

Analisa Kegagalan pada *Fuel Intake Manifold* Pesawat Terbang Boeing 737-500

Jeffri Malau dan Rochman Rochiem.

Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: sekjur_material@its.ac.id

Abstrak - Fuel intake manifold merupakan komponen yang sangat penting di pesawat terbang dimana *fuel intake manifold* berfungsi sebagai penyalur bahan bakar yang akan dibawa ke *engine*. Pada tanggal 3 Agustus 2011 di Bandara Internasional Soekarno-Hatta ditemukan *crack* sehingga terjadi kebocoran fuel pada saat *refueling* pesawat terbang Boeing 737-500 maskapai Garuda Indonesia. Pesawat terbang ini telah bekerja selama 27937 *flight hours* dan 25992 *flight cycle*. Maka dilakukan penelitian untuk menganalisa kegagalan *fuel intake manifold* yang bertujuan untuk mengetahui penyebab, mekanisme, dan meminimalisir kegagalan yang sama. Penelitian dimulai dengan analisa material dengan uji komposisi kimia, pengujian makroskopik dan mikroskopik, uji fraktografi, uji SEM-EDX, metalografi dan uji *micro vickers hardness* serta analisa data pendukung. Setelah melakukan pengujian dan analisa data, komponen yang terbuat dari *die alloy casting A 360* dengan *yield* sebesar 170 MPa dan UTS 350 MPa. Hasil *fractography* dari analisis permukaan retakan didapat kegagalan dari *fuel intake manifold* adalah kegagalan *fatigue fracture* (kelelahan). Kegagalan *fatigue* dengan ciri-ciri retakan melewati batas butir, adanya striasi dan *dimple* (cekungan). Inisiasi retak terjadi saat *refueling* bahan bakar terjadi dipermukaan *fuel intake manifold* kemudian perambatan retaknya menjalar ke bawah.

Kata Kunci : analisa kegagalan, *crack*, *fatigue*, *fuel intake manifold*.

I. PENDAHULUAN

PT.GMF AeroAsia merupakan salah satu perusahaan perawatan pesawat terbang nasional dan internasional yang banyak mendapat berbagai masalah tentang pesawat, baik itu kerusakan *engine*, *body*, *mechanical system*, *electrical system* dan lain-lain. Dalam menjalankan usahanya PT.GMF AeroAsia mengedepankan keselamatan, keunggulan dan presisi serta penerapan teknologi dengan dukungan tenaga profesional andal dan berpengalaman.

Dalam industri penerbangan pemeriksaan dan perawatan komponen mesin dan struktur sangatlah penting. Kegagalan suatu komponen mesin dalam pesawat terbang dapat menyebabkan *catastrophic effect* (bencana) yang dapat merugikan [1]. Oleh sebab itu diperlukan check dan maintenance untuk memastikan semua komponen mesin dalam kondisi prima.

Permasalahan yang terjadi di PT.GMF AeroAsia pada 3 Agustus 2011 di Bandara Udara Internasional Soekarno-Hatta ditemukan kebocoran *fuel* pada saat *refueling* dikarenakan *cracked manifold* pada pesawat terbang Boeing 737- 500 (PK-GGC) maskapai Garuda Indonesia. Pesawat ini telah bekerja selama 27937 *flights hours* dan 25992 *flight cycle*. *Intake manifold* mendistribusikan bahan bakar yang diproses oleh karburator ke silinder-silinder. *Fuel intake manifold* dibuat dari paduan aluminium, yang dapat memindahkan panas lebih efektif dibandingkan logam lainnya. Pada beberapa *engine intake manifold* letaknya dekat dengan *exhaust manifold*. Komponen ini dioperasikan pada kondisi temperature kamar disaat *refueling* bahan bakar. Banyak faktor yang dapat mempengaruhi terjadinya kegagalan komponen *fuel intake manifold* yaitu kondisi lingkungan yang ekstrim, ketidaktepatan dalam pemilihan material, korosi, dan pemasangan *fuel intake manifold* [2].

Dari informasi kegagalan, dan pengumpulan data mengenai *fuel intake manifold*, kemudian dilakukan penelitian mengenai analisa kegagalan material. Metode analisa yang dilakukan dua metode meliputi pengamatan makro, dan mikro. Hasil akhir dari penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan rekomendasi yang selanjutnya untuk meminimalisir jenis kegagalan yang sama di kemudian hari [3].

II. METODOLOGI PENELITIAN

Dari informasi kegagalan, dan pengumpulan data mengenai komponen *fuel intake manifold*, kemudian dilakukan penelitian untuk analisa kegagalan material. Metode analisa penelitian yang dilakukan dua metode meliputi pengamatan makro dan mikro. Pengamatan makro dilakukan dengan menggunakan kamera dan stereomikroskop. Sedangkan pengamatan mikro digunakan uji komposisi (XRF), metalografi, uji SEM-EDX, dan uji kekerasan (*micro hardness vickers*) [4].

III. DATA DAN PEMBAHASAN

A. Material

Material yang digunakan pada komponen *fuel intake manifold* ini adalah paduan aluminium (*aluminium alloy casting*) A 360 sesuai dengan kode ASTM B-85 [5]. Paduan aluminium akan mempunyai kekuatan mekanik yang tinggi apabila ditambahkan unsur Si, Mg, Cu, Zn, Ni dan sebagainya[6]. Adapun komposisi kimia dan sifat mekanik dari komponen *fuel intake manifold* seperti tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Komposisi Kimia A-360 (ASM International)

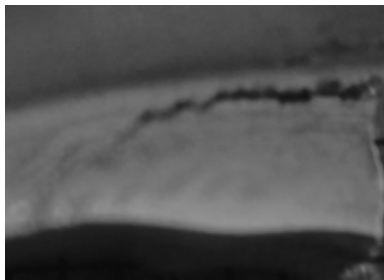
Unsur	Komposisi (%)
Si	9.00 – 10.0
Mg	0.40 – 0.60
Ti	-
Mn	0.35 max
Fe	2.00 max
Ni	0.50 max
Cu	0.60 max
Zn	0.50 max
Sn	0.15 max
Al	Balance

Tabel 2. Sifat mekanik material *Aluminium Alloy A-360*

Part	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)	Elongation (%)
A 360	350	170	3.5



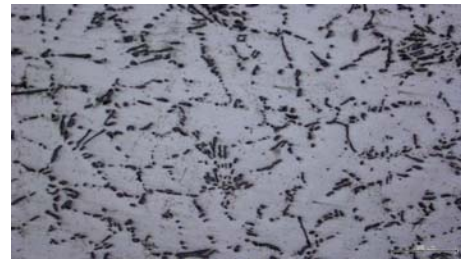
Gambar 1. Spesimen retak



Gambar 2. Spesimen retak perbesaran 40 x

Tabel 3. Hasil komparasi uji komposisi (ASTM B-85)

Unsur (%)	Material Retak	ASM International
Si	9.78	9.00 – 10.0
Mg	0.45	0.40 – 0.60
Ti	0.16	-
Mn	0.003	0.35 max
Fe	0.06	2.00 max
Ni	0.00	0.50 max
Cu	0.004	0.60 max
Zn	0.01	0.50 max
Sn	-	0.15 max
Al	Balance	Balance



Gambar 3. Struktur mikro perbesaran 100 x



Gambar 4. Struktur mikro perbesaran 200 x



Gambar 5. Struktur mikro perbesaran 1000 x

B. Pengamatan makro

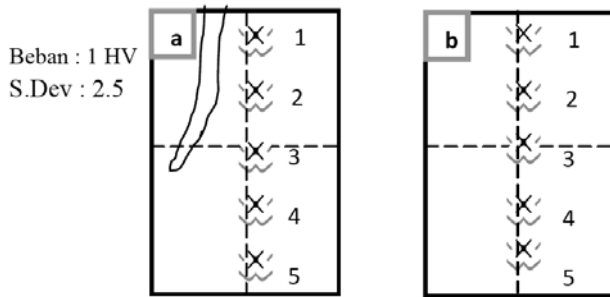
Dari hasil pengamatan secara visual secara makro dengan menggunakan kamera SLR dan stereomikroskop maka didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 dan 2. Pada gambar 1 terlihat adanya indikasi retak pada permukaan material fuel intake manifold, terlihat retakan menjalar arah membusur dengan dimensi retakan yang besar. Retakan yang terjadi pada material fuel intake manifold memiliki tipe intergranular atau transgranular crack.

C. Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Uji komposisi menggunakan XRF (*X-ray Fluorescence*) pada komponen *fuel intake manifold*. Pengujian ini untuk mengetahui komposisi kimia pada spesimen material A 360, pengujian ini dilakukan pada spesimen yang mengalami kegagalan. Hasil pengujian komposisi kimia ditunjukkan pada tabel 3. Dari hasil pengujian komposisi dengan XRF (*X-ray Fluorescence*) terdapat ketidakcocokan komposisi unsur kimia spesimen retak dibandingkan dengan ASTM B-85. Kadar unsur Titanium (Ti) keluar dari standart sebesar 0.16 %. Adanya unsur Titanium pada komponen *fuel intake manifold* ditujukan untuk meningkatkan sifat kekerasan dan ketahanan korosinya. Namun unsur Ti bukan faktor penting penyebab terjadi kegagalan [7].

D. Hasil Pengujian Metalografi

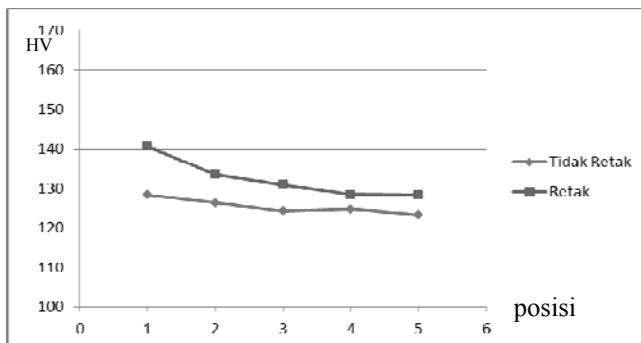
Pengujian struktur mikro untuk mengetahui fasa yang didapat pada material, pengujian struktur mikro menggunakan ASTM E-3. Pengujian struktur mikro ini



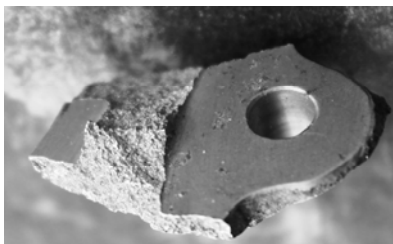
Gambar 6. (a) Posisi indentasi pada material daerah retak, (b) Posisi indentasi pada material daerah tanpa retak

Tabel 4. Hasil pengujian kekerasan pada *fuel intake manifold* yang mengalami kegagalan

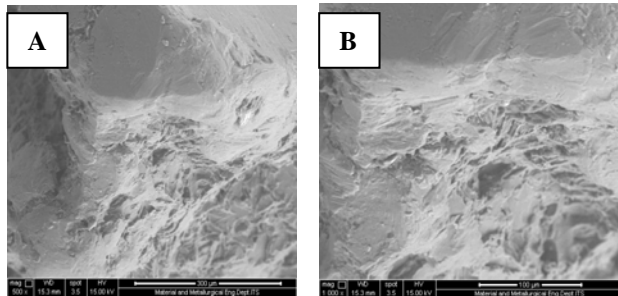
Posisi	HV (Micro vickers)	
	Material Retak	Material tanpa retak
1	140.7	128.4
2	133.6	126.3
3	131.0	124.3
4	128.5	124.8
5	128.3	123.3



Gambar 7. Grafik nilai kekerasan material *fuel intake manifold*



Gambar 8. Spesimen uji SEM



Gambar 9. Daerah awal retak (a) 500 x dan (b) 1000 x

dilakukan pada *fuel intake manifold* yang mengalami kegagalan.

Dari hasil pengujian metalografi dengan menggunakan etching HF (*Hydrofluoric Acid*) didapatkan struktur mikro yang terjadi adanya fasa hipoeutektik silikon pad material yang diuji. Dikarenakan pada material A 360 terdapat 9.78 % Si pada komponen *fuel intake manifold* yang mengalami kegagalan Dalam hal ini, terdapat presipitat pada material A 360 yang menyebar secara acak dengan proses *natural aging*. Pengerasan presipitat dapat menurunkan kekuatannya bila mengalami *overaging*. Jika dilihat dari hasil pengujian struktur mikro oleh Gambar 4.8 menunjukkan daerah terang matriks α Al dan daerah berwarna abu-abu dan gelap adalah persebaran eutektik aluminium – silikon [8].

E. Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan *microhardness vickers* dengan menggunakan ASTM E-384 dengan distribusi indentasi dari sisi diameter terluar hingga pusat diameter dalam. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan masing-masing 5 titik indentasi pada spesimen yang retak dan tidak retak dengan berat 1000 gram. Hasil pengujian kekerasan ditunjukkan pada tabel 4 dan lokasi indentasi pada gambar 6. Dari hasil pengujian kekerasan material yang retak dan tidak retak diperoleh bahwa nilai kekerasan yang tidak retak memiliki rata-rata kekerasan adalah 125.4 HV sedangkan pada material yang retak dengan rata-rata kekerasan adalah 132.42 HV. Kekerasan maksimum terdapat pada posisi indentasi yang paling dekat dengan retakan *fuel intake manifold* yang mempunyai nilai kekerasan sebesar 140.7 HV karena daerah ini mengalami pembebanan paling tinggi. Kekerasan material *aluminium alloys die casting A 360* adalah 86 HV sehingga kekerasan berlebih dari hasil uji kekerasan ini.

F. Hasil Pengujian SEM (Scanning Electron Microscope)

Pengujian SEM dilakukan untuk mengamati pola patahan yang terjadi pada suatu material dengan magnifikasi yang tinggi. Sampel yang digunakan untuk pengujian SEM adalah material retak yang diamati adalah daerah awal retak (*crack initiation*), daerah propagasi (*crack propagation*), dan patah akhir (*final fracture*) [9]. Hasil pengujiannya dapat dilihat gambar 8 dan 9. Pada gambar 9 merupakan daerah awal retak ini dikuatkan dengan ditemukannya perbedaan warna pada permukaan patahan yang lebih terang dibandingkan dengan daerah propagasi yang memiliki warna lebih gelap pada gambar 10. Striasi tampak pada gambar 10(a), hasil observasi permukaan patahan dimana terjadinya perambatan yang melebar. Pada gambar 10 (c) tampak suatu morfologi patahan dimple pada daerah propagasi. Dimple (lesung) pada permukaan patahan yang diindikasikan adanya suatu beban yang berlebihan (*overload*) dan kelelahan pada material. Hasil pengamatan SEM permukaan patahan terdapat striasi, hal ini semakin menguatkan analisa permukaan patahan bahwa kegagalan yang terjadi pada komponen *fuel intake manifold* adalah kegagalan *fatigue*. Pada gambar 11 tampak bahwa morfologi patahan tersebut adalah *cleavage*, sehingga patahan permukaan akhir adalah jenis permukaan patah getas [10].

Tabel 4. Hasil SEM-EDX pada material *fuel intake manifold* yang tidak mengalami retak.

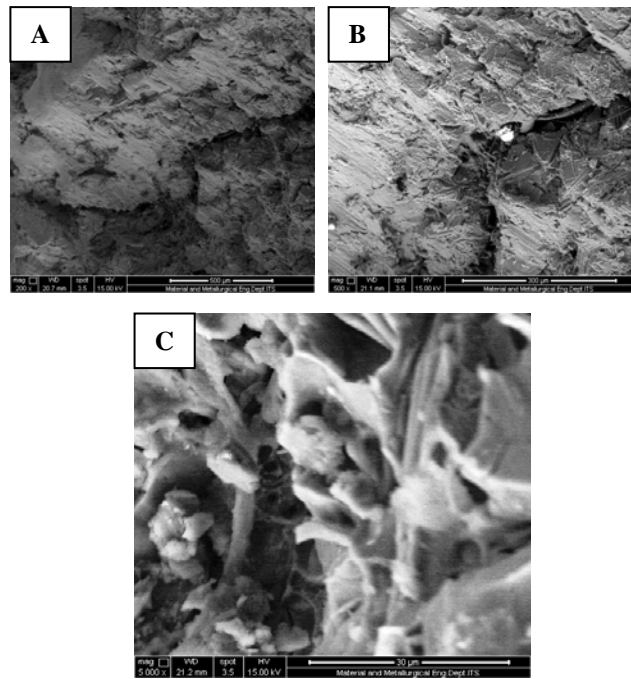
Element	Wt%	At%
AlK	81.66	82.26
SiK	18.34	17.74
Matrix	Correction	ZAF

Tabel 7. Hasil SEM-EDX pada material *fuel intake manifold* di daerah propagasi.

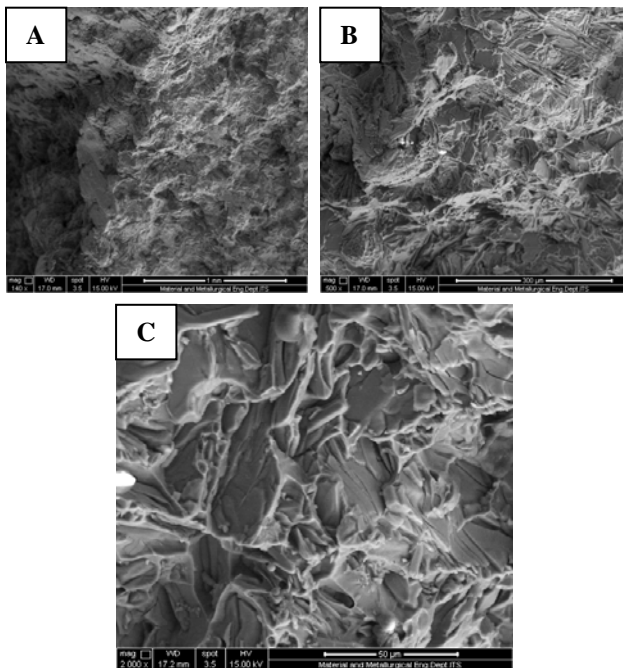
Element	Wt%	At%
OK	06.51	10.70
AlK	45.53	44.39
SiK	47.96	44.92
Matrix	Correction	ZAF

Tabel 6. Hasil SEM-EDX pada material *fuel intake manifold* di daerah patah akhir.

Element	Wt%	At%
CK	15.45	21.60
OK	60.56	63.58
AlK	18.76	11.68
SiK	05.23	03.13
Matrix	Correction	ZAF



Gambar 11. Daerah patah akhir (a) 200 x (b) 500 x dan (c) 5000 x



Gambar 10. Daerah propagasi (a) 140 x (b) 500 x dan (c) 2000 x

G. Hasil Pengujian SEM-EDX

Pengujian SEM-EDX dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur kimia penyusunnya, sehingga diketahui unsur apa yang menyebabkan material itu retak dan sampai patah. Sampel yang digunakan adalah spesimen tidak retak dan spesimen retak. Hasil pengujian SEM-EDX diberikan pada tabel 4, 5, dan 6.

Dari hasil pengujian SEM-EDX pada material tidak retak ditunjukkan hanya terdapat unsur aluminium sebesar 81.66 % dan silikon sebesar 18.34 %. Tampak tidak adanya timbul unsur lain yang dapat menimbulkan suatu inklusi dan oksidasi. Sedangkan pada daerah retak hasil SEM-EDX tampak adanya unsur lain seperti oksigen pada tabel 4 dan 5 dan karbon pada gambar 5 yang memungkinkan membentuk senyawa yang dapat menurunkan sifat material.

Pengujian yang telah dilakukan, didapatkan mekanisme kegagalan dari *fuel intake manifold* terdapat striasi menjadi awal perambatan retak kemudian retaknya memanjang sampai pada akhirnya komponen tersebut patah. Hasil pengamatan dari semua pengujian dan melihat ciri-ciri kegagalan secara makro dan mikro dapat dikategorikan kegagalan material *fuel intake manifold* adalah kegagalan *fatigue*.

IV. KESIMPULAN

1. Faktor yang menyebabkan kegagalan komponen pada *fuel intake manifold* pesawat terbang Boeing 737-500 yaitu *fatigue failure*
2. Mekanisme kegagalan komponen *fuel intake manifold* terjadi pada proses maintenance pesawat terbang saat membuka dan menutup *fueling shutoff valve* yang mendapatkan tegangan berlebihan. Setiap kali

mendapatkan tegangan maka retak merambat, dan akhirnya tidak mampu lagi menerima beban yang bekerja dan patah. Awal pembentukan retak terjadi di permukaan *fuel intake manifold* dan perambatannya ke bagian dalam *fuel intake manifold*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] William D. Callister, *Material Science and Engineering (An Introduction)*, New York : John Wiley & Sons, Inc (2007).
- [2] Shin-Ichi Nishida, *Failure Analysis in Engineering Application*. Jordan Hill: Oxford. Butterworth-Heinemann Ltd (1992).
- [3] Charles R. Brooks dan Ashok Choudhury, *Failure Analysis of Engineering Materials*, New York : McGraw-Hill (2001).
- [4] V. J. Colangelo, *Analysis of Metallurgical Failures Second Edition*. Singapore : John Wiley & Sons, Inc (1989).
- [5] M. J. Donachie dan S. J. Donachie, *Superalloys A Technical Guide Second Edition*. Material Park. Ohio. USA. ASM International (2003).
- [6] Geoff Budd, *Resources and Production of Aluminium*, Birmingham : Aluminium Federation (1991).
- [7] Geoff Budd, *ASM Handbook Vol.2 Properties and Selection Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials*, Material Park. Ohio. USA. ASM International (2002).
- [8] Geoff Budd, *ASM Handbook Vol.9 Metallographic and Microstructure*. Material Park. Ohio. USA. ASM International (2002).
- [9] Geoff Budd, *ASM Handbook Vol.11 Failure Analysis and Prevention*. Material Park. Ohio. USA. ASM International (2002).
- [10] Geoff Budd, *ASM Handbook Vol.12 Fractography*. Material Park. Ohio. USA. ASM International (2002).