

KETAHANAN AUS LAPISAN Ni-Cr PADA DINDING SILINDER LINER DENGAN MENGGUNAKAN POWDER FLAME SPRAY COATING

I Wayan Gede Arthana^{1)*}, I Made Widiyarta²⁾ dan Ngakan Putu Gede Suardana²⁾

^{1, 2 & 3.)} Jurusan Teknik mesin, Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362

Email: gedearthana@gmail.com , m_widiyarta@yahoo.com

Abstrak: Piston yang bergerak bolak-balik mengakibatkan keausan pada dinding *cylinder 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. Agar keausan silinder tidak terlalu banyak maka diupayakan bahan yang digunakan tahan aus dan juga tahan terhadap panas. Akan tetapi penggunaan bahan yang tahan aus serta tahan panas akan mengakibatkan biaya produksi akan semakin meningkat. Teknologi pelapisan material telah menjadi perhatian besar di lingkungan penelitian dan industri dikarenakan merupakan cara yang efektif dan secara ekonomis lebih murah dalam menahan degradasi seperti keausan, oksidasi, korosi, atau kerusakan pada suhu tinggi tanpa mengorbankan material *sampel* yang dilapisinya. Oleh karena itu penelitian ini dikaji pengaruh lapisan Ni-Cr menggunakan *Powder flame spray coating* terhadap kekerasan dan ketahanan aus dinding silinder liner menggunakan teknik XRF, mikroskop optik, SEM, uji kekerasan dan keausan. Dari hasil observasi menunjukkan bahwa setelah dilakukan pelapisan dengan teknik *powder flame spray coating* menggunakan bahan pelapis Ni-Cr menghasilkan kekerasan permukaan yang cukup signifikan yaitu sebesar 536 HV dan 206 HV tanpa pelapisan. Perbedaan ketebalan lapisan tidak mempengaruhi dari nilai kekerasan pada permukaan benda uji. Distribusi kekerasan pada posisi *cross-section* hasil pelapisan menunjukkan kekerasan rata-rata sebesar 536 HV. Volume keausan benda uji yang dilapisan menunjukkan nilai sebesar $12,04 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$ dibandingkan dengan tanpa pelapisan sebesar $67,5 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$. Benda uji yang memiliki kekerasan lebih tinggi menunjukkan nilai Coefficient of Friction yang lebih rendah.

Kata kunci : Powder Flame Spray Coating, Keausan, Ni-Cr

Abstract: Piston that moves back and forth resulting in wear and tear on the inner wall of the cylinder liner, this will cause additional clearances between the piston and the cylinder, which can cause gas leaks, compression pressure is reduced and the energy produced is also reduced. So that the cylinder wear is not too much then sought custody of the materials used are also resistant to wear and heat. However, the use of materials that resist wear and heat resistance will result in the cost of production will increase. Material coating technology has become a major concern in the environment due to industrial research and is an effective and economically cheaper to resist degradation such as wear, oxidation, corrosion, or damage to high temperatures without sacrificing material overlaid samples. Therefore, this study examined the effect of Ni-Cr layer using Powder flame spray coating hardness and wear resistance of the cylinder liner walls using XRF techniques, optical microscopy, SEM, hardness and wear. From the observations shows that after coating with powder flame spray coating technique using Ni-Cr coating material produces significant surface hardness is equal to 536 HV and 206 HV without coating. The difference does not affect the thickness of the layer of hardness on the surface of the test specimen. Hardness distribution on the cross-section position coating results showed an average hardness of 536 HV. Volume wear superimposed specimen showed a value of $12,04 \times 10^{-2} \text{ mm}^3$ compared to no coating of $67,5 \times 10^{-2} \text{ mm}^3$. Specimens which have a higher hardness showed Coefficient of Friction values lower.

Keywords: Powder Flame Spray Coating, Wear, Ni-Cr

1. PENDAHULUAN

Cylinder liner adalah komponen mesin yang dipasang pada blok silinder yang berfungsi sebagai tempat piston dan ruang bakar pada mesin otomotif. Pada saat langkah kompresi dan pembakaran akan dihasilkan tekanan dan

temperatur gas yang tinggi, sehingga untuk mencegah kebocoran kompresi ini maka pada piston dipasang *ring piston* untuk memperkecil celah antara dinding *cylinder liner* dengan piston. Piston yang bergerak bolak-balik mengakibatkan keausan pada dinding *cylinder 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. Agar keausan silinder tidak terlalu banyak maka diupayakan bahan yang digunakan tahan aus dan juga tahan terhadap panas. Akan tetapi penggunaan bahan yang tahan aus serta tahan panas akan mengakibatkan biaya produksi akan semakin meningkat.

Besi cor kelabu merupakan material yang banyak digunakan pada komponen mesin terutama silinder liner. Besi cor kelabu banyak digunakan karena material ini mampu meredam getaran dan relatif murah [1]. Tetapi, besi cor kelabu memiliki kelemahan yaitu sifat mekanisnya yang rendah. Sifat mekanis dari besi cor kelabu dipengaruhi oleh laju pendinginan, perlakuan panas, perlakuan saat cair dan paduan unsurnya. Untuk meningkatkan sifat ketahanan ausnya kita dapat memberikan perlakuan terhadap permukaannya yaitu pelapisan menggunakan material yang lebih tahan terhadap keausan.

Pelapisan menggunakan *hard chrome coating* cocok untuk melapisi besi cor kelabu karena memiliki kemudahan dalam perawatan, namun karena toksisitas proses pelapisan, aplikasi tersebut cenderung dibatasi [2]. Salah satu metode pelapisan yang telah diterima dengan baik di kalangan industri adalah pelapisan berbasis *thermal spray coating* karena kemudahannya untuk diaplikasikan pada pelapisan material dalam skala besar dan merupakan teknologi yang ramah lingkungan. Dewasa ini, teknologi thermal spray telah digunakan secara intensif sebagai *thermal barrier coatings* untuk industri dirgantara (*aerospace*), komponen boiler serta komponen automotif. Thermal spray merupakan gabungan dari beberapa proses dimana prinsip kerjanya adalah suatu material (dalam bentuk *wire, rod* atau *powder*) dipanaskan oleh sumber panas (*flame* atau *arc*) setelah material meleleh langsung ditekankan oleh udara tekan sehingga menempel pada permukaan benda kerja membentuk lapisan baru [3]. Namun, ketahanan keausan harus dipertimbangkan ketika merancang pelapisan menggunakan bahan pelapis yang berbeda.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan menentukan pengaruh dari lapisan Ni-Cr dan ketebalan lapisan *thermal spray* terhadap kekerasan dan keausan Ni-Cr pada besi cor kelabu

2. METODE

Sampel dari silinder liner yaitu dari bahan besi cor kelabu dipotong menjadi ukuran 20 mm x 20 mm x 5 mm. Untuk mendapatkan permukaan yang rata dilakukan polishing sampel dengan melakukan grinding menggunakan kertas amplas

Silicon Carbon dengan grade 300, 500, 600, 1000. Untuk mengurangi panas yang ditimbulkan akibat gesekan dan perputaran alat tersebut maka dialirkan air. Kemudian dilanjutkan pembersihan dengan thinner bertujuan untuk membersihkan permukaan sampel dari kotoran, minyak atau produk korosi yaitu dengan menggunakan kain yang dicelupkan kedalam thinner dan kemudian menggosokkannya ke permukaan sampel. Setelah dilakukan pembersihan dilanjutkan dengan proses pengeringan sampel dengan mendekati nyala api berbahan bakar LPG selama 1 menit yang bertujuan untuk menghilangkan thinner yang masih tersisa pada sampel.

Dilanjutkan dengan *grit blasting* menggunakan *air sand blast* yang bertujuan untuk mengkasakan permukaan sampel dan menghilangkan sisa kotoran melalui penumbukan partikel abrasif yang disemprotkan dengan udara bertekanan. Material *grit blast* yang digunakan adalah Aluminium Oksida (Al_2O_3) berukuran 24 mesh. Untuk mengkondisikan sampel agar memiliki tingkat kekasaran permukaan yang sama, maka digunakan tekanan *grit blast* yang seragam yaitu 5 bar. Pengasaran permukaan dihentikan jika seluruh permukaan sampel (permukaan yang akan dilapisi) telah seutuhnya menjadi kasar (warna permukaan sampel berbeda dengan warna permukaan sampel sebelum di-*blasting*). Sampel yang telah dikasakan permukaannya selanjutnya dilakukan pemanasan awal (*preheating*) sampel dengan *flame spray torch* tanpa menggunakan serbuk pelapis, Pemanasan yang dilakukan sampai mencapai suhu $150^{\circ}C$. Kemudian dilakukan pelapisan benda uji dengan serbuk Ni-Cr dengan mengarahkan ujung gun membentuk sudut $\pm 90^{\circ}$ dengan parameter sebagai berikut :

Tabel 1. Parameter proses *Combustion flame spraying*

Spray parameter	Satuan
Bahan bakar	Oksigen & asittelin
Tekanan oksigen	4 Bar
Tekanan asittelin	0.7 Bar
Powder feeder	$\pm 32g/min$
Jarak spray	140 mm
Torch transverse speed	$\pm 5 mm/s$

Proses pelapisan dilakukan sebanyak 4 pass, 8 pass, dan 16 pass, untuk mendapatkan ketebalan lapisan yang berbeda-beda. Setelah proses spray maka benda uji dibiarkan mendingin dan dilepaskan dari penjepit. Karakteristik dari hasil pelapisan akan diamati menggunakan SEM.

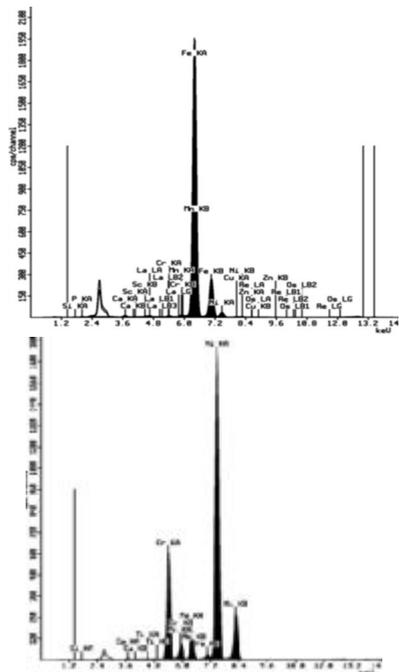
Pengujian kekerasan dilakukan pada permukaan sampel sebelum dilapisi dan yang telah dilapisi. Spesimen yang telah dilapisi sebelum

diuji kekerasan dilakukan pemotongan spesimen kemudian dilakukan mounting agar didapatkan nilai kekerasan pada bidang *cross section*. Sebelum dilakukan uji kekerasan dilakukan preparasi sampel yaitu polishing sampel dengan melakukan grinding menggunakan kertas amplas Silicon Carbon dengan grade 300, 500, 600, 1000, 1500. Untuk mengurangi panas yang ditimbulkan akibat gesekan dan perputaran alat tersebut maka dialirkan air. Selanjutnya proses polishing dilanjutkan dengan diamond paste ukuran 0,1 mikron. Pada proses polishing ini sampel dibuat sampai bebas goresan akibat proses grinding dan cacat lain, sehingga permukaan tampak seperti cermin lalu dicuci dengan air dan alcohol kemudian dilakukan pengujian kekerasan sesuai dengan metode kekerasan Vickers sesuai dengan standar ASTM E 92.

Pengujian keausan dilakukan dengan metode *linearly reciprocating ring on flat sliding wear* pada kondisi atmosfer $\pm 27^{\circ}\text{C}$ tanpa pelumasan menggunakan *reciprocating wear test* menggunakan *counter part* dari piston ring (*hard chrome plated steel*) D 52 mm dengan beban sebesar 25 N, sliding speed $0,004 \text{ ms}^{-1}$, track 100 m kelembaban udara 75 % stroke 10mm.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji X-Ray Fluorecense untuk silinder liner dengan bahan besi cor kelabu dan coating powder Ni-Cr ditunjukkan pada gambar 1. sebagai berikut :

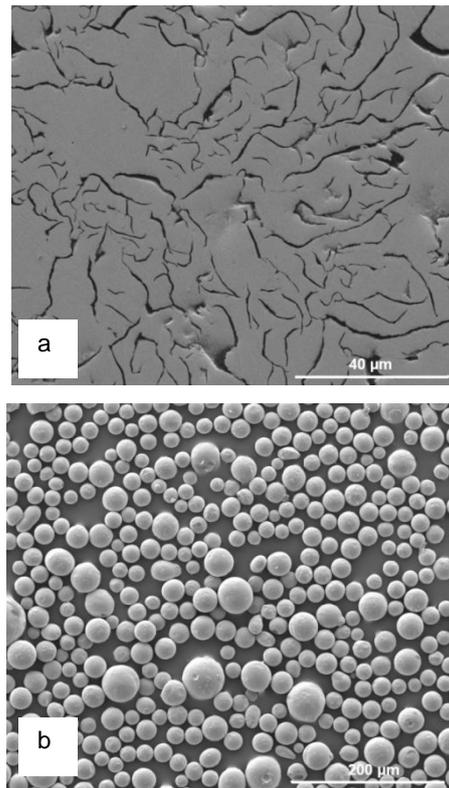


Gambar 1. Hasil uji XRF a. silinder liner b. *coating powder* Ni-Cr.

Tabel 2. Hasil uji XRF kandungan unsur kimia besi cor kelabu dan *coating powder*

Besi cor kelabu		<i>coating powder</i>	
Unsur	Wt (%)	Unsur	Wt (%)
Fe	93,21	Ni	78,68
Ni	2,97	Cr	14,1
Si	0,82	Fe	3,91
P	0,62	Y	3,2
Ca	0,61	Zr	1,9
Mn	0,44	Si	0,78
Cr	0,17	Mn	0,24
Re	0,2	Ca	0,15
La	0,2	Ti	0,058

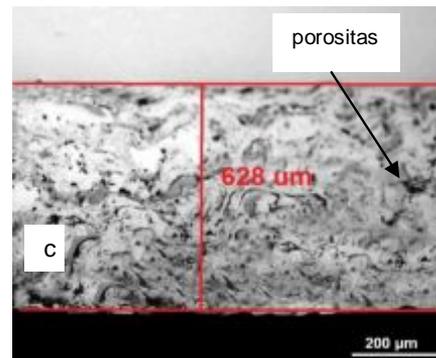
Hasil difraksi sinar X yang menggunakan X-Ray Fluorescence (*Pananalitical minipal IV*) base metal pada gambar 1 teridentifikasi hanya terdapat unsur Fe, Ni, dan sedikit unsur-unsur lain, sedangkan pada *coating powder* diperoleh dominan Ni, Cr, Si dan sedikit unsur-unsur lainnya.



Gambar 2. Scanning Electron Microscopy a. besi cor kelabu b. *coating powder* Ni-Cr

Hasil SEM pada gambar 2 memperlihatkan mikrostruktur dari besi cor kelabu yaitu sebagian besar dalam bentuk serpih, hal ini disebut besi cor kelabu, atau besi abu-abu, karena

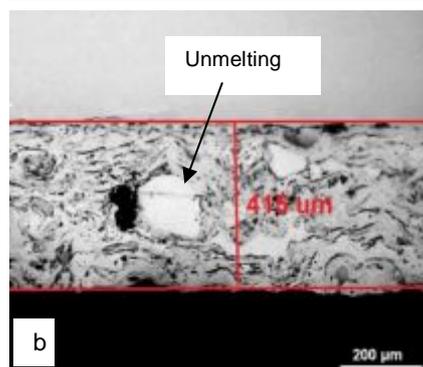
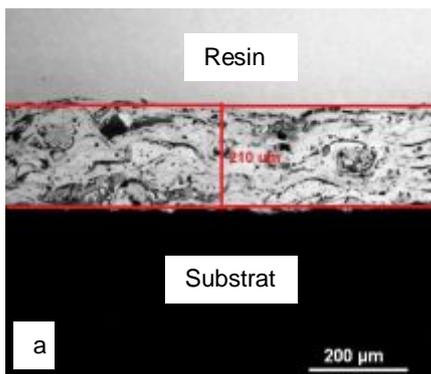
ketika rusak, jalur rekahan sepanjang grafit serpih memiliki tampilan abu-abu hitam. Garis-garis hitam pada gambar, merepresentasikan serpihan grafit, yang secara fisik akan memberikan kekuatan, makin halus dan makin merata serpihan grafit nya, makin kuat logamnya. Gambar mikrostruktur dari besi cor kelabu juga menunjukkan adanya porositas yang terjadi saat pengecoran. Porositas tersebut terjadi karena terjebaknya gas pada logam cair ketika logam cair tersebut membeku. Hasil SEM menunjukkan *coating powder* berbentuk *oblate spheroidal* dan *prolate spheroid* dengan ukuran partikel yang cukup kecil namun bervariasi yaitu antara 20 μm – 50 μm . Proses pembuatan *coating powder* ini adalah dengan metoda atomisasi gas. Atomisasi gas cenderung menghasilkan butiran dengan bentuk *oblate spheroidal* dan *prolate spheroid* serta tidak menghasilkan bentuk butiran yang tajam [4]. Semakin besar energi yang diberikan kepada logam cair maka akan dihasilkan serbuk yang lebih halus.



Gambar 3. Mikrostruktur hasil pelapisan a. ketebalan $\pm 200 \mu\text{m}$ b.ketebalan $\pm 400 \mu\text{m}$ c.ketebalan $\pm 600 \mu\text{m}$

Hasil pengamatan secara visual menunjukkan hasil coating pada permukaan substrat sedikit bergelombang dan tidak halus. Kondisi ini diakibatkan sebelum dilakukan pelapisan dengan proses *thermal spraying*, dilakukan *grit blasting* pada substrat guna mendapatkan daerah permukaan yang memungkinkan terjadi ikatan antara substrat dan material pelapis. Mikrostruktur hasil *coating* pada posisi *cross-section* menunjukkan hasil pelapisan terdiri dari banyak lapisan tipis, dalam posisi tumpang tindih, partikel dasarnya pipih, dan sering disebut "*splats*". Hal ini terjadi karena coating powder dalam keadaan *molten* menabrak substrat akan mengalami perubahan bentuk dari bulat menjadi pipih dan menonjol pada bagian tengahnya. Mikrostruktur juga tidak menunjukkan lapisan-lapisan tipis yang seragam, melainkan terdiri dari *splats* dan percikan-percikan dari *splats*. Partikel yang mengalami pemanasan berlebihan (*superheated*) pada saat menuju substrat dan didorong oleh energi kinetik akan mengalami pemecahan pada bagian luar partikel tersebut, dan berakibat terjadinya puing-puing sehingga menyebabkan bentuk dari lapisan tidak berupa *splats* yang seragam.

Porositas pada lapisan diakibatkan dari tidak penuhnya ruang yang diisi oleh material pelapis. Hal ini terjadi akibat *powder coating* tidak mengalami tekanan yang seragam menuju substrat, sehingga mengakibatkan bentuk dari *splats* tidak seragam dan tidak mampu mengisi ruang kosong yang ada dibawahnya. Untuk *hardfacing* atau ketahanan aus, porositas akan menurunkan kekerasan lapisan dan memberikan kontribusi hasil *finishing* permukaan yang kasar sehingga menurunkan ketahanan aus. Porositas dalam lapisan juga dapat menyebabkan generasi fragmen lapisan untuk melepaskan diri dan menjadi bagian yang abrasif, yang dapat meningkatkan laju



keausan pada lapisan. Tetapi di salah satu sisi porositas dapat sebagai penampung pelumas.

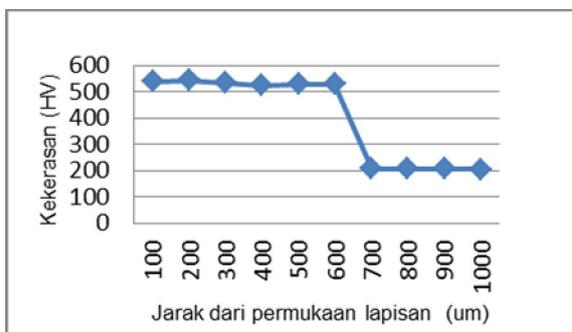
Partikel yang mengalami *superheating* pada saat berterbangan menuju substrat dan kembali membeku serta tidak terdeposit akan membentuk lapisan oksida di atasnya. Lapisan oksida terbentuk karena oksigen dari proses coating akan bereaksi dengan partikel. Kadar oksida yang tinggi dapat memberikan kekerasan yang lebih tinggi, tetapi di lain sisi kadar oksida yang berlebih menyebabkan kekuatan lekat akan berkurang.

Dalam lapisan *coating* ditemukan adanya *unmelted* partikel yang disebabkan pada saat proses pelapisan, *powder coating* tidak mendapatkan distribusi suhu yang seragam, yang mengakitnya adanya partikel yang tidak meleleh secara sempurna. *Unmelted* dapat juga terjadi karena ukuran partikel terlalu besar, sehingga partikel tidak dapat meleleh seutuhnya dan terjebak di dalam lapisan.

Tabel 3. Kekerasan hasil pelapisan

Sample	HV (kg/mm2)
Substrat Material tanpa pelapisan	±206
Ketebalan Lapisan 200 µm	±537
Ketebalan Lapisan 400 µm	±538
Ketebalan Lapisan 600 µm	±536

Kekerasan pada setiap lapisan dengan ketebalan yang berbeda-beda menunjukkan perbedaan hasil yang tidak signifikan terhadap nilai kekerasan. Hal ini disebabkan karena material dan proses pelapisan yang dilakukan sama sehingga karakteristik hasil pelapisan hampir seragam.



Gambar 4. Grafik distribusi kekerasan hasil pelapisan ketebalan 600 µm

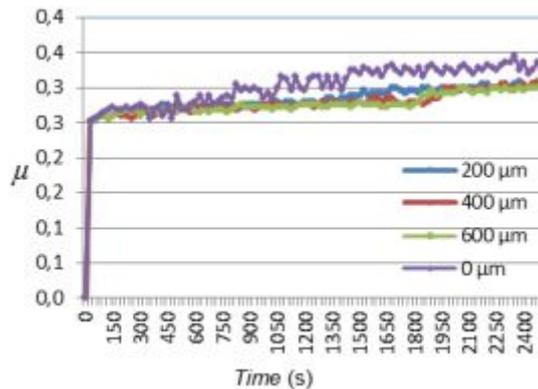
Gambar 4 memperlihatkan distribusi hasil uji kekerasan hasil pelapisan *thermal spray* dimana

pada daerah coating memiliki perbedaan kekerasan yang tidak terlalu signifikan sampai dengan bagian substrat. Hal ini terjadi karena terdapat porositas pada lapisan, sehingga mengakibatkan kekerasan tidak merata. Akan tetapi perbedaan kekerasan pada lapisan tidak terlalu signifikan

Tabel 4. Hasil uji keausan

SAMPLE	Volume (mm ³)
Substrat Material tanpa pelapisan	67,5x10 ⁻³
Ketebalan Lapisan 200µm	12x10 ⁻³
Ketebalan Lapisan 400µm	12,5x10 ⁻³
Ketebalan Lapisan 600µm	12,3x10 ⁻³

Volume keausan untuk material tanpa pelapisan memiliki nilai yang besar jika dibandingkan dengan material *as-coated* yaitu 67,5 x 10⁻³ mm³. Sedangkan perbedaan ketebalan lapisan tidak terlalu signifikan terhadap volume keausan yang terjadi dengan nilai rata-rata sebesar 12,3x10⁻³ mm³.



Gambar 5. Grafik perbandingan CoF

Data hasil uji terlihat bahwa *Coefficient Of Friction* specimen tanpa pelapisan memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan specimen yang dilapisi. CoF terlihat meningkat terhadap jarak lintasan/waktu yang semakin panjang. Hal ini terjadi karena kekasaran permukaan yang meningkat akan menyebabkan nilai dari *friction force* akan meningkat.

4. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa silinder liner dari bahan besi tuang kelabu yang dilapisi menggunakan *powder* Ni-cr dengan *powder flame spray coating* memiliki kekerasan dan ketahanan aus yang lebih tinggi dibandingkan dengan besi tuang kelabu yang tidak dilapisi. Perbedaan ketebalan lapisan tidak berpengaruh

terhadap kekerasan dan ketahanan aus hasil pelapisan dengan teknik *powder flame spray coating*. Kekasaran hasil coating tinggi, sehingga diperlukan proses permesinan untuk mendapatkan permukaan yang lebih halus.

4.2 Saran

Untuk mendapatkan ketahanan aus yang lebih baik, perlu dilakukan dengan pencampuran bahan pelapis yang memiliki kekerasan yang lebih tinggi misalnya WC – CO atau menggunakan teknik HVOF (*High Velocity Oxy Fuel Thermal Spraying*) ataupun Plasma Spraying .

DAFTAR PUSTAKA

- [1.] ASM International. (1997). ASM Handbook Volume 20: Material Selection and Design Park Ohio: ASM International
- [2.] Stratosa, R. (2011), Testing of Regenerative Thermal Spraying Ni-Al Alloy Coatings, Journal of Polish Cimac, Gdansk University of Technology, Gdynia.
- [3.] Lusiani R., Sunardi, Hamidi, (2013), Sifat Mekanik Lapisan Stainless Steel 316 pada Baja Karbon Rendah dengan Proses Electric Arc Spray, Prosiding Seminar Nasional Industrial Services (SNIS) III, Cilegon 13 Oktober 2013.
- [4.] Davis J. R., (2005). Handbook of Thermal Spray Technology , ASM International.
- [5.] Kurnia (2009) “Mikrostruktur Permukaan Baja JIS s45c Hasil Difusi Paska Pelapisan HVOF-Thermal Spray Coating” Master thesis, Depok-Universitas Indonesia
- [6.] Lusiani R., Sunardi, Hamidi, (2013), Sifat Mekanik Lapisan Stainless Steel 316 pada Baja Karbon Rendah dengan Proses Electric Arc Spray, Prosiding Seminar Nasional Industrial Services (SNIS) III, Cilegon 13 Oktober 2013.
- [7.] Meriam, J. L.; L. G. Kraige (2002).Engineering Mechanics (fifth ed.). John Wiley & Sons.p. 328.
- [8.] Ting, L. L., (1980). Lubricated Piston Rings and Cylinder Bore Wear, Wear Control Handbook, American Society of Mechanical Engineers, p 609-665
- [9.] Yamagata (2005), “The Science and Technology of Materials in Automotive Engines”.Woodhead Publishing Limited, England.
- [10.] Riyanto E., Prawara B., (2010). Mikrostruktur dan Karakterisasi Sifat Mekanik Lapisan Cr3c2-Nial-Al2o3 Hasil Deposisi dengan Menggunakan High Velocity Oxygen Fuel Thermal Spray Coating. Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology Vol. 01, No. 1, 2010
- [11.] Pawlowski, L., (2008). The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings edisi kedua , John Wiley & Sons Ltd, London Verlag.397 p.
- [12.] Rabinowicz, E., (1995) Friction and Wear of Materials, 2nd Edition, John Wiley and Sons,
- [13.] Rasfa, A. H., (2013). The Influence Of Ni-Al Particle Size On Impact Resistance And Wear Resistance Of Thermal Sprayed Cr3c2-NiAl-Al2o3 Coating,(Tesis), Institut Teknologi Bandung ,Bandung.
- [14.] Suardia, T., Shinroku S., (1995) Pengetahuan Bahan Teknik, Pradnya Paramita, Jakarta