

Please refer as:

Bondan T. Sofyan, *Pengaruh Temperatur Aplikasi terhadap Karakteristik Die Coating 0,12 dan 0,14 mm pada Cetakan Piston Aluminium*, **Jurnal Industri ITS**, Vol. 8 (2009), No. 1, pp. 22 - 29.

PENGARUH TEMPERATUR APLIKASI TERHADAP KARAKTERISTIK *DIE COATING* 0,12 DAN 0,14 mm PADA CETAKAN PISTON ALUMINIUM

Bondan T. Sofyan

Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Kampus UI Depok 16424, Indonesia.

bondan@metal.ui.ac.id

Abstrak

Kualitas piston, yang diproduksi dengan pengecoran aluminium pada cetakan permanen, sangat berkaitan erat dengan kualitas coating cetakan. Sedangkan kualitas coating ditentukan antara lain oleh temperatur aplikasi. Temperatur aplikasi yang tepat akan mengoptimalkan karakteristik kohesi dan adhesi coating. Pada penelitian ini dipelajari pengaruh temperatur aplikasi terhadap karakteristik dan umur pakai coating. Proses coating dilakukan dengan metode cold spray pada permukaan sampel uji. Kemudian dilakukan pengujian kekuatan lekat dan pengamatan mikrostruktur dengan mikroskop optik dan SEM/EDS. Selanjutnya dipilih variabel temperatur aplikasi terbaik untuk dicobakan pada proses pengecoran piston.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur aplikasi coating menyebabkan semakin meningkatnya kekuatan kohesi (gaya ikat antar coating) dan semakin menurunnya kekuatan adhesi coating dan substrat baja H13. Hal tersebut terlihat dari persentase mode kegagalan pada temperatur 240 °C, dimana nilai kegagalan kohesi mencapai angka terendah yaitu 41,43 % dan mode kegagalan adhesi mencapai nilai tertinggi yaitu 52,32 %. Hal ini didukung pula oleh data hasil pengamatan mikrostruktur. Aplikasi temperatur coating 240 °C dalam cetakan pengecoran piston menguatkan hasil penelitian dimana mode kegagalan coating yang terjadi ialah kegagalan adhesi.

Kata Kunci: *die coating*, temperatur aplikasi coating, kekuatan lekat, kekuatan adhesi, kekuatan kohesi, baja H13,

EFFECTS OF APPLICATION TEMPERATURE ON THE CHARACTERISTICS OF 0.12 AND 0.14 mm DIE COATING OF ALUMINIUM PISTON DIES

Abstract

Quality of pistons which are produced by aluminium casting using permanent moulds, is highly dependent on the quality of the die coating, while one aspect that determine the quality of die coating is the application temperature. Appropriate application temperature will optimize the adhesive and cohesive strength of the coating. This research investigated the effect of application temperature on the characteristics and lifetime of die coating. Die coating was applied by cold spray method on the surface of specimen coupons. Bonding strength test and microstructural observation by using optical microscope and SEM/EDS were conducted. The optimum application temperature was chosen to be applied on a series of industrial trial.

The results show that the higher the application temperature, the higher the cohesive (inter-coating) strength and the lower the adhesive strength between the coating and the H13 steel substrate. This is clearly revealed by the mode of failure at 240 °C, at which the cohesive failure showed the lowest value of 41.43 %, while the adhesive failure was the highest, of 52.32 %. Microstructural observation also gave strong support for this notion. Industrial trial by using application temperature of 240 °C confirmed that the mode of failure was adhesive.

Keywords: *die coating*, coating application temperature, bonding strength, adhesive strength, cohesive strength, H13 steel.

Pendahuluan

Salah satu komponen sepeda motor yang diproduksi dengan pengecoran logam aluminium ialah komponen piston. Piston merupakan komponen yang sangat penting dalam menghasilkan energi gerak pada sepeda motor. Dalam operasinya, piston dituntut memiliki ketahanan gesekan, ketahanan yang baik pada kondisi operasi temperatur pembakaran bahan bakar, serta memiliki ketahanan fatik yang baik. Kualitas piston turut pula dipengaruhi oleh kualitas material aluminium cor, kondisi cetakan serta ketahanan lapisan *coating* yang melekat pada cetakan selama proses pengecoran berlangsung.

Material aluminium yang banyak digunakan untuk piston ialah AC8A, yang termasuk jenis paduan *hyper eutectic* Al-Si (dengan kandungan > 11,7 % Si). Beberapa karakteristik unik dalam paduan *slightly hyper eutectic* ($12 < \% Si < 14$) Al-Si AC8A yaitu^[1]:

- Keberadaan struktur kristal silikon primer pada paduan *hyper eutectic* mengakibatkan ketahanan aus paduan meningkat dengan ekspansi termal yang rendah dan memiliki ketahanan retak panas (*hot tearing*) yang baik^[2]. Hal ini disebabkan karena unsur silikon dapat mereduksi koefisien ekspansi termal dari paduan Al^[3], sehingga selama pemanasan pemuaiannya volume paduan tidak terlalu besar. Dengan demikian tegangan sisa yang terbentuk selama pembekuan rendah yang akan meminimalisir terjadinya retakan (*hot tearing*) pada material selama proses pendinginan^[4]. Hal tersebut juga menjelaskan mengapa dikatakan bahwa unsur silikon dapat meningkatkan fluiditas paduan aluminium^{[2][3]}. Oleh sebab itu paduan ini cocok digunakan sebagai bahan baku pembuatan piston^[2].
- Pada material AC8A terdapat kandungan Cu yang akan meningkatkan kekuatan dan kekerasan akibat pembentukan endapan Mg₂Si dan CuAl₂ yang bekerja sesuai mekanisme *precipitation strengthening*. Namun perlu diperhatikan, terlalu banyak unsur Cu akan menyebabkan paduan menjadi getas^[3].

Cetakan pengecoran umumnya terbuat dari material *tool steel* H13, yang merupakan baja perkakas jenis *hot work* seri Cr (0,4 % C, 5 % Cr)^[5]. Baja jenis ini memiliki ketahanan *red hardness* yang tinggi karena mengandung elemen paduan pembentuk karbida, seperti Cr, Mn, Nb, Mo, Ti, W dan V^[5]. Keunggulan lainnya ialah kemampuan laju pendinginan yang lebih cepat dibandingkan cetakan pasir, sehingga dihasilkan produk piston yang memiliki butir halus dan struktur silikon yang termodifikasi dengan baik sehingga dapat meningkatkan kekuatan serta keuletan produk piston^[1].

Lapisan *coating* dalam aplikasi pengecoran berfungsi mengatur laju pendinginan produk cor^[6], mencegah terjadinya *thermal shock* dan *over heating* pada cetakan^[6], serta mencegah terjadinya efek penempelan aluminium pada rongga cetakan^[6]. Material *coating* yang digunakan dalam penelitian ini ialah DH1 dengan metode penyemprotan *cold spray*. Material DH1 termasuk silikon *base coating*, yang termasuk polimer^[8], dengan kandungan silikon sebesar 20 - 30 %^[7]. Keistimewaan material ini ialah kemampuannya membentuk reaksi *cross link* SiO₂ pada temperatur di atas temperatur dekomposisi polimer^{[7][9]}. Terbentuknya ikatan SiO₂ (*glass*) akan meningkatkan ketahanan temperatur tinggi^[7] dari material cetakan serta berperan dalam mengatur laju pendinginan produk cor.

Dalam aplikasi pengecoran kualitas lapisan *coating* sangat dipengaruhi oleh kondisi ikatan adhesi (ikatan *coating* – cetakan) serta kondisi ikatan kohesi (ikatan antar lapisan *coating*) yang terjadi. Dan variabel temperatur *coating* sangat berpengaruh terhadap kualitas ikatan adhesi dan kohesi yang terjadi^{[7][10]}. Karakteristik kekuatan adhesi serta kohesi yang baik akan menghasilkan lapisan *coating* yang memiliki sifat ketahanan erosi serta ketahanan terhadap gompal akibat interaksi permukaan *coating* dengan aliran logam cair. Studi ini difokuskan untuk mempelajari secara ilmiah pengaruh temperatur aplikasi *coating* terhadap kekuatan ikatan kohesi dan adhesi yang terbentuk pada cetakan pengecoran komponen piston dengan ketebalan lapisan dipertahankan tetap pada 0,12 & 0,14 mm (sesuai aplikasi *coating* dalam industri otomotif).

Metode Penelitian

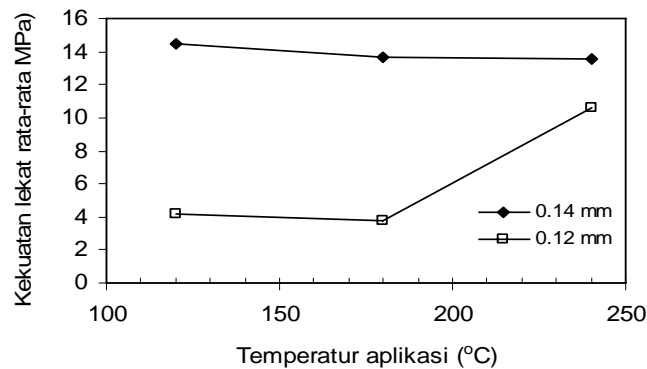
Material *coating* DH1 disemprotkan pada permukaan kupon uji lekat *coating* berbentuk silinder H13 berdiameter 2,54 cm dan tinggi 2 – 2,54 cm menggunakan metode *cold spray* dengan ketebalan 0,12 dan 0,14 mm. Variasi temperatur aplikasi yang digunakan ialah 120 °C, 180 °C, dan 240 °C yang kemudian disimpan dalam dapur pada temperatur 100 °C. Pada sampel dilakukan pengujian lekat *coating* (*pull up test*) ASTM C633 yang telah dimodifikasi menggunakan mesin uji tarik “*Shimadzu*” dengan material *epoxy* “*Defcone*” yang telah mengalami proses *curing* pada temperatur ruang selama 2 jam, dilanjutkan dengan temperatur 100 °C selama 4 jam. Selanjutnya dilakukan pengamatan permukaan patahan secara visual guna menghitung fraksi luas perpatahan adhesi *coating* – substrat, kohesi antar lapisan *coating*, serta kegagalan *epoxy* menggunakan kawat kasa dengan ukuran yang relatif homogen dengan tiap kotak kecilnya berukuran 2 x 2 mm² (sesuai standar ISO 2049)^[11]. Pengamatan mikrostruktur dilakukan dengan mikroskop optik dan SEM (Scanning Electron Microscope) yang dilengkapi EDS. Persiapan sampel mengikuti prosedur standar dengan etsa Nital 2 %.

Dari serangkaian pengujian dan pengamatan tersebut kemudian ditetapkan variabel temperatur *coating* terbaik yaitu 240 °C yang diujicobakan dalam produksi piston selama 6 *shift* (48 jam). Dilakukan pengujian kekerasan Brinell dengan pembebanan 31,25 kg selama 15 detik (ASTM E 10) untuk membandingkan kekerasan piston produk trial dan produksi reguler.

Hasil dan Pembahasan

Karakterisasi Kemampuan Lekat Coating (Ikatan Adhesi dan Kohesi)

Hasil pengujian kekuatan lekat *coating* rata-rata pada berbagai rentang temperatur *coating* terlihat pada Gambar 1, dimana data pengujian lekat *coating* rata-rata memiliki nilai paling rendah pada temperatur uji 180 °C. Data hasil pengujian kekuatan lekat ini tidak secara langsung mewakili karakteristik kekuatan ikatan adhesi dan kohesi yang terjadi, sehingga perlu dilakukannya pengamatan visual guna menghitung persentase bentuk perpatahan adhesi (bagian lapisan *coating* terkelupas seluruhnya dari permukaan substrat), kohesi (pengelupasan pada antar lapisan *coating*), dan *epoxy* (pengelupasan lapisan *epoxy*) sampel uji tarik yang terangkum dalam Gambar 2 dan 3. Terlihat bahwa pada ketebalan 0,14 mm dan 0,12 mm terjadi peningkatan mode kegagalan adhesi (penurunan mode kegagalan kohesi) seiring dengan kenaikan temperatur *coating*. Hal tersebut mengindikasikan seiring kenaikan temperatur aplikasi *coating* maka sifat kekuatan tarik adhesi akan menurun dan sebaliknya kekuatan tarik kohesi terlihat semakin meningkat. Penurunan kekuatan adhesi seiring kenaikan temperatur *coating* berkaitan erat dengan adanya tegangan sisa dan *mismatch strain* (ϵ_m), yang dapat dihitung sesuai Persamaan (1). Penghitungan nilai *mismatch strain* (ϵ_m) pada berbagai rentang temperatur *coating* terlihat pada Tabel 1. Terlihat bahwa perbedaan ekspansi termal antara material *coating* – substrat H13 yang besar menyebabkan besarnya nilai *mismatch strain* (ϵ_m). Semakin tinggi temperatur aplikasi, semakin besar *mismatch strain* yang terjadi, yang selanjutnya mengakibatkan tegangan sisa pada permukaan kontak *coating* dan substrat H13 semakin besar, dan melemahkan energi ikatan adhesi (W_A – *Working Adhesion*).



Gambar 1. Perbandingan kekuatan lekat rata-rata *coating* (MPa) dalam berbagai rentang temperatur uji (°C)

$$\epsilon_m = (\alpha_s - \alpha_c) \cdot \Delta T \dots\dots\dots(1)$$

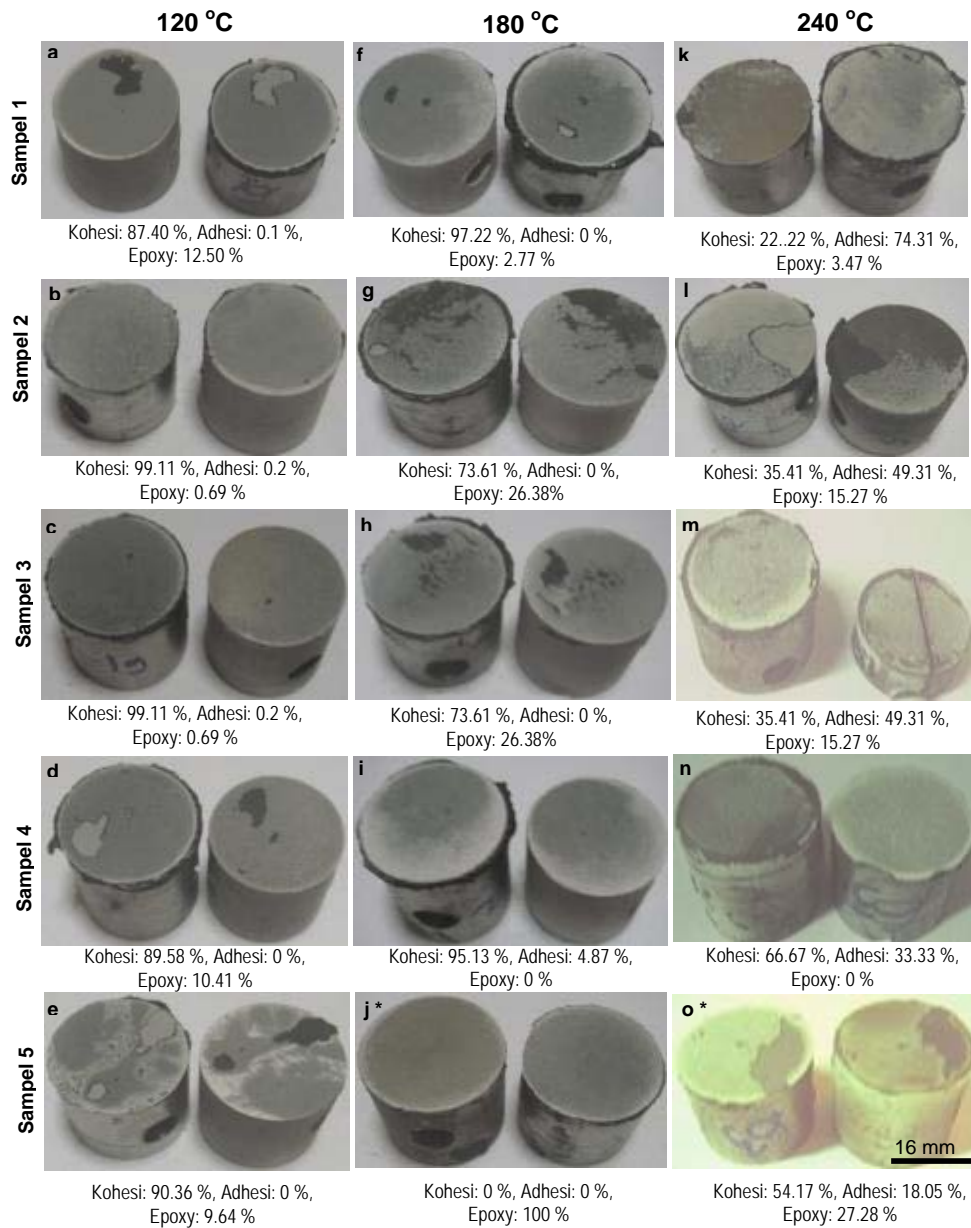
dimana:

ϵ_m = *Mismatch strain*.

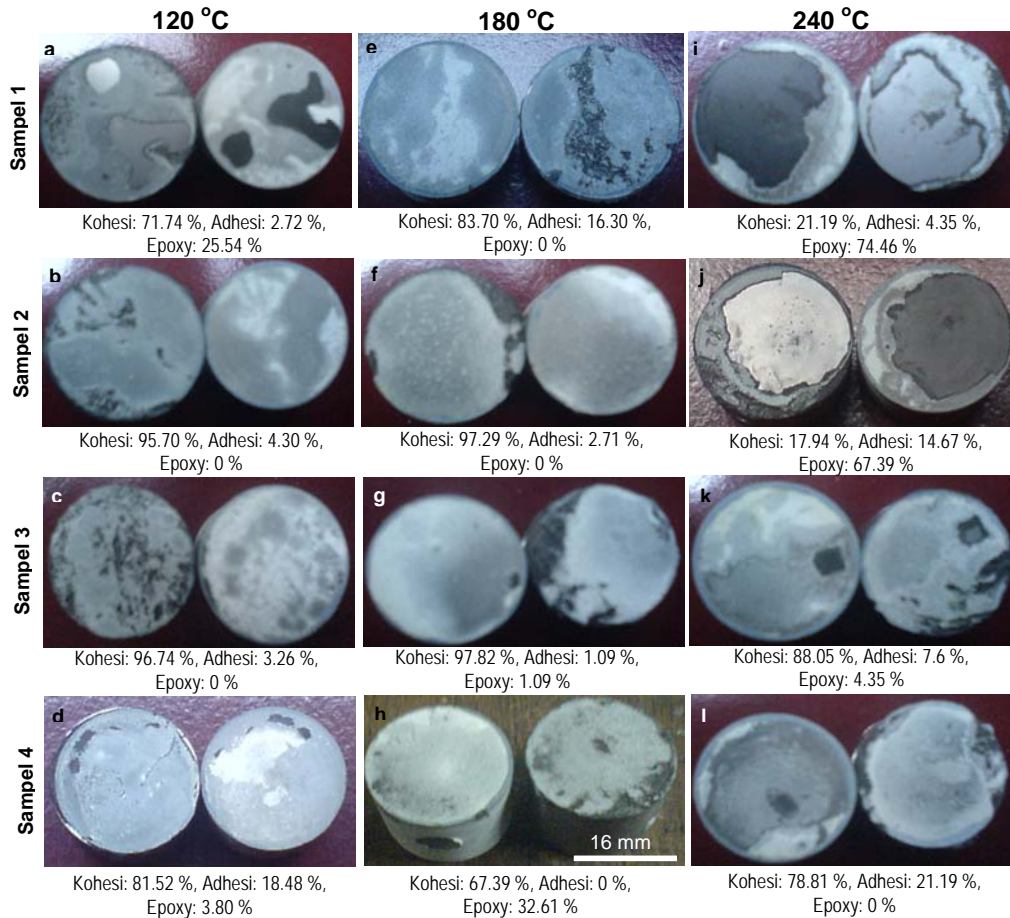
α_s = Koefisien ekspansi termal linear material substrat ($10^{-6} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$).

α_c = Koefisien ekspansi termal linear material lapisan *coating* ($10^{-6} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$).

ΔT = Selisih temperatur (°C).



Gambar 2. Bentuk perpatahan sampel uji lekat *coating* ketebalan 0,14 mm pada temperatur aplikasi (a-e) 120 °C, (f-j) 180 °C, dan (k-o) 240 °C. Sampel bertanda * tidak diikuti sertakan dalam penghitungan rata-rata mode kegagalan.



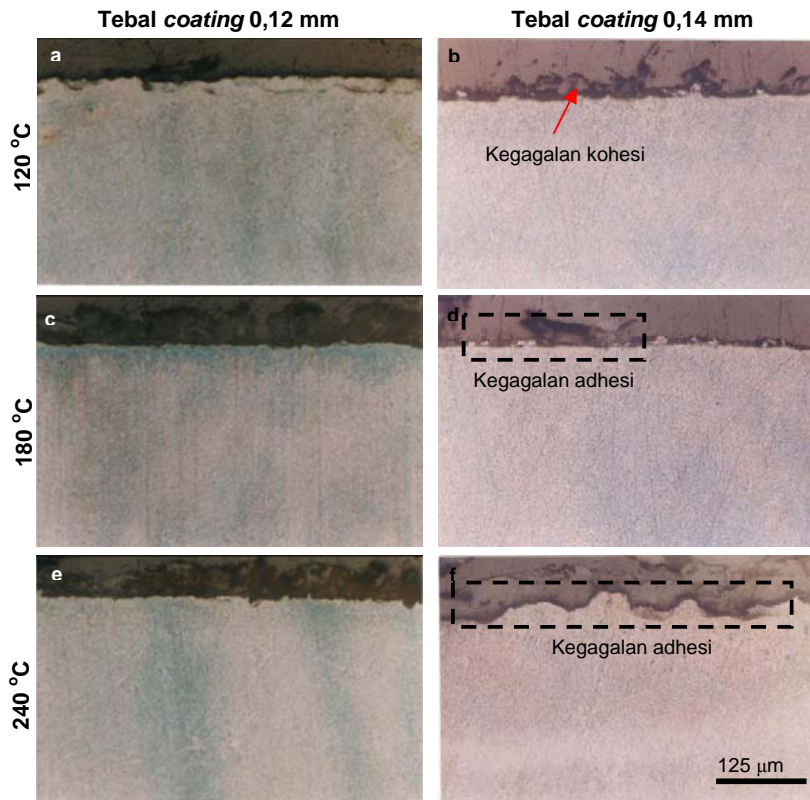
Gambar 3. Bentuk perpatahan sampel uji lekat *coating* ketebalan 0,12 mm pada temperatur aplikasi (a-d) 120 °C, (e-h) 180 °C, dan (i-l) 240 °C.

Tabel 1. *Mismatch strain* dalam berbagai rentang temperatur

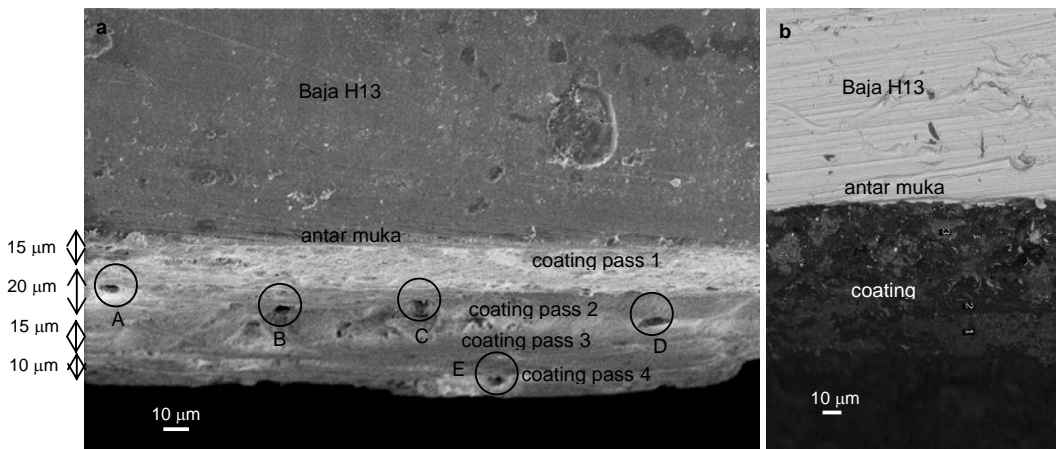
Temperatur <i>Coating</i>	ΔT (T. <i>Coating</i> -T.Pre Heat)	<i>Mismatch Strain</i> (ϵ_m)
120 °C	20 °C (120 °C – 100 °C)	179.26
180 °C	80 °C (180 °C – 100 °C)	775.68
240 °C	140 °C (240 °C – 100 °C)	1446.07

Hal sebaliknya terlihat pada sifat kekuatan kohesi, dimana seiring dengan kenaikan temperatur *coating*, sifat kekuatan tarik kohesi terlihat semakin meningkat. Hal tersebut berkaitan erat dengan reaksi *cross link* material silikon *coating* yang memiliki struktur umum *polysiloxane*^[7]. *Polysiloxane* memiliki temperatur transisi *glass* (T_g) = -150 °C dengan temperatur lebur (T_M) = -50 °C^[9] dengan temperatur dekomposisi 200 °C^[12]. Seiring mendekati temperatur dekomposisi pembentukan Si radikal (Si yang tak lagi berikatan dengan gugus metil pada *polysiloxane*) akan semakin meningkat dan akan berikatan dengan oksigen membentuk *cross link* SiO₂ yang memiliki ketahanan kikis pada temperatur tinggi yang baik^[7]. Maka seiring dengan kenaikan temperatur *coating* sifat kekuatan kohesi akan meningkat pula.

Gambar 4 menampilkan foto mikro daerah antar muka *coating* – substrat setelah dilakukan pengujian lekat *coating*, terlihat jelas bahwa seiring kenaikan temperatur *coating*, bentuk kegagalan adhesi *coating* semakin dominan dan bentuk permukaan substrat menjadi cenderung lebih kasar. Deformasi permukaan yang besar serta tak tersisanya lapisan *coating* pada temperatur aplikasi 240 °C mengindikasikan terdapatnya tegangan antar muka yang besar (tegangan dalam) sehingga rentan terjadi kegagalan adhesi.



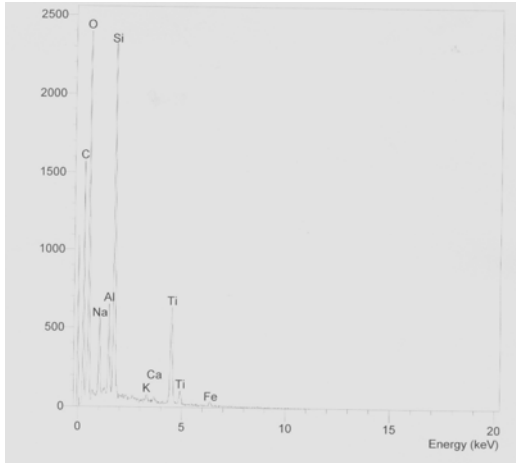
Gambar 4. Mikrostruktur perbesaran daerah antar muka *coating* – substrat H13 pada temperatur aplikasi (a-b) 120 °C, (c-d) 180 °C, (e-f) 240 °C dengan tebal *coating* 0,12 dan 0,14 mm. (Etsa nital 2%)



Gambar 5. Mikrostruktur antarmuka pada sampel dengan tebal *coating* awal 140 µm dengan temperatur aplikasi (a) 240 °C, dan (b) 180 °C.

Hasil pengamatan SEM yang dilakukan pada daerah antar muka (Gambar 5) semakin memperjelas karakteristik ikatan adhesi dan kohesi *coating* yang terjadi pada temperatur *coating* 240 °C. Pada Gambar 5 (a) terlihat lapisan *coating* yang tersisa setelah uji tarik $\pm 60 \mu\text{m}$ (dari tebal awal $140 \pm 5 \mu\text{m}$). Gambar 5 (a) terlihat pula adanya pori / void (A, B, C, D, dan E) hasil deformasi plastis setelah pengujian lekat dilakukan yang terbentuk pada daerah sambungan antar *pass* (lapisan) *coating*. Keberadaan jejak deformasi plastis tersebut mengindikasikan interaksi kohesi antar *pass* lapisan *coating* yang baik. Hal sebaliknya terlihat dari Gambar 5 (b) kondisi temperatur *coating* 180 °C. Pada Gambar 5 (b) tidak terlihat dengan jelas bentuk deformasi plastis pada daerah antar *pass coating*. Keberadaan jejak deformasi plastis pada Gambar 5 (a) menunjukkan setelah penarikan dilakukan, sambungan antar *pass coating* mampu menyerap beban tarik dengan lebih baik sebelum akhirnya terjadi kegagalan kohesi *coating*. Sehingga terlihat seiring kenaikan temperatur *coating* maka ikatan kohesi antar sambungan *coating* akan meningkat.

Gambar 6 dan Tabel 2 menunjukkan hasil analisis komposisi mikro pada material *coating* DH1 menggunakan EDS. Dari hasil tersebut terlihat unsur dominan penyusun *coating* DH1 ialah silikon (20,33 %) dan oksigen (57,06 %). Berdasarkan literatur^[7] dapat dikatakan bahwa DH1 termasuk jenis silikon *base coating*. Tingginya kandungan oksigen turut pula menguatkan analisa terjadinya reaksi *cross link* radikal Si yang berikatan dengan oksigen membentuk SiO₂ yang memiliki sifat ketahanan panas yang baik^[7] saat *coating* mengalami *curing*. Pada kondisi ini gugus metil dari rantai *polysiloxane* telah terdegradasi^[7].



Gambar 6. Spektrum EDS dari material coating DH1.

Tabel 2. Komposisi kimia EDS material *coating* DH1

Unsur	wt. %
C	4,94
Si	20,33
O	57,06
Fe	2,20
Na	5,56
Al	3,59
K	0,80
Ca	1,09
Ti	4,44

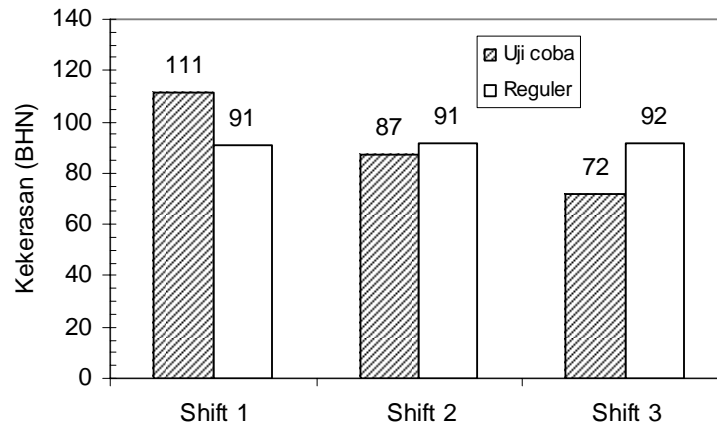
Aplikasi Temperatur 240 °C dan Ketebalan *Coating* 0,14 mm pada Pengecoran Piston

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 7 menunjukkan *coating* sudah terlepas secara menyeluruh pada beberapa daerah permukaan cetakan. Kegagalan adhesi ini disebabkan kemampuan adhesi yang terlampau 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.



Gambar 7. Kegagalan adhesif *coating* pada uji coba

Perbandingan kekerasan piston hasil produksi aktual dan hasil uji coba ditampilkan pada Gambar 7. Data kekerasan piston hasil uji coba menunjukkan adanya penurunan kekerasan seiring bertambahnya shift. Hal ini tidak sejalan dengan produksi aktual dimana kekerasan relatif konstan. 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.



Gambar 7. Perbandingan kekerasan piston hasil uji coba dan produksi reguler selama 3 shift

Kesimpulan

1. Semakin tinggi temperatur *coating* maka kekuatan ikatan kohesi antar lapisan *coating* akan meningkat. Hal ini terlihat pada temperatur *coating* 240 °C yang memiliki mode kegagalan kohesi terkecil sebesar 41,43 %.
2. Semakin tinggi temperatur *coating* maka kekuatan ikatan adhesi akan melemah. Hal tersebut terlihat pada temperatur *coating* 240 °C memiliki mode kegagalan adhesi tertinggi yaitu 52,32 %.
3. Pengamatan mikrostruktur daerah antar muka sampel uji tarik lekat *coating* pada sampel temperatur 240 °C menunjukkan adanya retakan yang merambat dari daerah antar muka ke baja H13. Selain itu mode kegagalan adhesi meningkat seiring kenaikan temperatur dimana pada foto mikro pada temperatur 240 °C hanya sedikit material *coating* yang tersisa pada permukaan baja H13.
4. Hasil pengamatan SEM memperlihatkan adanya jejak deformasi plastis berupa *void* / pori antar permukaan sambungan *coating* pada temperatur 240 °C. Hal tersebut mengindikasikan pada temperatur 240 °C *coating* memiliki sifat kohesi yang baik. Sebaliknya jejak deformasi plastis tidak terlihat pada daerah sambungan *coating* 180 °C.
5. Hasil EDS menunjukkan bahwa material *coating* DH1 yang digunakan termasuk jenis silikon *coating* dengan komposisi Si = 20,33 %.
6. Dalam aplikasi pengecoran, ikatan adhesi temperatur *coating* 240 °C terbukti memiliki ketahanan ikatan adhesi yang 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.

Ucapan Terima Kasih

Artikel ini merupakan bagian dari penelitian skripsi Sdr. Felix Natanael dan Sdr. Glen A G di Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Terima kasih kepada PT. Astra Honda Motor atas penyediaan fasilitas pengecoran dan proses aplikasi *coating* pada sampel uji.

Daftar Pustaka

1. Gruzleski, John.E. 1999. *The Treatment of Liquid Aluminium and Silicon Alloys*. American Foundry Man Society Inc. USA. (Chapter 5 : *The Properties of Modified Alloys*, Chap. 8 : *Grain Refinement*)
2. Bahan Pengajaran Mata Kuliah Pengecoran Logam Semester V, Departemen Metalurgi & Material FTUI.
3. ASM International. 1993. *ASM Specialty Handbook :Aluminium and Aluminium Alloys*.Ohio. (Chapter : *Foundry Products* halaman 88 - 108).
4. Colangelo, V.J.*Analysis of Metallurgical Failures 2nd Edition*. John Wiley & Sons : Singapore. (Chapter 11 : *Casting Defect*).
5. Bahan Pengajaran Mata Kuliah Baja Paduan Semester VI, Departemen Metalurgi & Material FTUI.
6. The American Foundry Men's Society. 1993. *Aluminium Casting Technology 2nd Edition*. ASM. (Bab. 7 : *Permanent mold casting*).
7. Weldon, D.G. 2001. *Failure Analysis of Paints and Coatings*. John Wiley & Sons (Chap. 2 : *Why Coating Work and Why They Fail*; Chap. 4 : *Additives and Solvents*).

8. Davis, J.R. 2004. *Handbook of Thermal Spray Technology*. ASM Thermal Spray Society : OHIO (Chap. *Coating Structure, Properties, and Materials*; Chap. *Testing of Coating*).
9. Packham, D.E. 2005. *Handbook of Adhesion 2nd Edition*. John Wiley & Sons (Topic : *Adhesion, Chain Polymerization, Contact Angles, Contact Angles and Interfacial tension, Critical Surface Tension, Fracture Mechanic, Internal Stress Good-Girifalco Interaction Parameter, Mechanical Theory of Adhesion, Primary Bonding at The Interface, Roughness of Surface, Roughness and Adhesion, Silicone Adhesion, Wetting and Work of Adhesion*).
10. Freund, L.B. 2003. *Thin Film Materials Stress, Defect Formation, and Surface Evolution*. Cambridge University Press : Sussex (Chap.1.7 : *Origin of Film Stress*; Chap 2.1 : *Stoney Formula*; Chap. 2.2. : *Influence of Film Thickness on Bilayer Curvature*; Chap.4.4. : *Film Delamination Due to Residual Stress*; Chap. 4.6 : *Film Cracking Due to Residual Stress*).
11. Tracton, Arthur. 2006. *Coating Technology Handbook 3rd Edition*. CRC Press : Florida. (Chap. 6 : *Adhesion Testing*; Chap. 9 : *Thermal Analysis for Coating Characterizations*; Chap. 93 : *Silicone Hard Coating*).
12. American Foundrymen's Society. *Mold & Core Coatings Manual*. (USA, 1982).
13. Kaye, Alan & Arthur Street. *Die Casting Metallurgy*. (London: Butterworths & Co Ltd, 1982).
14. Schweitzer, Philip A. *Paint and Coatings: Application and Corrosion Resistance*. (CRC,2005).
15. Hocking, MG; V Vasantasree; PS Sidky. *Metallic & Ceramic Coatings: Production, High Temperature Properties & Applications*. (Longman Group: John Wiley & Sons, 1989).
16. Packham, DE. *Handbook of Adhesion*. (John Wiley & Sons, 2005).
17. www.kemi.com/syloxane/html.