga berkurang, yang juga menyebabkan umur pakai menjadi berkurang. Agar keausan silinder tidak terlalu banyak maka diupayakan bahan yang digunakan memiliki sifat tahanan aus dan juga tahan terhadap panas (Daniel dan Besenhard, 2011). Dilihat dari data jumlah sepeda motor yang besar maka kemungkinan kebutuhan akan perbaikan silinder liner yang terjadi juga akan semakin meningkat.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut perlu adanya tindakan untuk memperbaiki sifat mekanik pada silinder liner salah satunya yaitu dengan melakukan pelapisan. Material pelapis menggunakan material dengan propertis yang lebih baik. Iron chrome mangan nikel silikon

carbide (Metcoloy 2), memiliki *properties wear resistance* yang sangat baik dan tahan akan temperatur tinggi, yang sesuai untuk mengatasi permasalahan ini. Metode yang digunakan dalam proses pelapisan ini menggunakan *thermal arc spray*. Proses *thermal arc spray* adalah salah satu metode yang baik karena telah banyak berbagai bahan pelapis dan substrat dapat diterapkan. Pada saat proses pelapisan berlangsung perlu diberikan tekanan gas yang sesuai agar menghasilkan pelapisan optimal.

*Thermal spray coating* digunakan untuk melindungi komponen dari berbagai jenis aplikasi *wear* dan korosi. Saat ini bidang penerapan *thermal spray* meliputi; industri minyak untuk melindungi permukaan komponen terhadap lingkungan yang tidak bersahabat dan Industri otomotif (Fernandes, *et al*, 2015). Pelapisan *wire arc spray* secara prinsip tersusun dari lelehan kawat yang didorong oleh gas bertekanan tinggi menuju substrat. Pada saat droplet diberi tekanan menuju substrat terjadi kohesi antar percikan droplet yang dapat mempengaruhi *properties* dari pelapisan (Ghosh dan Bhattacharjee, 2013).

Dalam penelitian ini *wire arc spray* digunakan untuk mendeposisi FeCrMnNiSiC dengan variasi tekanan. Selanjutnya untuk membuktikan hasil dari pelapisan FeCrMnNiSiC pada material silinder liner yaitu, besi cor kelabu FC25. Maka perlu dilakukan pengujian dan pengamatan hasil dari pelapisan dengan variasi tekanan pada proses, yang mana variabel tersebut dapat berpengaruh pada morfologi dan sifat mekanik pada hasil pelapisan.

### METODE

Pada proses pelapisan, menggunakan parameter feedstock material, jarak *nozzle*, sudut *nozzle*, arus listrik, dan voltase yang tetap dengan variasi tekanan gas, sebagai berikut:

1. Feedstock material: FeCrMnNiCSi (Metcoloy2)
2. Tekanan gas : 3 bar , 4 bar, 5 bar dan 6 bar
3. Jarak *nozzle* : 200 mm
4. Sudut *nozzle* : 90°
5. Arus listrik : 145 Ampere
6. Voltase : 26,7 Volts

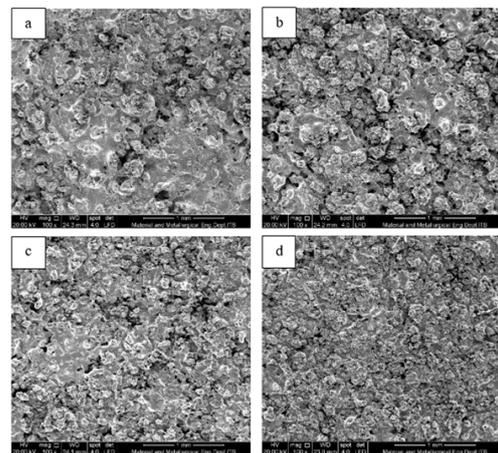
Proses *wire arc spray* menggunakan 2 *wire* satu di sebelah kiri dan yang lain di sebelah kanan, *wire* FeCrMnNiCSi pertama dialiri oleh arus positif, sedangkan FeCrMnNiCSi *wire* kedua dialiri oleh arus negatif, yang menyebabkan kedua *wire* tersebut menimbulkan percikan dan melelehkan

FeCrMnNiCSi di dalam *spray gun*. Setelah itu, lelehan FeCrMnNiCSi diberikan udara bertekanan yang mengakibatkan percikan (*splats*) FeCrMnNiCSi terlempar dari *spray gun* dan terdeposisi di permukaan substrat baja FC25. Tekanan gas yang digunakan bervariasi yaitu 3 bar, 4 bar, 5 bar dan 6 bar.

Kemudian dilakukan pengujian SEM dengan peralatan SEM FEI S50, pengujian difraksi sinar-x PAN *analytical* untuk mengetahui struktur kristal dan fase-fase yang terbentuk setelah melalui proses pembuatan sampel uji. Pengujian *Adhesi Coating* untuk menganalisis kekuatan adhesi antara *coating* dengan substrat perlu melakukan pengujian *Pull Off Bonding* yang dilakukan dengan menggunakan alat PosiTest AT-M *Adhesion Tester* dengan standar ASTM D-4541. Pengujian *Surface Roughness Test* dilakukan untuk mengetahui nilai kekasaran permukaan sampel yang telah di-*coating*.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

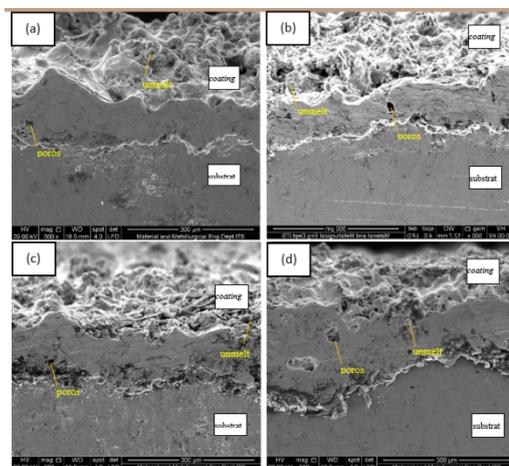
Pada Gambar 1 terlihat hasil pengamatan SEM permukaan lapisan *coating* perbesaran 100x. Dengan variasi tekanan udara (a) 3 bar (b) 4 bar (c) 5 bar (d) 6 bar pada *nozzle*. Peningkatan tekanan gas menunjukkan struktur permukaan yang semakin halus dengan ukuran partikel semakin kecil dan persebaran yang merata. Ukuran partikel yang semakin kecil mampu mengisi celah antara material *coating* sehingga menghasilkan struktur permukaan yang rapat dan ukuran porositas yang lebih kecil.



Gambar 1. Hasil pengamatan SEM permukaan lapisan *coating* perbesaran 100x. Dengan variasi tekanan udara (a) 3 bar (b) 4 bar (c) 5 bar (d) 6 bar pada *nozzle*

Hal tersebut menunjukkan bahwa peningkatan tekanan gas pada proses *coating* berpengaruh pada struktur permukaan lapisan.

Tetes cairan material *coating* yang dihasilkan akan semakin mengecil seiring dengan peningkatan tekanan udara. Tekanan udara yang semakin tinggi dapat meningkatkan kecepatan udara dan kekuatan hantaman udara pada droplet. Droplet dari material *coating* dipecah oleh kecepatan dan kekuatan hantaman dari udara. Semakin tinggi tekanan udara yang digunakan maka droplet yang terpecah akan semakin kecil sehingga menghasilkan struktur yang semakin halus. Hal tersebut sesuai dengan pengujian yang telah dilakukan oleh Guin dan Tietz (2015).



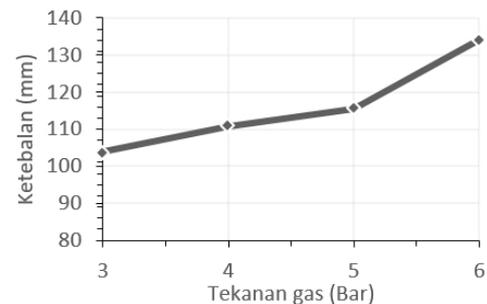
Gambar 2. Hasil uji SEM cross-section area perbesaran 500 kali (a) 3 bar (b) 4 bar (c) 5 bar (d) 6 bar

Hasil SEM morfologi bagian penampang melintang lapisan *coating* ditunjukkan pada Gambar 2 untuk setiap variabel sampel dengan perbesaran 500x. Pada penampang melintang dapat dilihat morfologi bagian batas (*interface*) dengan material substrat dan material *coating*. Dapat dilihat pada bagian *interface* pada sampel tidak terlihat merata, hal ini dipengaruhi oleh material *coating* yang ditembakkan meleleh hingga pada bagian samping substrat saat proses *spraying*. Gambar 2 juga menunjukkan pelapisan material *coating* hasil dari proses *thermal spray* tersusun atas layer yang terbentuk dari partikel

melt, partikel semi-melt, dan partikel unmelt (Goodenough *et al*, 1976).

Pada Gambar 2 (d) tekanan 6 bar memiliki struktur permukaan yang serupa dengan tekanan 5 bar namun perbedaan ketebalan terlihat jelas. Pengukuran ketebalan menggunakan hasil SEM menunjukkan nilai sebesar 134,07  $\mu\text{m}$ .

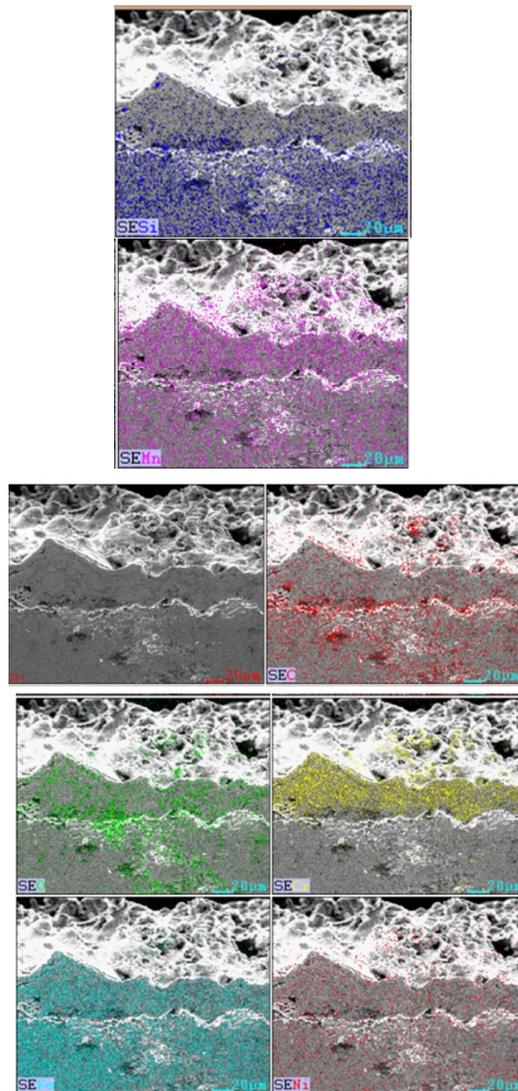
Perbedaan ketebalan hasil pengukuran pada setiap sampel ditunjukkan pada Gambar 3 menunjukkan pola grafik yang meningkat. Nilai ketebalan yang semakin tinggi dapat diakibatkan oleh tekanan udara pada *nozzle* yang semakin tinggi sehingga memberikan dorongan kepada droplet yang semakin cepat yang menyebabkan material *coating* yang terdorong menuju substrat akan semakin banyak (Honma *et al*, 2015).



Gambar 3. Grafik hasil pengukuran ketebalan menggunakan hasil SEM.

### Pengujian EDS (Energy Dispesion Spectroscopy)

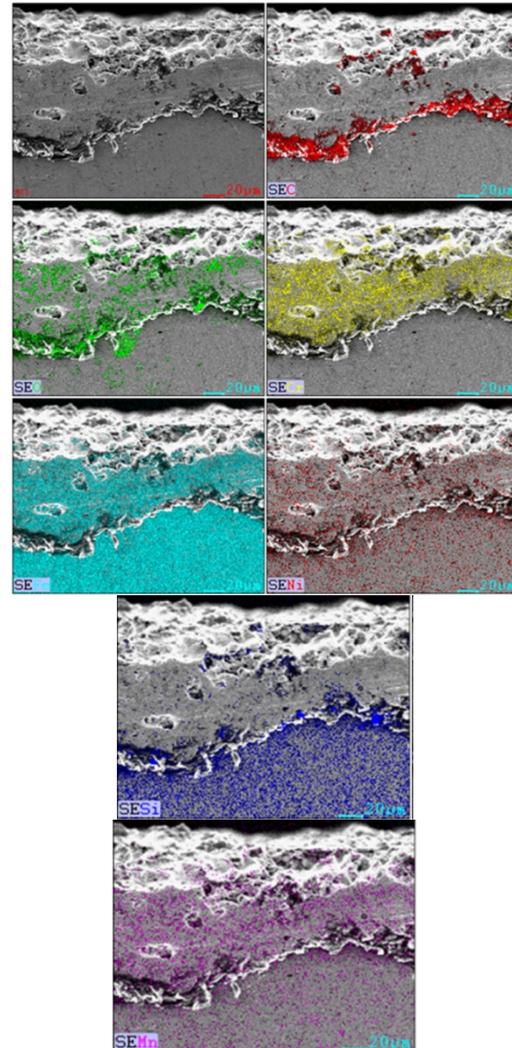
Pada hasil uji SEM/EDS, dapat diketahui unsur-unsur yang terbentuk pada *coating* adalah C, O, Si, Cr, Mn, Fe, dan Ni. Pada Gambar 4. menunjukkan persebaran unsur-unsur dari material *coating* dari hasil pelapisan dengan tekanan gas 3 bar. Terlihat unsur Fe, Ni, Si dan Mn yang memiliki persebaran merata pada material substrat maupun material *coating* dikarenakan terdapat unsur yang serupa pada kedua material tersebut. Persebaran secara merata unsur Cr terdapat pada material *coating*. Unsur C dan O memiliki persebaran terlihat tipis pada material *coating* dan sedikit berkoloni pada daerah *interface*.



Gambar 4. Persebaran unsur material *coating* pada tekanan gas 3 bar

Pada Gambar 5 menunjukkan persebaran unsur-unsur dari material *coating* dari hasil pelapisan dengan tekanan gas 6 bar. Persebaran unsur C dan O terlihat membentuk koloni yang lebih tebal pada area *interface* dan pada permukaan *coating* merata pada material *coating* namun koloni yang terbentuk sedikit lebih tebal pada daerah *interface*. Persebaran unsur C dan O pada setiap peningkatan tekanan gas membentuk koloni yang semakin tebal pada area *interface* maupun permukaan

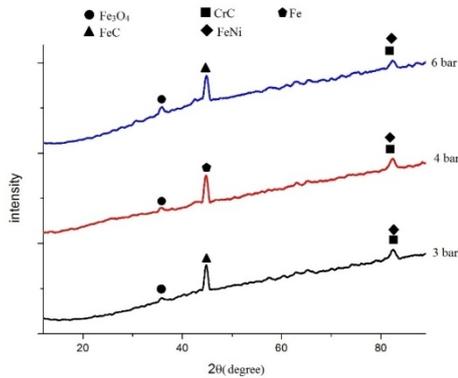
*coating*. Unsur tersebut juga menunjukkan overlap dengan unsur lain seperti Cr dan Fe. Selain itu terdapat unsur Ni yang mengalami overlap dengan unsur Fe.



Gambar 5. Persebaran unsur material *coating* pada tekanan gas 6 bar

#### Pengujian Difraksi Sinar X

Pengujian dilakukan pada sampel hasil *coating* dengan tekanan udara 3 bar, 4 bar dan 6 bar. Hasil ditunjukkan pada Gambar 6. Grafik yang dihasilkan pada setiap sampel tidak mengalami perubahan yang signifikan. Adanya *peak* yang timbul mengindikasikan bahwa terbentuk senyawa-senyawa baru hasil *coating* dengan variasi tekanan udara.



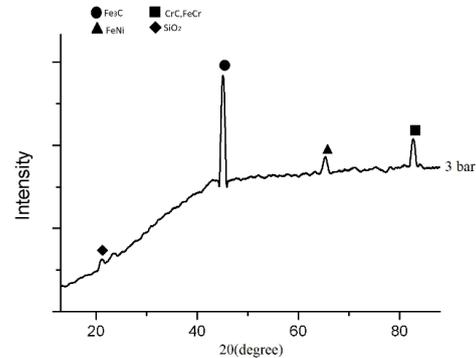
Gambar 6. Hasil uji XRD permukaan material *coating* FeCrMnNiCS variasi tekanan udara pada proses *coating*

Hasil analisis pada Gambar 6 menunjukkan pada tekanan udara 3 bar *peak* dengan intensitas tertinggi membentuk senyawa *iron carbide* (FeC) dengan sudut  $2\theta$  sebesar  $44,917^\circ$  sesuai dengan JCPDS no.01-0743848. Pada variasi ini juga terbentuk senyawa *chrom carbide* (CrC) dan iron nickel (FeNi) dengan intensitas sebesar 44,29% dengan sudut  $2\theta$  sebesar  $82,352^\circ$  dengan kartu JCPDS no.00-011-0550 dan no.00-003-1049.

Pada intensitas yang lebih rendah sebesar 13,34% hasil *coating* membentuk senyawa *iron oxide* (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) dengan sudut  $2\theta$  sebesar  $35,785^\circ$  dengan kartu JCPDS no.01-071-6339. Terbentuknya senyawa *iron oxide* (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) disebabkan material *coating* yang bereaksi dengan udara yang digunakan pada proses pelapisan maupun dari lingkungan udara saat proses berlangsung. Pada tekanan gas yang lebih tinggi tidak menyebabkan perubahan senyawa.

Hasil analisis penampang lintang variasi tekanan udara 3 bar pada Gambar 7 menunjukkan pada tekanan udara 3 bar *peak* dengan intensitas tertinggi membentuk senyawa *iron carbide* (Fe<sub>3</sub>C) dengan sudut  $2\theta$  sebesar  $45,068^\circ$  sesuai dengan JCPDS no. 00-003-1056. Pada variasi ini juga terbentuk senyawa *chrom carbide* (CrC) dan *iron chrome* (FeCr) dengan intensitas sebesar 21,86% dengan sudut  $2\theta$  sebesar  $82,697^\circ$  dengan kartu JCPDS no.00-005-0707 dan no.00-014-0519. Pada intensitas yang lebih rendah sebesar 9,95% hasil *coating* membentuk senyawa *iron nickel* (FeNi) dengan

sudut  $2\theta$  sebesar  $65,186^\circ$  dengan kartu JCPDS no.01-003-1049. Pada intensitas 5,76% senyawa yang terbentuk adalah *silicon oxide* (SiO<sub>2</sub>) dengan sudut  $20,796^\circ$  dengan kartu JCPDS no.00-014-0260.

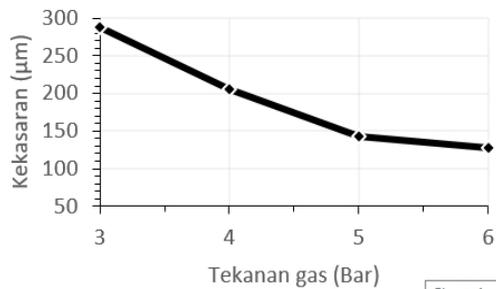


Gambar 7. Hasil uji XRD penampang lintang material *coating* FeCrMnNiCS variasi tekanan udara 3 bar pada proses *coating*

Pembentukan senyawa yang terjadi dapat ditinjau dari pengujian EDS *mapping* yang telah dilakukan sebelumnya ditunjukkan pada Gambar 4 terlihat persebaran unsur-unsur yang mengalami overlap sehingga terjadi ikatan antar unsur dan membentuk senyawa yang ditunjukkan oleh hasil pengujian XRD pada Gambar 7.

**Pengujian Kekasaran Permukaan Coating**

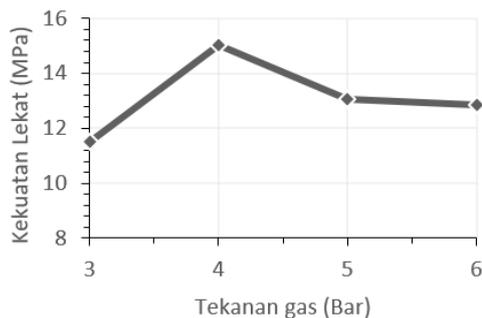
Gambar 8 menunjukkan grafik hasil pengujian kekasaran pada permukaan hasil *coating* terhadap tekanan udara pada *nozzle*. Grafik menunjukkan penurunan nilai kekasaran pada tekanan udara pada *nozzle* yang semakin besar. Nilai kekasaran terendah diperoleh pada sampel dengan tekanan udara 6 bar dengan nilai sebesar  $127,333 \mu\text{m}$ . Peningkatan tekanan menyebabkan permukaan lapisan *coating* lebih halus terbukti pada hasil uji mikrografi terlihat pada Gambar 1 (d) tampak partikel material coat lebih kecil dan tersebar. Nilai kekasaran menjadi faktor penting dan permukaan yang lebih halus memiliki hubungan yang linear dengan rendahnya koefisien gesek yang akan berpengaruh terhadap ketahanan abrasi dari lapisan *coating* (Goodenough *et al*, 1976).



Gambar 8. Grafik uji kekasaran terhadap tekanan udara pada *nozzle*.

#### Pengujian Kekuatan Lekat

Gambar 9 menunjukkan grafik hasil kekuatan lekat *coating* pada masing-masing spesimen lekat terhadap variabel udara bertekanan. Dari hasil pengujian didapatkan nilai kekuatan lekat yang paling rendah terdapat pada tekanan udara 3 bar dengan nilai 11,496 Mpa. Kekuatan *adhesive* paling tinggi terjadi pada tekanan udara 4 bar dengan nilai 15,026 Mpa.



Gambar 9. Grafik kekuatan adhesi terhadap variasi tekanan udara

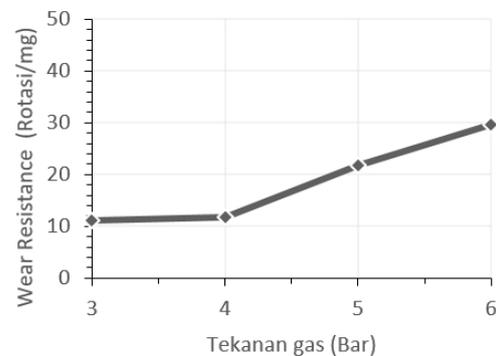
Hal ini dapat dipengaruhi oleh senyawa oksida yang terbentuk dimana semakin rendah oksida yang terbentuk akan meningkatkan kekuatan lekat dari material *coating* (Kim *et al*, 2015). Pada tekanan 4 bar dengan tekanan gas yang lebih tinggi waktu yang ditempuh oleh *molten droplet* akan semakin singkat sehingga kemungkinan unsur oksigen untuk bereaksi akan semakin kecil (Honma *et al*, 2015).

Di sisi lain pada tekanan gas yang semakin tinggi memberikan kekuatan hantaman pada *molten droplet* yang semakin besar sehingga memecah *droplet* yang semakin kecil. *Droplet* yang semakin kecil memberikan luas area yang semakin besar sehingga area yang bereaksi dengan oksigen semakin banyak dan memperbesar kemungkinan terbentuknya oksida sehingga diperoleh nilai kekuatan lekat

optimum terdapat pada tekanan 4 bar.

#### Pengujian Abrasif

Permukaan lapisan *coating* diekspose pada kertas *abrasive grade* 240 dengan diameter 120 mm kemudian diberikan beban sebesar 0,98 Kg. Pada Gambar 10 terlihat grafik yang menunjukkan perubahan nilai ketahanan aus. Setelah melakukan perhitungan, hasil menunjukkan nilai ketahanan aus yang semakin meningkat. Nilai ketahanan aus terus meningkat hingga pada tekanan udara 6 bar dengan nilai ketahanan aus sebesar 29,66 (rotasi/mg).



Gambar 10. Grafik nilai ketahanan aus terhadap variasi tekanan udara

Peningkatan ketahanan aus yang terjadi ini dapat diakibatkan oleh tingkat kekasaran material hasil *coating*. Permukaan yang kasar dan tidak merata menyebabkan gesekan yang lebih besar sehingga lebih banyak material *coating* yang tereduksi.

#### KESIMPULAN

Peningkatan tekanan gas pada proses pelapisan menghasilkan partikel yang semakin kecil sehingga porositas semakin menurun. Peningkatan tekanan gas menghasilkan kekasaran permukaan yang semakin kecil/halus. Nilai kekasaran pada tekanan 3 bar sebesar 287,333(µm) dan pada tekanan 6 bar sebesar 127,333(µm). Nilai pengujian *pull off* optimum terdapat pada tekanan 4 bar dengan nilai sebesar 15,026 (µm). Peningkatan tekanan gas dapat meningkatkan ketahanan abrasi dengan tekanan tertinggi 6 bar memiliki nilai sebesar 29,66 (rotasi/mg).

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Hibah Pengabdian Masyarakat Reguler Dana Non PNBP ITS Tahun Anggaran 2017 Nomor : 1005/PKS/ITS/2017.

## DAFTAR PUSTAKA

- Borsoum, MW. 2003. *Fundamental of Ceramics*. IOP Publishing: Bristol & Philadelphia
- Daniel, C. & J. O. Besenhard. 2011. *Handbook of Batteries*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co KGaA : Germany
- Fernandes, IJ, D. Calheiro, A.G. Kieling, C.A.M. Moraes, T.L.A.C. Rocha, F.A. Brehm, & R.C.E. Modolo. 2016. Characterization of rice husk ash produced using different biomass combustion techniques for energy. *Journal of Fuel*. 165: 351–359
- Ghosh, R & S. Bhattacharjee. 2013. A Review Study on Precipitated Silica and Activated Carbon from Rice Husk. *Chemical Engineering & Process Technology*
- Goodenough, J.B., H.Y-P.Hong & J.A.Kafalas, 1976. *Fast Ion Na<sup>+</sup> - Ion Transport In Skeleton Structure*. Massachusetts Institute of Technology, Pergamon Press: USA.
- Guin, M. & F. Tietz. 2015. Survey of the transport properties of sodium superionic conductor materials for use in sodium batteries. *Journal of Power Sources* 273: 1056-1064
- Honma, T., Masayoshi O., Takuya T., Noriko I., Kenji S., & Takayuki K. 2015. Electrical conductivity of Na<sub>2</sub>O–Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>–P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> glass and fabrication of glass–ceramic composites with NASICON type Na<sub>3</sub>Zr<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>PO<sub>12</sub>. *Solid State Ionics* 269: 19–23
- Kim, J., Seung H.J, Sai B., Alexis E., & Sang O.K. 2015. Low temperature performance of sodium–nickel chloride batteries with NaSICON solid electrolyte. *Journal of Electroanalytical Chemistry*.

