

Studi Kasus Terjadinya *Lightning strike* pada Horizontal Stabilizer Pesawat *Boeing 737-900 ER PK-LSR*

Ilyas Hilmi Wijaya^{*1}, Nurul Fadilah, and James Siregar^{*}

* Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknik Mesin

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

¹E-mail: : ilyashilmiwjy@gmail.com

Abstrak

Pesawat *boeing 737-900 ER* dengan no. registrasi PK-LSR umumnya terbang di ketinggian *31.000 feet-36.000 feet* pada saat normal. Tetapi, jika pesawat dibutuhkan untuk terbang rendah dibawah ketinggian *30.000 feet*. Dimana wilayah operasi terbang tersebut, berpotensi Terkena sambaran petir yang dapat menyebabkan *Damage* biasa disebut *lightning Strike*.. Saat melakukan *general visual inspection*, *engineer* telah menemukan adanya *damage* pada *horizontal stabilizer* di pesawat *boeing 737-900 ER*. Setelah ditemukan *damage* yang dinyatakan lebih dari toleransi yang dianjurkan pada Horizontal stabilizer kemudian diperoleh kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan analisis yang telah dilakukan sebelumnya berkaitan tentang penyebab masalah yang ada pada pesawat *boeing 737-800/900 ER* yaitu *fuel consumption* bertambah yang normalnya *4875 L* menjadi *4916 L* sehingga menyebabkan *Fuel cost per hour \$4.431* berkurangnya *605.480* ribu. Ketika pesawat dilakukan perbaikan dengan cara di doubler mengacu pada *SRM (Structure Repair Manual)*. Setelah semuanya selesai lalu dilakukannya *pre-flight* dari batam menuju Jakarta dan landing pilot menyatakan *fuel consumption* sudah kembali normal dilihat dari *fuel capacity* di indikator cockpit. Pada akhirnya *engineer* menyatakan pesawat *airworthy* atau layak terbang.

Kata kunci: *Boeing 737-900 ER, Lightning Strike, Horizontal Stabilizer*

Abstract

On Boeing 737-900 ER aircraft with No. PK-LSR registration includes a flight control or aircraft steering system. The horizontal stabilizer is one of the flight control parts that functions to maintain the flight stability of the aircraft on the lateral axis. so it is agreed that it is very important. While conducting a general visual inspection, engineers have discovered damage to the horizontal stabilizer on the Boeing 737-900 ER aircraft. After finding damage which is stated to be more than the recommended tolerance on the Horizontal stabilizer, conclusions can be drawn based on the analysis that has been carried out previously regarding the causes of problems on the Boeing 737-800/900 ER aircraft, namely increased fuel consumption which is normally 4875 L to 4916 L causing fuel costs per hour of \$4.431 to decrease by 605.480 thousand. When an aircraft is repaired by means of a doubler, refer to the SRM (Structure Repair Manual). After everything was finished, a pre-flight was carried out from Batam to Jakarta and the landing pilot stated that fuel consumption had returned to normal seen from the fuel capacity on the cockpit indicator. In the end the engineer declared the plane is airworthy

Keyword : *Boeing 737 900-ER, Lightning Strike, Horizontal Stabilizer*

1 Pendahuluan

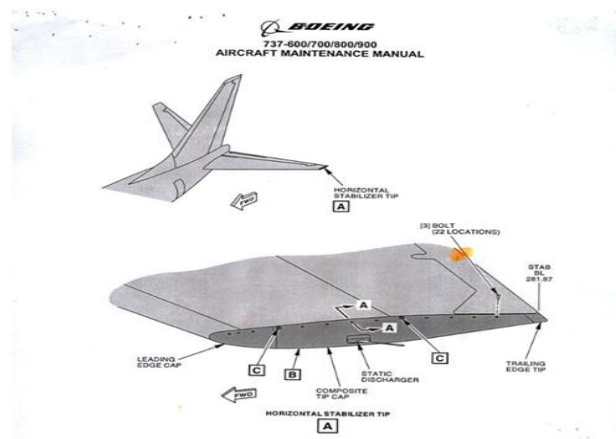
Pesawat *boeing 737-900 ER* dengan no. Registrasi PK-LSR umumnya terbang di ketinggian *31.000 feet-36.000 feet* pada saat normal. Tetapi, jika pesawat dibutuhkan untuk terbang rendah di bawah ketinggian *30.000 feet*. Wilayah operasi terbang tersebut, berpotensi terkena sambaran petir yang dapat menyebabkan *damage* biasa disebut *lightning strike*. Pada umumnya petir terjadi karena adanya beda potensial antara awan dengan bumi atau dengan awan lainnya. Ketika muatan positif terbentuk di bagian atas awan dan muatan negatif terbentuk di bagian bawah awan. Selain itu seiring bertambahnya muatan positif dan negatif akan terjadi percikan besar di antara awan dikarenakan negatif lebih banyak daripada positif. Ketika tidak seimbang akan terjadi pelepasan listrik lalu ke bumi (Griffith, 1995). Umumnya petir terjadi di antara awan, namun terkadang juga terjadi di antara awan dan permukaan bumi. Pesawat seri terdahulu umumnya menggunakan *material aluminium alloy* pada *surface* (permukaan). *Aluminium alloy* merupakan material konduktor listrik yang baik. Saat petir menyambar listrik akan mengalir sepanjang rute yang hambatannya paling kecil pada permukaan secara alami ke bumi. Tapi, seiring perkembangan zaman manufaktur mulai menggunakan material *composite* yang tidak dapat menghantarkan listrik dengan baik. Pada saat petir menyambar permukaan pesawat yang menggunakan *material non-conductive (composite)*. Material *composite* akan menahan aliran listrik yang melewatinya sehingga menyebabkan panas hingga *50.000 Fahrenheit* dan menyebabkan terbakar dikarenakan alirannya tertahan pada satu titik. Berikut contoh gambar *lightning strike* (Stephen Henning, 2023).[1]



Gambar 1: *Lightning strike*

Saat melakukan *maintenance* pilot memberi keluhan kepada *engineer* via *AFML (Aircraft Flight Maintenance Logbook)* adanya *fuel consumption* yang berlebih tertulis didalam *AFML* “*fuel consumption higher while cruising*” setelah itu dilakukan *OPC (Operational Check)* diseluruh system pesawat *boeing 737-900 ER*. Pada saat *engineer* melaksanakan *general visual inspection* ditemukan adanya *damage* pada *horizontal stabilizer* di pesawat *boeing 737-900 ER*. *Horizontal stabilizer* adalah salah satu dari bagian *flight control* yang berfungsi untuk menjaga kestabilan terbang pesawat pada sumbu *lateral* sehingga perannya sangat penting untuk menjaga kestabilan terbang pesawat pada sumbu *lateral*. *Flight control system* yang terdapat di *boeing 737-900 ER* terbagi menjadi 2 yaitu *primary flight control* dan *secondary flight control*. *Primary flight control* berfungsi untuk menggerakkan pesawat pada tiga sumbu: *lateral, longitudinal, dan vertical*. *Primary flight control* terbagi menjadi 3 komponen yaitu: 1. *Aileron* merupakan *flight control* yang berada pada sayap pesawat. *Aileron* berfungsi untuk melakukan gerakan memutar pada sumbu memanjang atau disebut dengan *rolling*. 2. *Elevator* merupakan sistem kendali pesawat yang

digunakan untuk mengontrol posisi hidung pesawat dan *Angle of attack* (sudut serang sayap) yang biasa disebut dengan *pitching*. 3. *Rudder* merupakan permukaan *flight control system* yang mengontrol rotasi terhadap sumbu vertikal pesawat. Gerakan ini disebut dengan “*yaw*”. Sedangkan, *secondary flight control* berfungsi untuk meningkatkan gaya *lift* dan *handling properties* yang ada pada pesawat. *Secondary flight control* terbagi menjadi 4 komponen yaitu: 1. *Flaps* meningkatkan daya angkat pesawat ketika lepas landas (*take-off*) dan mendarat (*landing*) 2. *Spoiler* atau *lift dumper* adalah perangkat yang dimaksudkan untuk mengurangi *lift* di pesawat. *Spoiler* berada di permukaan atas sayap yang dapat memanjang ke atas ke aliran udara dan merusaknya. *Ground spoiler* mengurangi daya angkat serta meningkatkan hambatan dan digunakan saat mendarat untuk *brake* (rem), 3. *Horizontal stabilizer* berfungsi untuk menjaga kestabilan terbang pesawat pada sumbu *lateral* (Chris Brady, 1999) Terdapat gambar sistem kemudi pesawat terbang.[2]



Gambar 2 : Horizontal Stabilizer

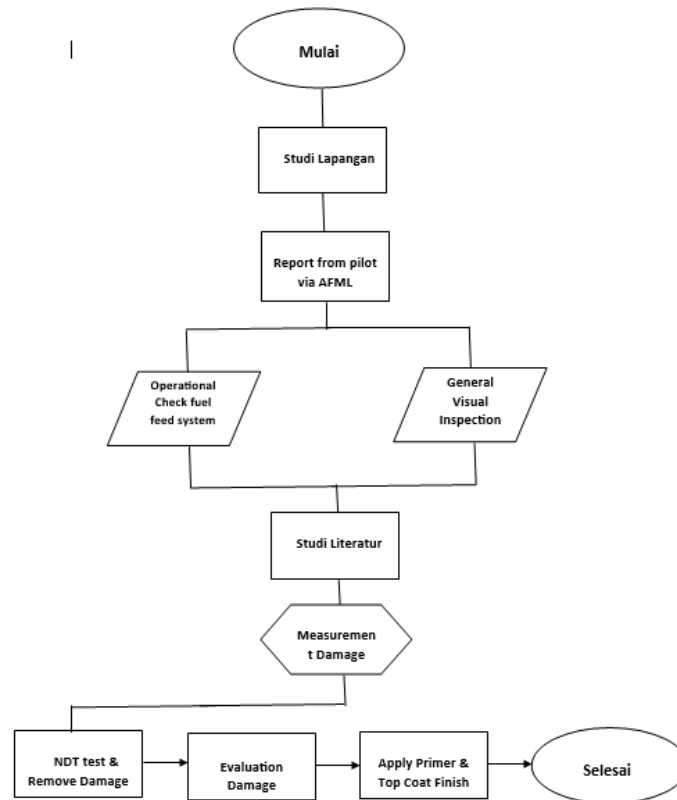
Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui prosedur *maintenance* yang perlu dilakukan serta dampak yang terjadi pada pesawat saat terbang, setelah ditemukan *damage* maka dibuatlah *form MDRR (Maintenance Defect Rectification Report)* yang berfungsi sebagai *form* pengajuan saat ditemukannya kecacatan yang ada pada pesawat, selanjutnya *MDRR* akan diajukan ke divisi *PPC (production, planning and control)* untuk menerbitkan *Taskcard* (Lembar kerja) berupa *N/R (Non-Routine Taskcard)*.

Adapun metode yang digunakan yaitu identifikasi *damage* pada pesawat *boeing 737-900 ER PK-LSR* mengacu pada *SRM (Structure Repair Manual)*, Setelah melakukan identifikasi diketahui *damage* yang ada pada *Horizontal Stabilizer* yaitu *Lightning Strike*. Akibatnya, konstruksi pesawat yang seharusnya *airfoil* menjadi tidak *airfoil* bentuknya. Hal tersebut, akan menimbulkan *drag* pada pesawat dan mempengaruhi *fuel consumption* pada pesawat. Sesuai prosedur jika sudah diketahui *damage* maka kita tentukan lokasi *damage* mengacu dari *AMM (Aircraft Maintenance Manual)* serta *IPC (Illustrated Part Catalog)* untuk mengetahui lokasi pasti dimana *damage* tersebut.

Batasan masalah yang diambil adalah penanganan terjadinya *fuel consumption* yang berlebih pada indikator *fuel capacity* di dalam cockpit dengan metode *general visual inspection*. Ruang lingkup lokasi pelaksanaan studi kasus pada objek ini berada di *PT Batam Aero Technic*. Usaha perbaikannya yaitu dengan cara mengukur *damage* yang ada pada *horizontal stabilizer*, selanjutnya hilangkan terlebih dahulu *damage* pada *horizontal stabilizer* untuk dilakukan *detail visual inspection* yang berfungsi untuk identifikasi ada tidaknya *damage* yang lain pada *structure* pesawat, selanjutnya *perform NDT (Non Destructive Test)* untuk mengetahui berapa dalam *damage* pada *skin*, setelah itu *Remove damage* lalu evaluasi *damage* apakah masih masuk dalam *limit* yang telah ditentukan dan yang terakhir usaha perbaikannya yaitu dengan cara *doubler* oleh divisi *BME* pesawat serta *repainting*.

2 Metodologi Penelitian

Pada gambar ini akan memberi gambaran jalannya sebuah program dari satu proses ke proses lainnya. Sehingga, alur program menjadi mudah dipahami menggunakan *Flowchart*.



Gambar : *Flowchart*

2.1 Studi Lapangan

Studi lapangan tahap awal pencarian dalam mencari topik yang akan diangkat ke dalam tugas akhir penulis. Pada proses ini penulis akan melakukan identifikasi ke pesawat secara langsung khususnya pesawat *boeing 737-900 ER PK-LSR*.

2.2 Report from pilot via Aircraft Flight Maintenance Logbook(AFML)

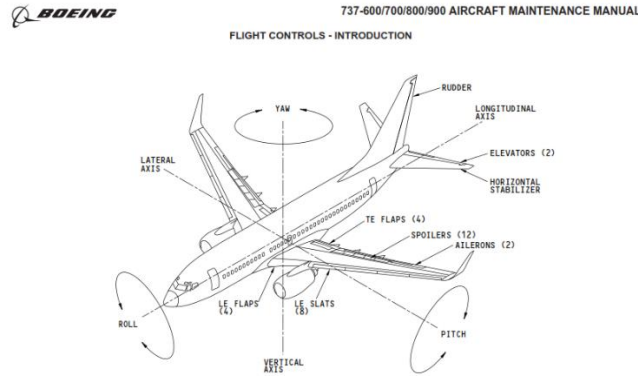
Di kasus ini *engineer* mendapat laporan dari pilot via AFML (*Aircraft Flight Maintenance Logbook*) pada saat *cruising* setelah terkena *lightning strike fuel consumption* pada pesawat bertambah.

2.3 Operational Check/General Visual Inspection

Selama proses *operational check pada fuel feed system engineer* telah menyatakan bahwa tidak adanya leakage atau kebocoran pada fuel feed system, setelah itu dilakukan *general visual inspection* untuk melihat secara langsung ke seluruh area pada pesawat *boeing 737-900 ER* ada tidaknya *damage*, korosi, goresan, dll. Lalu ditemukan adanya *damage* pada *secondary flight control*. Setelah diidentifikasi diketahui *damage* yang ada adalah *lightning strike*. Diketahui bahwa *damage lightning strike* ditandai dengan adanya titik kecil dikarenakan listrik yang besar keluar ke titik yang sama atau bisa kita sebut *output discharge* setelah listrik itu merambat ke seluruh bagian pesawat.

2.4 Studi Literatur

Pada temuan masalah tersebut, diperlukan untuk mengetahui penyebab serta cara penanganan yang tepat agar pesawat dapat berfungsi dengan baik. Studi literatur dilakukan untuk mencari serta mengumpulkan informasi dan data pada kasus tersebut berdasarkan referensi *Aircraft Maintenance Manual (AMM)*, *Structure Repair Manual (SRM)*, dan *Illustrated Parts Catalog (IPC)*. Damage pada *horizontal stabilizer* memiliki limitasi berapa dalamnya *damage* diperbolehkan, merujuk pada *structure repair manual (SRM). ATA Chapter 27 Boeing 737- 900 ER.*[3]



Gambar 2.3 : *Aircraft Maintenance Manual ATA 27*

2.5 Measurement Damage

Setelah ditemukannya *damage* mengacu pada *SRM (Structure Repair Manual)* ukur menggunakan *vernier caliper Length* atau panjang dari *damage* itu serta *width* atau lebar *damage* pada *horizontal stabilizer*.

2.6 Remove Damage & NDT(Non Destructive Test)

Lalu hilangkan *damage* menggunakan *grinder*. Jika masih kasar *sanding* menggunakan *sand paper* serta amplas kembali menggunakan *scotchbrite* agar lebih *smooth*. Setelah itu ukur limitasi menggunakan *special tools* yaitu *High frequency edy current*. Metode ini menggunakan arus bolak-balik yang dihasilkan oleh kumparan induksi untuk membangkitkan medan elektromagnetik pada permukaan benda yang akan diperiksa. Medan elektromagnetik tersebut akan mempengaruhi arus induksi di dalam benda, tergantung pada karakteristik dari benda tersebut, seperti ukuran, bentuk, dan sifat elektrik dan magnetiknya. Jika terdapat cacat atau kerusakan pada permukaan benda, medan elektromagnetik yang dihasilkan akan berubah, sehingga arus induksi juga akan berubah. Perubahan tersebut kemudian akan dikonversi menjadi sinyal listrik yang dapat dianalisis untuk mengetahui lokasi, ukuran, dan jenis kerusakan pada benda serta limitasinya.[4]



Gambar 2.4 : *High frequency Edy current*

2.7 Evaluation Damage

Ketika sudah dilakukannya *remove damage* serta *NDT (Non Destructive Test)* evaluasi damage apakah masih dalam *limit* yang dianjurkan *SRM (Structure Repair Manual)* atau *out of limit*. Jika terjadinya *out of limit* engineer akan membuat *report* ke divisi *BME (Base Maintenance Engineering)* jika tidak penanganannya dengan cara grinder atau amplas menggunakan sandpaper, lalu agar damage pada horizontal stabilizer smooth haluskan menggunakan scotchbrite atau spons kasar.

2.8 Apply Primer And Top coat Finish

Ketika diketahui hasilnya tidak melebihi *limit* yang diperbolehkan mengacu pada *Structure Repair Manual (SRM)*. Beri *alodine* untuk mencegah terjadinya korosi pada *skin* lalu *apply primer* atau cat primer pada *skin* yang sudah di *remove damage*. Jika *limit* beri itu beri *alodine* pada bagian *damage* Lalu lakukan *top coat finish* atau bisa kita kenal dengan cat lapisan terakhir pada *skin* yang telah diberi primer.[5]



Gambar 2.5 : Top coat finish

3. Analisa Data dan Pembahasan

3.1 Analisis Inspeksi Terhadap Kebocoran Fuel pada Boeing 737-900 ER

Pada saat dilakukan *operational check* pada *fuel feed system*, *engineer* menyatakan tidak ada kebocoran yang terdeteksi. Proses ini mencakup pengamatan terhadap *fuel feed system* untuk memastikan *fuel* tidak bocor yang mengancam operasional pesawat. Setelah itu, dilakukan *GVI (General Visual Inspection)* yang dilakukan pada pesawat *boeing 737-900 ER*, ditemukan adanya *damage* pada *secondary flight control*. Kerusakan ini diidentifikasi sebagai akibat dari *lightning strike*, yang ditandai dengan adanya titik kecil di area tersebut. *Lightning strike* terjadi ketika listrik yang besar keluar ke titik tertentu setelah merambat ke seluruh bagian pesawat. Maka perlu untuk mengetahui penanganan yang tepat untuk mengurangi *fuel consumption* pada pesawat yaitu dengan cara melihat limitasi *damage horizontal stabilizer* mengacu pada *SRM (Structure Repair Manual) ATA chapter 55*.

3.2 Pengukuran Damage Pada Horizontal Stabilizer

Berikut *damage* pada *horizontal stabilizer* yang menyebabkan *fuel consumption* bertambah ketika dianalisis dapat dilihat jika *damage* pada *horizontal stabilizer* disamping *static discharge* terangkat sehingga udara tertahan akibatnya menghasilkan hambatan dan menambah *fuel consumption* sebesar 4916 liter yang normalnya 4875 liter (Dokumentasi Pribadi fuel capacity tank, 2023) pada pesawat. gambar *damage* pada *horizontal stabilizer*. [6]



Gambar 6 : Horizontal stabilizer damage

Mengacu pada *SRM (Structure Repair Manual)* ukur menggunakan *vernier caliper* *Lengh* atau panjang dari *damage* itu serta *width* atau lebar *damage* pada *horizontal stabilizer*. Apabila masih masuk kedalam limit yang dianjurkan tidak perlu untuk dilakukannya *doubler* pada *skin* di pesawat tetapi jika *limit BME (Base Maintenance Engineering)* akan melakukan perhitungan lebih lanjut untuk dilakukan *doubler*. Berikut hasil pengukuran pada *damage* via *MDRR (Maintenance Defect Rectification Report)*. [7]

AC TYPE	AC REG	MSN	STATION	W
B737-900ER	PK-LSR	43188	BM-BTH	T
ATA REFERENCE	TYPE OF DEFECT/ CHECK			
55	C-CHECK 02			
DISCREPANCY				
FOUND LIGHTNING STRIKE AT L/H HORIZONTAL STABILIZER				
NO	RECTIFICATION	MANHOURS		
1.	IDENTIFICATION DAMAGE REF: SRM 55-10-01 DEV.50	1.0		
2.	MEASURE L: 0.48 INCH W: 0.05 INCH REMOVE DAMAGE	1.0		
3.	REF: SRM 55-10-01, 51-40-02 REV.50 DVI	3.0		
4.	RESULT: NO OTHER DAMAGE REF: SRM 51-10-04 DEV.50	1.0		
AC TYPE	AC REG	MSN	STATION	W
B737-900ER	PK-LSR	43188	BM-BTH	T
ATA REFERENCE	TYPE OF DEFECT/ CHECK			
55	C-CHECK 02			
DISCREPANCY				
FOUND LIGHTNING STRIKE AT L/H HORIZONTAL STABILIZER				
NO	RECTIFICATION	MANHOURS		
5.	THIS DAMAGE HAS BEEN REPAIRED. FORM NO. 024/1/004/11/01	1.0		
6.	EVALUATION DAMAGE AT LH HORIZONTAL STABILIZER IS STILL WITHIN LIMIT REF: SRM 55-10-01 ADD REV 51	1.0		
7.	INSTALL FASTENER REF: SRM 51-40-02 REV.50	3.0		
8.	APPLY PRIMER AND TOPCOAT FINISH REF: AOM 51-21-02/701 REV.82	4.0		

Gambar 7 : MDRR (Maintenance Defect Rectification Report)

Setelah diketahui panjang *damage* dan lebar *damage* dari *horizontal stabilizer* yaitu $L = 0.48 \text{ inch}$ $W = 0.051 \text{ inch}$. Diukur menggunakan *Vernier caliper*. Lalu mengacu pada *Structure Repair Manual* panjang daripada *damage* tidak masuk kedalam limit toleransi *damage*. Sedangkan, lebar *damage* masih masuk kedalam toleransi. Setelah dilakukannya 3 kali pengukuran. Berikut tabel di bawah ini hasil perhitungan *damage* yang ada pada *horizontal stabilizer* serta limitasi yang dianjurkan SRM.

Length (Panjang)	Width (Lebar)
0.48 inch	0.50 inch
0.47 inch	0.51 inch
0.48 inch	0.51 inch

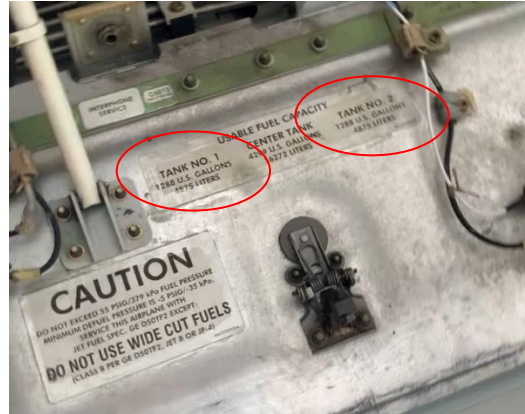
Gambar 8 : Hasil pengukuran *damage*

Length (Panjang)	Width (Lebar)
0.4 inch	0.4 inch

Gambar 9 : Toleransi limit

3.3 Rumusan Masalah

Setelah ditemukan *damage* yang dinyatakan lebih dari toleransi yang dianjurkan pada *Horizontal stabilizer* kemudian diperoleh kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan analisis yang telah dilakukan sebelumnya berkaitan tentang penyebab masalah yang ada pada pesawat *boeing 737-800/900 ER* yaitu *fuel consumption* bertambah yang normalnya 4875 L menjadi 4916 L sehingga menyebabkan *Fuel cost per hour* $\$4,431$ berkurangnya 605.980 ribu. Ketika pesawat dilakukan perbaikan dengan cara di doubler mengacu pada SRM (*Structure Repair Manual*). Setelah semuanya selesai lalu dilakukannya *pre-flight* dari batam menuju Jakarta dan landing pilot menyatakan *fuel consumption* sudah kembali normal dilihat dari *fuel capacity* di indikator cockpit.



Gambar 10 : Main tank capacity normal

Pada gambar ke-10 dari dokumentasi pribadi yang saya ambil, diketahui *fuel capacity* yang ada pada setiap tanki untuk pesawat normalnya menghabiskan 4875 liter avtur dalam sekali penerbangan. Namun, ditemukan juga bahwa avtur yang dikonsumsi pesawat meningkat menghabiskan 4916 liter pada pesawat yang terkena sambaran petir.

Jika dikonfersikan dengan harga *avtur* yang ada pada tanggal 1-14 November 2023 data mengenai harga *avtur* per liter sebesar 14.780/ liter (CNBC Indonesia, 2023)

Maka terjadi peningkatan biaya $\text{Rp. } 14.780 \times 4916 \text{ L} = \text{Rp. } 72.658.480$ selisih $\text{Rp.}605.980$ dari biaya avtur pada pesawat normal yaitu sebesar $\text{Rp } 72.052.500$

3.4 Langkah-langkah Pengerjaan Doubler Repair Skin pada Pesawat Boeing 737-900 ER

Panjang *damage* serta lebar *damage* telah diketahui yang ternyata panjang *damage* melebihi batas toleransi limit pada *Structure Repair Manual*. Lalu dilakukan pemasangan *doubler* dengan diameter yang direkomendasikan oleh *Base Maintenance Engineering (BME)* :

1. Persiapan:

- Pastikan pesawat dalam kondisi yang aman dan ditempatkan di area kerja yang sesuai untuk melakukan perbaikan.
- Siapkan peralatan dan material yang diperlukan, seperti doubler plate (lapisan tambahan), *grinding*, *drill*, amplas, *scotchbrite*, *fastener* dan *vernier caliper*.



Gambar 11 : Drill



Gambar 12 : Vernier caliper



Gambar 13 : Doubler Plate



Gambar 14 : Grinding



Gambar 15 : amplas



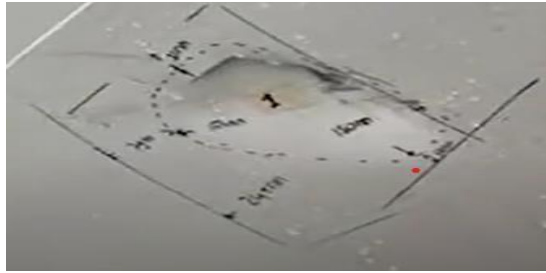
Gambar 16 : Fastener

2. Inspeksi Kerusakan:

- Lakukan inspeksi menyeluruh terhadap area yang rusak pada *skin* pesawat untuk menentukan luas dan jenis kerusakan yang terjadi.
- Pastikan untuk memahami karakteristik dan sifat dari kerusakan yang diidentifikasi sebelum memulai proses perbaikan.

3. Perencanaan Desain Doubler:

- Desain dan perhitungan struktural untuk *doubler plate* harus mempertimbangkan ketebalan dan jenis material yang sesuai dengan spesifikasi dan panduan dari *Structure Repair Manual (SRM) Boeing*.
- Tentukan ukuran, bentuk, dan lokasi dari *doubler plate* yang akan diterapkan untuk memperbaiki kerusakan.



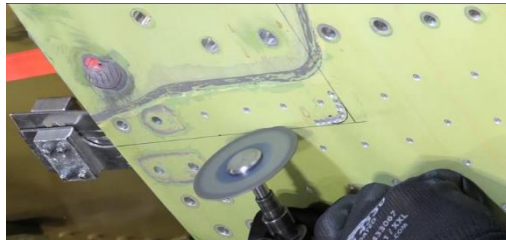
Gambar 17 : Marking area doubler

4. Persiapan Area Kerja:

- Bersihkan area kerja dari kotoran, debu, dan zat lain yang dapat mengganggu proses pengerjaan.
- Siapkan permukaan *skin* yang akan diperbaiki dengan membersihkan dan menyiapkan permukaan yang tepat untuk pemasangan *doubler plate*.

5. Pemotongan skin pada horizontal stabilizer:

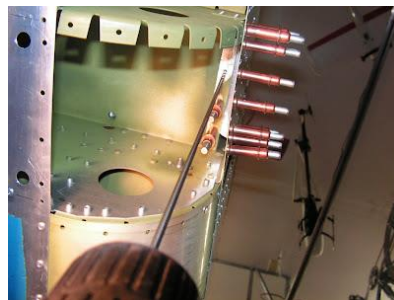
- Gunakan alat pemotong yang sesuai untuk memotong *skin damage* sesuai dengan desain yang telah direncanakan sebelumnya.
- Pastikan ketepatan ukuran dan bentuk *skin* pada *horizontal stabilizer* yang telah di *cut out* agar sesuai dengan area yang akan diperbaiki.



Gambar 18 : Cut off bagian damage

6. Pemasangan Doubler Plate:

- Tempatkan *doubler plate* di atas area yang rusak pada skin pesawat.
- Gunakan *cover plate* atau alat lainnya untuk memastikan *doubler plate* terpasang dengan tepat dan stabil di tempatnya.
- Lalu aplikasikan *chemical preventive corrosion* untuk mencegah terjadinya korosi.



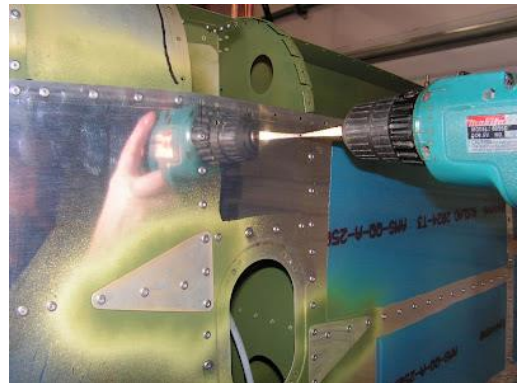
Gambar 19 : Install the part doubler and the part shim

7. Drill dan Penjepitan menggunakan fastener:

- Bor lubang-lubang pada *doubler plate* dan *skin* pesawat sesuai dengan ukuran dan posisi yang telah ditentukan dalam desain.
- Gunakan teknik penjepitan yang sesuai untuk memastikan bahwa *doubler plate* terhubung secara kuat dengan *skin* pesawat.



Gambar 20 : Jepit menggunakan fastener



Gambar 21 : drill doubler plate

8. Pengamplasan dan painting:

- Amplas dan haluskan permukaan sekitar doubler plate untuk menghilangkan ketidaksempurnaan dan memastikan hasil akhir yang rata dan halus.
- Pastikan untuk memeriksa kembali hasil pengerjaan guna memastikan material *rigid* (kokoh) dan kekuatan struktural dari perbaikan yang telah dilakukan.
- Sebelum *painting* aplikasikan *alodine* atau cairan *preventive corrosion* pada *skin horizontal stabilizer* lalu *painting* menggunakan cat primer/cat dasar warna hijau setelahnya *painting*



Gambar 22 : proses *sanding* (pengamplasan)



Gambar 23 : *painting*

9. Inspeksi dan Verifikasi:

- Setelah pengerjaan selesai, lakukan inspeksi menyeluruh untuk memastikan bahwa doubler repair telah dilaksanakan dengan benar sesuai dengan prosedur yang ditetapkan.
- Verifikasi bahwa perbaikan yang telah dilakukan sudah sesuai daripada aircraft maintenance manual serta pastikan tidak ada damage

10. Dokumentasi:

- Catat semua proses pengerjaan, hasil inspeksi, dan verifikasi yang dilakukan sebagai bagian dari rekam jejak perbaikan pesawat.

4 Kesimpulan

Berdasarkan studi kasus ini, dapat disimpulkan bahwa pesawat Boeing 737-900 ER dengan registrasi PK-LSR mengalami dampak serius akibat sambaran petir pada horizontal stabilizer. Dampak ini ditemukan dalam bentuk damage yang signifikan pada stabilizer horizontal, yang mengakibatkan peningkatan konsumsi bahan bakar selama penerbangan.

Prosedur perbaikan yang dilakukan mengacu pada SRM (Structure Repair Manual), dengan mengaplikasikan doubler plate untuk mengembalikan kekuatan dan integritas struktural stabilizer. Setelah perbaikan, dilakukan verifikasi melalui pre-flight dan penerbangan dari Batam ke Jakarta, Pada akhirnya engineer menyatakan pesawat airworthy atau layak terbang

Kesimpulan ini menegaskan bahwa pesawat telah dikembalikan ke kondisi layak terbang (airworthy) setelah perbaikan yang tepat dilakukan. Hal ini menggambarkan pentingnya prosedur inspeksi, identifikasi kerusakan, dan perbaikan yang cermat dalam menjaga keamanan operasional pesawat serta efisiensi bahan bakar yang optimal.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan pemahaman mendalam tentang dampak sambaran petir pada pesawat dan pentingnya tindakan yang tepat untuk memulihkan struktur pesawat dengan memperhatikan standar keamanan penerbangan yang ditetapkan.

5 Daftar Pustaka

- [1] Griffiths, D.J. 1995. *Introduction to Electrodynamics*, 2nd edition. Prentice Hall of India Private Limited.
- [2] Stephen Henning, 2023 <https://interestingengineering.com/ie-originals/ie-explainer/season-4/ep-13-why-are-lightning-strikes-not-dangerous-for-planes>
- [3] Chris Brady, 1999 *Flight Control* <http://www.b737.org.uk/flightcontrols.htm>
- [4] *Gambar 1 : Lighting Strike* : <https://www.linkedin.com/pulse/researchers-find-significant-increase-lightning-what-means-david-ison/> , Date 09-Maret-2024
- [5] *Gambar 2 : Aircraft Maintenance Manual Boeing 737-600/700/800/900, Horizontal stabilizer tip*, Page 402 ATA 27, Revision date 15-oct-22
- [6] *Gambar 3 : Aircraft Maintenance Manual Boeing 737-600/700/800/900, Flight control introduction*, Page 3 ATA 27 Revision date 15-oct-22
- [7] *Gambar 4: Special Tools High frequency Edy current* : <https://atslab.com/nondestructive-testing/aircraft-eddy-current-inspection/> , Date 09-Maret-2024
- [8] *Gambar 5 : Top Coat Finish* : <https://www.csiro.au/en/research/production/materials/TopCoat>, Date 11-Maret-2024
- [9] *Gambar 6 : Horizontal stabilizer damage (Dokumentasi Pribadi)*
- [10] *Gambar 7 : Maintenance Defect Rectification Report(Dokumentasi Pribadi)*
- [11] *Gambar 8 : Structure Repair Manual, Horizontal stabilizer tip page 3 55-10-01 ATA 55*
- [12] *Gambar 9 : Jurnal Bab IV Hal 17 Milik Widyatama*
<https://repository.widyatama.ac.id/server/api/core/bitstreams/cfa551d3-75ea-4fb6-9523-a0ea461b6f8a/content>
- [13] *Gambar 10 : fuel capacity tank (Dokumentasi Pribadi)*
- [14] *Gambar 11* : <https://stock.adobe.com/id/search/images?k=drill>
- [15] *Gambar 12* : <https://www.indiamart.com/proddetail/kristeel-vernier-caliper-digital-12-with-calibration-certificate-26166262573.html>
- [16] *Gambar 13* : <https://www.alphasystemsaoa.com/store/accessories/doubler-mounting-plate.html>
- [17] *Gambar 14* : <https://www.aircraft-tool.com/Detail?id=16413>
- [18] *Gambar 15* : <https://riggingshoppe.com/products/3m-sandpaper-w-dry-800-grit>
- [19] *Gambar 16* : <https://blog.thepipingmart.com/fasteners/6-types-of-aircraft-fastener-and-their-uses/>
- [20] *Gambar 17 : B 737 section 41 perbaikan kulit badan pesawat ganda TIMELAPSE*
- [21] *Gambar 18 : Boeing 777 Replacement*
- [22] *Gambar 19* : <http://www.aviationstop.com/2013/04/rv12-kit-update-landing-gear-doubler.html>
- [23] *Gambar 20* : <http://www.aviationstop.com/2013/04/rv12-kit-update-landing-gear-doubler.html>
- [24] *Gambar 21* : <http://www.aviationstop.com/2013/04/rv12-kit-update-landing-gear-doubler.html>
- [25] *Gambar 22* : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Scuff_sanding.jpg
- [26] *Gambar 23* : <https://www.l3harris.com/all-capabilities/aircraft-paint-facilities>