

Please refer as:

Bondan T. Sofyan, Yogi Suprayogi, Fuad Sulaimy,  
*Karakteristik Silicone Die Coating dengan Variasi  
Ketebalan: Studi pada Cetakan Piston Aluminium*, **Jurnal  
Teknik Mesin ITS**, Vol. 9, No. 3, Sept. 2009, pp. 169-176.

# JURNAL TEKNIK MESIN

ISSN 1411 – 9471, TERAKREDITASI Nomor : 43/DIKTI/Kep/2008

---

*Jurnal Teknik Mesin terbit tiga kali setahun pada bulan Januari, Mei dan September.  
Berisi tulisan yang diangkat dari hasil penelitian dan kajian analitis kritis di bidang Teknik Mesin.*

---

## **Ketua Penyunting**

Dr. Ing. Herman Sasongko

## **Wakil Penyunting**

Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA.

## **Penyunting Pelaksana**

Prof. Ir. Sutardi, M.Eng. PhD.

Ir. Sudjud Darsopuspito, MT.

Dr. Bambang Sudarmanta, ST. MT.

Fahmi Mubarak, ST. MSc.

Giri Nugroho, ST

## **Penyunting Ahli**

Prof. Ir. Djati Nursuhud, MSME.

Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, MSc., PhD.

Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA.

Ir. Bambang Daryanto W., MSME., PhD.

Ir. Sudiyono Kromodihardjo, MSc., PhD.

Ir. Budi Utomo Kukuh W, ME.

Dr. Ir. Abdullah Shahab, MSc.

Dr. Eng. Prabowo, M.Eng.

Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA.

Prof. Dr. Ing. I Made Londen Batan, ME.

Prof. Dr. Ir. Johny Wahyuadi Soedarsono, DEA.

Dr. Ir. Suhanan, DEA.

Dr. Ir. Berkah Fajar T., Dipl.Ing.

Dr. Ir. Iwan Kusmarwanto

Dr. Ing. Harwin Saptoadi, MSc.

*Mesin-Mesin Konversi Energi - Jurusan Teknik Mesin ITS*

*Automotive - Jurusan Teknik Mesin ITS*

*Mekanika & Mesin Fluida - Jurusan Teknik Mesin ITS*

*Vibrasi & Sistem Dinamis - Jurusan Teknik Mesin ITS*

*Sistem Manufaktur & Otomasi Industri - Jurusan Teknik Mesin ITS*

*Perpindahan Panas & Termodinamika Terapan - Jurusan Teknik Mesin ITS*

*Metalurgi - Jurusan Teknik Mesin ITS*

*Perpindahan Panas & Termodinamika Terapan - Jurusan Teknik Mesin ITS*

*Mekanika Benda Padat - Jurusan Teknik Mesin ITS*

*Metrologi & Kalibrasi Dimensi - Jurusan Teknik Mesin ITS*

*Departemen Metalurgi dan Material - UI*

*Perpindahan Panas - Jurusan Teknik Mesin UGM*

*Perpindahan Panas & Massa - Jurusan Teknik Mesin UNDIP*

*Praktisi Industri, Ahli Aeronautics*

*Teknik Pembakaran - Jurusan Teknik Mesin UGM*

## **Tata Pelaksana Usaha**

Sri Suharti, BA

Imam Dahroni

## **Alamat Redaksi**

Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp. 031- 5922941, 5946230, Fax. 031-5922941

## **Jurnal Teknik Mesin diterbitkan oleh**

**Jurusan Teknik Mesin FTI - ITS**

**E-mail :** jurnalme@me.its.ac.id,

jurnalme@yahoo.co.id

**Website :** www.me.its.ac.id/Data/jurnal.html,

jurnalme.bravehost.com

---

*Penyunting menerima sumbangan tulisan yang belum pernah diterbitkan dalam media lain.  
Naskah diketik mengikuti Persyaratan Naskah Jurnal Teknik Mesin  
seperti tercantum pada bagian dalam sampul belakang Jurnal Teknik Mesin.*

---



# Jurnal TEKNIK **M**ESIN

Volume 9 Nomor 3, September 2009

---

ISSN 1411 – 9471, TERAKREDITASI Nomor : 43/DIKTI/Kep/2008

---

- Thermal Conductivity and Bending Strength of Porous Mullite Ceramics  
Made by PFA Method Using Corn Starch  
*Muhammad Waziz Wildan, Suhanan, Darwanto* halaman 149 – 155
- Studi Eksperimental Pengaruh Penambahan Guide Vane Terhadap Distribusi  
Tekanan Dan Kecepatan Aliran Di Dalam Rectangular Elbow 90°  
*Sutardi, Wawan Aries Widodo, Farida R. P., Amir Hakim* halaman 156 – 168
- Karakteristik *Silicone Die Coating* dengan Variasi Ketebalan:  
Studi pada Cetakan Piston Aluminium  
*Bondan T. Sofyan, Yogi Suprayogi, Fuad Sulaimy* halaman 169 – 176
- Studi tentang Karakteristik Aliran Melintasi Silinder Ellips (AR) = 1/3  
dan 1/4 Tunggal Teriris pada Sisi Depan  
*Wawan Aries Widodo, Triyogi Yuwono* halaman 177 – 187
- Efficiency Improvement of Gas-Turbine Power Plants by Absorption Chillers  
*Harwin Saptoadi* halaman 188 – 194
- Perancangan Mesin *Impact Crusher* dengan Bantuan  
Paket Pemrograman MATLAB  
*Dedi Suryadi, Syukran* halaman 195 – 205
- Optimasi Desain Parameter Alat Pemanas Bearing Model U Tidak Simetris  
220 Volt Menggunakan Prinsip Induksi Elektromagnetik Berdasarkan  
Metode Taguchi  
*Mansyur, Golfrid Gultom, Candra Bachtiyar, Ngenteng Tarigan* halaman 206 – 213
- Deterministical Model for Rough Surfaces Contact  
*Jamari* halaman 214 – 221



---

## **KATA PENGANTAR**

Pada penerbitan kali ini, JTM berhasil memuat artikel dari beragam lingkup studi dan asal peneliti di bidang Teknik Mesin. Delapan artikel yang berhasil dimuat secara merata tersebar dalam empat kelompok lingkup studi, yaitu: Material/Metalurgi, Konversi Energi, Manufaktur dan Desain. Dari delapan artikel, dua berasal dari peneliti dalam ITS dan selebihnya berasal dari peneliti luar ITS (Universitas Gajah Mada, Universitas Indonesia, Universitas Bengkulu, Pendidikan Teknologi Kimia Industri (Medan), Universitas Diponegoro (Semarang)).

Dewan penyunting mengucapkan terima kasih kepada para pengirim artikel dan penyunting ahli yang telah memberi sumbangan pada kualitas Jurnal ini. Kami juga berterima kasih kepada seluruh pelanggan kami yang telah memanfaatkan JTM sebagai bahan rujukan dan inspirasi dalam penelitiannya.

Kami mengajak para peneliti dan praktisi bidang Teknik Mesin dan bidang terkait untuk menulis artikel pada Jurnal Teknik Mesin ini (terbit setiap Januari, Mei, dan September). Artikel anda akan dirujuk oleh pelanggan kami dari seluruh penjuru Indonesia.

Akhirnya kami berharap semoga artikel-artikel berkualitas dalam jurnal ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan memberikan inspirasi dalam pengembangan teknologi di bidang rekayasa mesin.

Dewan Penyunting



---

## Karakteristik *Silicone Die Coating* dengan Variasi Ketebalan: Studi pada Cetakan Piston Aluminium

Bondan T. Sofyan, Yogi Suprayogi, Fuad Sulaimy  
Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia  
Kampus UI Depok 16424, Indonesia.  
Telp: (021) 786 3510, Fax: (021) 787 2350  
E-mail: bondan@metal.ui.ac.id

Diterima 15 Desember 2008; diterima terkoreksi 23 Juni 2009; disetujui 22 Juli 2009

### **Abstract**

*Aluminium piston for motorcycle is usually fabricated through Gravity Die Casting (GDC) and used in as-cast condition without major machining process. Therefore, an important factor that determines the surface quality of piston is the die coating. It plays a major role in regulating the rate of cooling during solidification process and surface roughness of the piston. While the rate of cooling and surface roughness is dependent on the thickness of the coating. This research investigated characteristics of silicone DH-1 coating applied at 180 °C and 240 °C with different thickness. Coating was conducted by using cold spraying method, and the thickness of coating was varied 120 µm, 140 µm dan 160 µm at application temperatures of 180 °C dan 240 °C. Coating characteristics were measured by conducting bonding strength testing (ASTM C633), surface roughness testing and microhardness. Microstructure of coating-die interface was observed by optical microscopy and SEM/EDXS. Trial of coating at industrial scale was performed to evaluate the level of reject of piston. Results show that the increase in coating thickness significantly increases microhardness of the coating-die interfaces, as well as increases the adhesive mode failure. Consequently, reduces the cohesive mode of failure. This means that the coating is harder and difficult to erode, but it can not tightly bond to the dies. The increase in thickness also increases the surface roughness.*

**Keywords:** *die coating, adhesive failure, cohesive failure, H13 tool steel, mechanical interlocking*

Piston untuk sepeda motor merupakan salah satu produk *Gravity Die Casting* yang terbuat dari paduan aluminium-silikon AC8A, dimana dalam proses pembuatannya menggunakan cetakan (*dies*) yang terbuat dari baja perkakas H13. Pada material cetakan baja perkakas H13 dilakukan aplikasi *coating* yang berbahan dasar *silicone* dengan pelarut air menggunakan metode *cold spray*. Tujuan aplikasi *coating* adalah mengatur laju perpindahan panas dari logam cair ke cetakan serta melindungi permukaan cetakan dari kontak langsung dengan logam cair yang dapat menyebabkan erosi. Selain itu, *coating* juga mencegah terjadinya *thermal shock* pada cetakan dan mengurangi adanya penempelan (*soldering*) logam cair dengan cetakan [1]. Khusus untuk piston, *coating* juga akan menentukan tingkat kehalusan permukaan.

Kualitas *coating* ditentukan oleh beberapa faktor, dan salah satunya adalah ketebalan. Ketebalan *coating* diperoleh dengan mengaplikasikan beberapa lapisan, dan penelitian terdahulu menemukan bahwa semakin tebal *coating* akan menghasilkan permukaan yang semakin kasar [2]. Ketebalan *coating* juga akan mempengaruhi kekuatan ikat dengan cetakan.

Penelitian ini mempelajari pengaruh ketebalan terhadap karakteristik *silicone coating* yang diaplikasikan pada material baja perkakas H13. Dilakukan pengujian kekuatan lekat lapisan, kekerasan mikro dan kekasaran permukaan, serta pengamatan struktur mikro pada daerah antar muka *coating* dan cetakan.

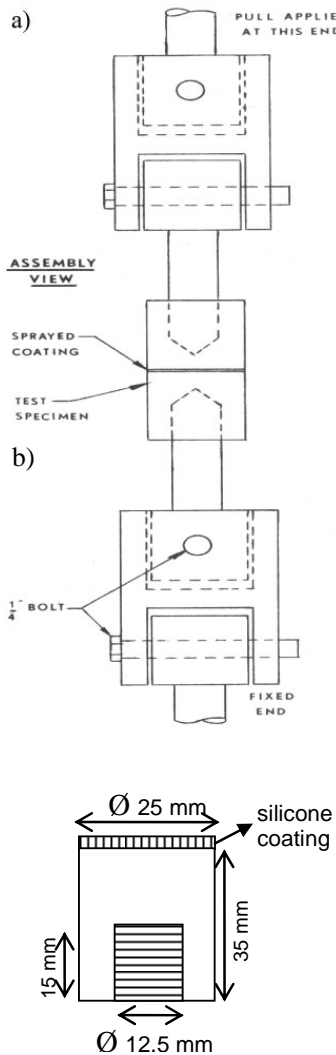


**METODE PENELITIAN**

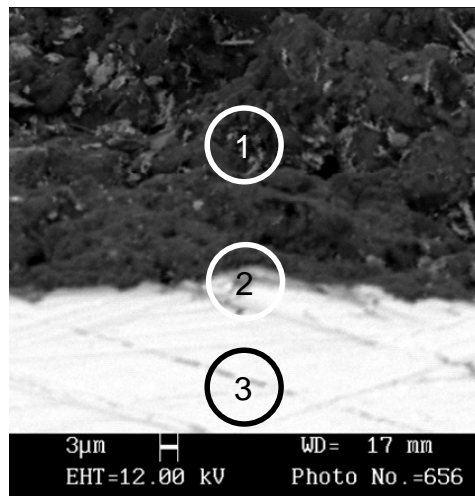
Baja perkakas H13 (0.3 – 0.45 C, 5.2 Cr, 1 Si, 1.4 Mo, 0.9 V, 0.4 Mn) (wt. %) dipakai sebagai representasi material cetakan. Persiapan permukaan benda uji meliputi pembersihan menggunakan kertas amplas # 1500, *pre-heating* di dalam dapur listrik pada temperatur 250°C selama 2 jam, serta *shot*

*blasting* menggunakan *glass beads* berukuran 12 mesh. Sebelum aplikasi coating, benda uji dipanaskan dengan api (*burner*) pada temperatur 180 dan 240°C. *Coating* DH-1 diaplikasikan dengan ketebalan 120, 140 dan 160 µm, dimana pengukuran ketebalan menggunakan *Elcometer thickness tester*. *Coating* LNO diaplikasikan dengan kuas pada tepi benda uji.

Pengujian kekuatan lekat *coating* dilakukan sesuai standar ASTM C633 [3] dengan menempelkan benda uji pada kupon standar menggunakan lem epoksi Devcon (Gambar 1). Benda uji berbentuk silinder, dengan tebal 35 mm dan diameter 25 mm. Sementara pengujian kekasaran permukaan menggunakan Surfcom 120A dengan *cut of length* 0,8 µm. Uji kekerasan mikro sesuai standar ASTM E384 dengan melakukan tiga penjejukan pada daerah antar muka cetakan – *coating*. Pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik dan SEM (*Scanning Electron Microscope*) LEO 420, yang dilengkapi dengan EDXS (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) untuk analisis komposisi mikro. Sampel pengamatan mikrostruktur dipreparasi sesuai standar menggunakan etsa nital yang diperoleh dari mereaksikan HNO<sub>3</sub> 10 ml dengan etanol 90 ml.



Gambar 1. (a) Pengujian kekuatan lekat coating, dan (b) dimensi benda uji sesuai ASTM C633 [3]

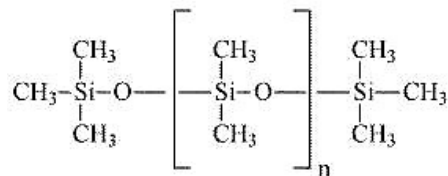


Gambar 2. Struktur mikro daerah antar muka cetakan dan coating DH1. Posisi 1: cetakan; posisi 2: antarmuka; posisi 3: coating



Tabel 1. Hasil analisis mikro EDXS pada titik 3 Gambar 1

| Unsur | wt. % |
|-------|-------|
| C     | 4.94  |
| O     | 57.06 |
| Si    | 20.33 |
| Fe    | 2.2   |
| Na    | 5.56  |
| Al    | 3.59  |
| K     | 0.8   |
| Ca    | 1.09  |
| Ti    | 4.4   |



Gambar 3. Gugus siloxane [8]

ditemukan pula unsur C sebesar 4,94 % yang diperkirakan berasal dari karbon penyusun gugus pembentuk rantai polimer siloxane [8] (Gambar 3). Jadi material coating DH1 merupakan *organic coating* berbahan dasar  $\text{SiO}_2$ .

## HASIL DAN PEMBAHASAN

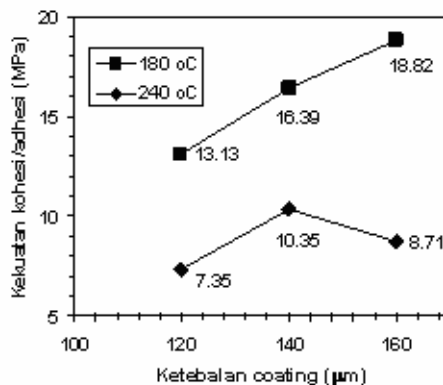
### Karakterisasi Coating DH-1

Dilakukan pengamatan SEM/EDXS terhadap coating DH-1. Gambar 2 adalah struktur mikro penampang pada daerah antar muka cetakan – coating, dimana posisi 1, 2 dan 3 masing-masing mewakili daerah cetakan, antar muka dan coating. Sementara analisis mikro dengan EDXS pada posisi 3 dapat dilihat pada Tabel 1. Dari Gambar 2 terlihat jelas adanya lekukan-lekukan pada daerah antarmuka yang menandakan adanya *mechanical interlocking* antara coating dengan material cetakan. Hal ini diakibatkan oleh proses *shot blasting* sebelum proses penyemprotan coating yang menimbulkan kekasaran pada permukaan material cetakan yang akan diisi oleh material coating dan akan saling berikatan secara mekanis [4,5].

Dari Tabel 1 terlihat bahwa unsur yang paling dominan dalam coating DH-1 adalah O dan Si, yakni sebesar 57,06% dan 20,23%. Hal ini sesuai dengan literatur [1] bahwa fungsi utama coating pada pengecoran adalah sebagai *thermal insulator* antara aluminium dan cetakan baja perkakas H13. Hal ini dapat dilakukan oleh  $\text{SiO}_2$  karena  $\text{SiO}_2$  memiliki koefisien ekspansi termal yang kecil, yaitu sekitar  $1,3 - 1,4 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}$  [6]. Disamping itu ada pula unsur Na sebesar 5,56%, yang dimungkinkan sebagai unsur pengotor dari coating. Unsur Ti juga ditemukan cukup besar pada coating DH-1 yang berperan sebagai salah satu filler [7]. Pada material coating

### Kekuatan Lekat Coating

Pengaruh ketebalan terhadap kekuatan lekat coating yang diaplikasikan pada temperatur  $240^\circ\text{C}$  dapat dilihat pada Gambar 4. Terlihat bahwa kekuatan lekat coating mencapai titik optimasi pada ketebalan  $140 \mu\text{m}$ , dengan kekuatan sebesar  $10,4 \text{ MPa}$ . Untuk menganalisa mekanisme ikatan yang terjadi, permukaan patahan sampel uji kekuatan lekat diamati dan hasilnya ditampilkan pada Gambar 5. Secara umum, permukaan patahan dapat dibagi menjadi tiga daerah, yaitu: (i) daerah kegagalan adhesi berwarna perak, dimana patahan terjadi pada antar muka cetakan dan coating, (ii) daerah kegagalan kohesi berwarna



Gambar 4. Pengaruh tebal coating terhadap kekuatan ikatan adhesi/kohesi pada temperatur aplikasi coating ; (a)  $180^\circ\text{C}$  (b)  $240^\circ\text{C}$



Gambar 5. Bentuk perpatahan sampel uji lekat *coating* pada temperatur aplikasi 240 °C dengan ketebalan (a-e) 120  $\mu\text{m}$ , (f-j) 140  $\mu\text{m}$ , dan (k-n) 160  $\mu\text{m}$

abu-abu, dimana patahan terjadi di dalam atau pada *coating*, dan (iii) daerah kegagalan epoksi berwarna hitam, dimana patahan terjadi pada lem epoksi. Luas masing-masing daerah

patahan diukur dan persentase luasnya juga ditampilkan pada Tabel 2. Rata-rata hasil pengukuran luas daerah patahan adhesi, kohesi dan epoksi juga ditampilkan pada Tabel 2.



Tabel 2. Hasil penghitungan persentase kegagalan pada temperatur *coating* 240°C

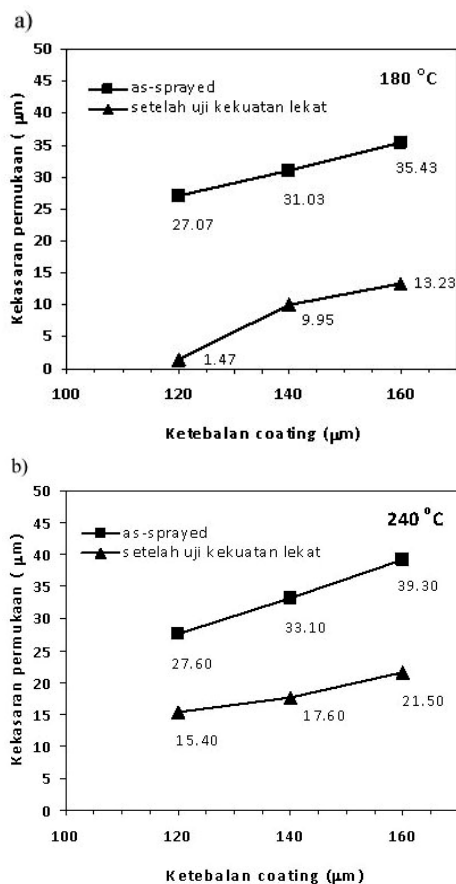
| Ketebalan         | % patahan epoxy | % patahan adhesi | % patahan kohesi |
|-------------------|-----------------|------------------|------------------|
| 120 $\mu\text{m}$ | 67.98           | 6.69             | 24.44            |
| 140 $\mu\text{m}$ | 39.77           | 26.32            | 33.91            |
| 160 $\mu\text{m}$ | 29.73           | 31.44            | 38.83            |

Dari Tabel 2 tampak bahwa semakin tebal *coating* maka persentase kegagalan adhesi cenderung meningkat, yang artinya kekuatan ikat antar *coating* dan cetakan semakin lemah. Sementara itu, dengan semakin tebal *coating*, maka persentase kegagalan kohesi semakin tinggi, yang artinya kekuatan *coating* semakin lemah. Namun demikian, persentase kegagalan epoksi yang semakin kecil dengan semakin tebalnya *coating* menunjukkan kekuatan *coating* total yang semakin tinggi.

### Kekasaran Permukaan

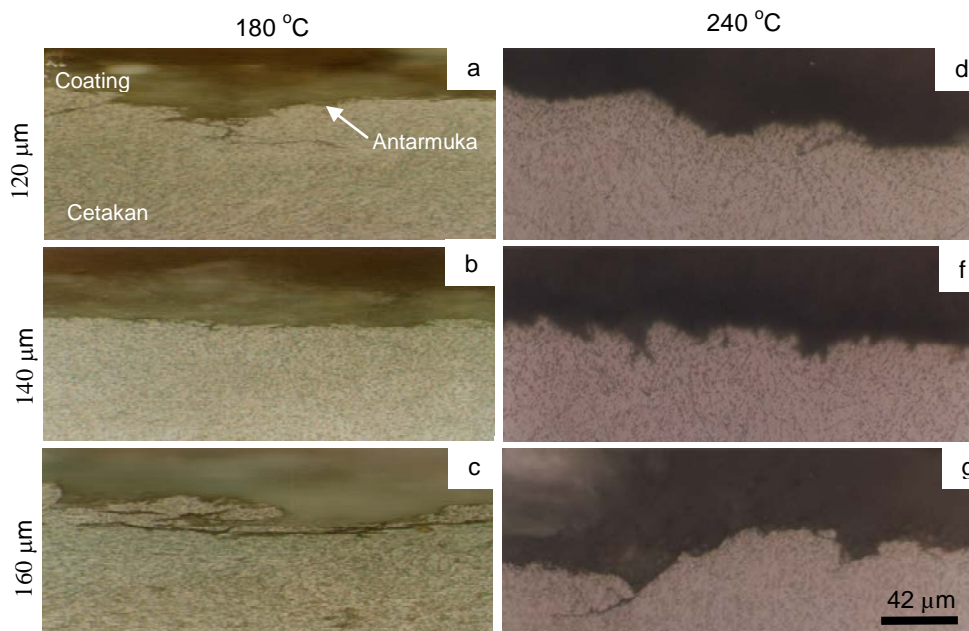
Pada data pengujian pada Gambar 6, didapat hubungan bahwa semakin tebal *coating* maka semakin kasar pula permukaan *coating* tersebut. Berdasarkan literatur dijelaskan bahwa semakin banyak lapisan yang terbentuk dalam proses penyemprotan *coating* maka permukaan *coating* yang terbentuk juga semakin kasar [9]. Hal ini dibuktikan bahwa untuk mencapai ketebalan 120  $\mu\text{m}$  pada benda uji standar membutuhkan 3 lapisan sehingga kekasaran permukaan rata-rata yang terdeteksi sebesar 27,6  $\mu\text{m}$  ( $T = 180^\circ\text{C}$ ); 27,07  $\mu\text{m}$  ( $T = 240^\circ\text{C}$ ). Sedangkan untuk mencapai ketebalan 140  $\mu\text{m}$  dan 160  $\mu\text{m}$  membutuhkan 4 sampai 5 lapisan sehingga kekasaran permukaan rata-rata yang terdeteksi berturut-turut adalah 33,1  $\mu\text{m}$  ( $T = 180^\circ\text{C}$ ); 31,03  $\mu\text{m}$  ( $T = 240^\circ\text{C}$ ) dan 39,3  $\mu\text{m}$  ( $T = 180^\circ\text{C}$ ); 35,43  $\mu\text{m}$  ( $T = 240^\circ\text{C}$ ).

Hubungan antara banyaknya lapisan dan kekasaran permukaan juga terjadi pada benda uji hasil pengujian adhesi atau kohesi. Peningkatan kekasaran permukaan juga terjadi namun kekasaran yang terdeteksi tidak sebesar kekasaran pada benda uji standar. Hal ini dikarenakan benda uji adhesi atau kohesi sudah mengalami pengurangan ketebalan *coating* akibat pengujian adhesi atau kohesi.

Gambar 6. Pengaruh ketebalan terhadap kekasaran permukaan *coating* pada temperatur aplikasi (a) 180°C dan (b) 240°C

### Pengamatan Struktur Mikro

Pada pengamatan mikrostruktur daerah antarmuka, seperti dilihat pada Gambar 7, khususnya pada seluruh benda uji cukup jelas terlihat mekanisme ikatan *mechanical interlocking* yang ditunjukkan oleh lekukan-lekukan di sepanjang daerah antarmuka. Pada benda uji hasil uji kohesi atau adhesi terlihat lekukan pada daerah antarmuka semakin halus namun retak yang menjalar pada daerah antarmuka semakin besar. Hal ini disebabkan karena persentase kegagalan adhesi semakin besar seiring dengan ketebalan *coating* yang bertambah. Retak timbul akibat dari tegangan sisa yang terjadi pada saat penyemprotan *coating* diakumulasi oleh tegangan tarik dari



Gambar 7. Struktur mikro cetakan-antarmuka-*coating* pada temperatur aplikasi (a-c) 180 °C, dan (d-f) 240 °C, dengan ketebalan 120, 140 dan 160  $\mu\text{m}$

pengujian kekuatan adhesi atau kohesi. Retak tersebut menjalar pada *lock and key site* dan menimbulkan jalur retak (*crack path*). Semakin panjang jalur retak mengindikasikan semakin besarnya tegangan aktual total pada daerah tersebut [10].

#### Kekerasan Mikro

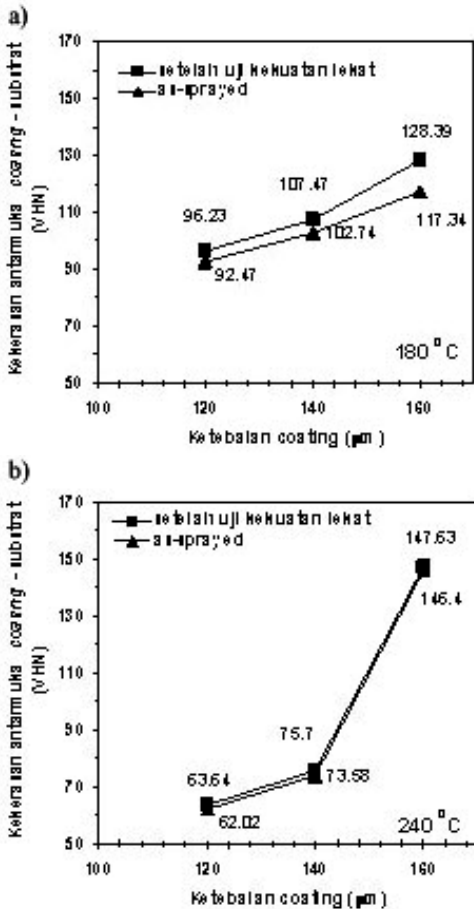
Pengujian kekerasan mikro dilakukan dua kali pengujian, yaitu pada benda uji standar dan pada benda uji hasil pengujian adhesi atau kohesi. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan mikro, seperti ditampilkan pada Gambar 8, didapat bahwa nilai kekerasan mikro pada daerah antarmuka, di variabel kedua temperatur, bertambah seiring dengan bertambahnya ketebalan *coating*, baik pada benda uji standar maupun pada benda uji hasil pengujian adhesi/kohesi. Hal ini diperkirakan disebabkan karena penambahan energi yang terkandung (tegangan sisa) pada daerah antarmuka benda uji terjadi seiring dengan penambahan ketebalan *coating* seperti ditemukan oleh Guillou *et al.*[11].

#### UJI COBA COATING DENGAN APLIKASI

##### Temperatur 240 °C dan Ketebalan 0,14 mm pada Pengecoran Piston

Uji coba pengecoran piston dilakukan menggunakan cetakan logam yang melalui proses *coating* dengan variabel temperatur 240 °C dan ketebalan 0,14 mm selama 6 shift. Namun, uji coba dihentikan pada shift 3 karena keadaan *coating* yang sudah tidak memadai. Gambar 9 menunjukkan *coating* sudah terlepas secara menyeluruh pada beberapa daerah permukaan cetakan. Kegagalan adhesi ini disebabkan kemampuan adhesi yang terlampaui lemah. Kegagalan yang dominan pada produk piston hasil uji coba adalah *misrun* yang diakibatkan ketebalan *coating* yang tidak merata lagi sehingga dimensi piston tidak sempurna.

Perbandingan kekerasan piston hasil produksi aktual dan hasil uji coba ditampilkan pada Gambar 10. Data kekerasan piston hasil uji coba menunjukkan adanya penurunan kekerasan seiring bertambahnya shift. Hal ini tidak sejalan dengan produksi aktual dimana kekerasan relatif konstan.



Gambar 8. Pengaruh ketebalan coating terhadap kekerasan antarmuka coating-substrat pada temperatur aplikasi (a) 180 °C dan (b) 240 °C

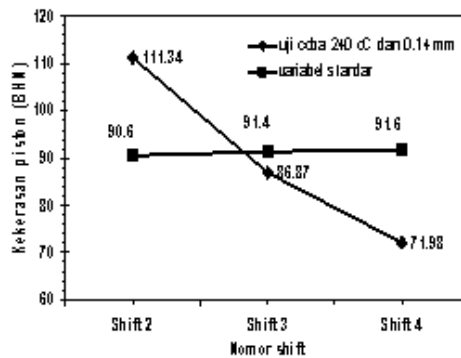
Hal ini diperkirakan akibat coating semakin menipis sehingga daya adhesif semakin berkurang. Maka, pendinginan pada beberapa bagian akan berlangsung lebih cepat karena tipisnya atau bahkan sudah lepasnya coating dari permukaan cetakan. Hal ini memunculkan kemungkinan pendinginan dan proses solidifikasi yang terjadi semakin tidak merata. Oleh karena itu besar peluang terjadinya porositas penyusutan (*shrinkage porosity*) pada daerah yang terakhir membeku.

**KESIMPULAN**

Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:



Gambar 9. Kegagalan adhesif coating (tanda panah) pada uji coba (trial)



Gambar 10. Perbandingan kekerasan piston hasil uji coba dan produksi reguler selama 3 shift

1. Material coating DH-1 merupakan material silicone coating yang berasal dari gugus polymer siloxane yang telah terdekomposisi sempurna pada suhu 240 °C.
2. Peningkatan ketebalan coating dapat mengakibatkan bertambahnya energi yang terkandung (tegangan sisa) pada daerah antarmuka sehingga kekerasan pada daerah tersebut cenderung bertambah seiring dengan penambahan coating.
3. Peningkatan ketebalan coating semakin memperbesar persentase kegagalan adhesi dan menurunkan persentase kegagalan kohesi sehingga perlu dicari ketebalan optimum dimana nilai tegangan tariknya juga patut dipertimbangkan. Hal ini didapatkan pada ketebalan 140 µm dengan persentase kegagalan 33,91 %: 26,32 % atau sekitar 56,3 % kohesi: 43,7 % adhesi dengan nilai kekuatan 10,35 MPa pada temperatur 240 °C.



4. Peningkatan ketebalan coating mengakibatkan peningkatan kekasaran baik pada benda uji standar maupun pada benda uji hasil pengujian kekuatan lekat, yang diperkirakan disebabkan oleh penambahan lapisan untuk mencapai ketebalan yang diinginkan.
  5. Dari hasil pengamatan mikrostruktur, semakin tebal *coating* semakin banyak terjadi retakan di daerah antarmuka akibat terakumulasinya tegangan di daerah antarmuka. Ikatan yang terjadi pada daerah antarmuka adalah ikatan *mechanical interlocking*, dan ikatan kimia antar lapisan antara gugus (Si-O)<sub>n</sub>.
  6. Semakin terkikisnya *coating* maka laju pendinginan piston akan semakin cepat. Akibatnya nilai kekerasan makro piston menurun dari 111,34 BHN; 86,87 BHN sampai 71,98 BHN.
  7. Dalam aplikasi pengecoran, ikatan adhesi temperatur *coating* 240°C terbukti memiliki ketahanan ikatan adhesi yang lebih rendah dibandingkan dengan temperatur *coating* 180°C. Dimana lapisan *coating* pada temperatur 240°C telah terkelupas adhesi setelah 19 jam kerja, sedangkan lapisan *coating* temperatur 180°C masih dapat bertahan selama 24 jam.
- [3] ASTM, 2006, *Annual Book of ASTM STANDARDS SECTION 2 NonFe Metal Products Metallic and Inorganic Coatings*, C 633.
  - [4] Wang, B.Q., & Shui, Z.R., 2002, "The hot erosion behavior of HVOF chromium carbide-metal cermet coatings sprayed with different powders", *Wear*, Vol. 253, 550-557.
  - [5] Qiao, Y., Fischer, T.E., & Dent, A., 2003, "The effects of fuel chemistry and feedstock powder structure on the mechanical and tribological properties of HVOF thermal-sprayed WC-Co coatings with very fine structures", *Surface Coatings Tech*, 2003, Vol. 172, 24 – 41.
  - [6] Van der Donck, T., Muchlado, M., Zein Eddine, W., Achanta, S., Carvalho, N.J.M., & Celis, J.P., 2009, "Effect of hydrogen content in a-C:H coatings on their tribological behaviour at room temperature up to 150 °C", *Surface Coatings Tech.*, Vol. 203 (22), 3472-3479.
  - [7] *Adhesion Theory* <http://www.specialchem4adhesives.com/resources/adhesionguide>, diakses 23 Februari 2007.
  - [8] HEF Groupe, 2003, *Handbook of surface treatment and coatings*, ASME Press. USA, 85-88.
  - [9] Freund, L.B., & Suresh, S., 2003, *Thin Film Materials; Stress, Defect Formation and Surface Evolution*, Cambridge University Press, NY, USA. 101-111.
  - [10] Cho, T.Y., Yoon, J.H., Cho, J.Y., Joo, Y.K.K., Kang, J.H., Zhang, S., Chun, H.G., Hwang, S.Y., Kwon, S.C., 2009, "Surface properties and tensile bond strength of HVOF thermal spray coatings of WC-Co powder onto the surface of 420J2 steel and the bond coats of Ni, NiCr, and Ni/NiCr", *Surface Coatings Tech*. Vol. 203 (20-21), 3250-3253.
  - [11] Guillou, L., Supiot, Ph., & Le Courtois, V., 2008, "Oxidized barrier thin film from plasma grown polysiloxane coating over austenitic stainless steel", *Surface Coatings Tech*, Vol. 202 (17), 4233-4241.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada PT. Astra Honda Motor atas penyediaan fasilitas pengecoran, PT. Assab Steel dan Tira Austenite Tbk., atas penyediaan material H13.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pocius, A.V., 2002, *Adhesion Science and Engineering, Volume 2; Surface: Science and Applications*, Elsevier Science, USA., 142-143.
- [2] Li, C.J., & Li, W.Y., 2002, "Effect of sprayed powder particle size on the oxidation behavior of MCrAlY materials during high velocity oxygen-fuel deposition" *Surface Coatings Tech*, Vol. 162, 31 – 41.