

Analisis Penyebab Keretakan *Windshield* Terhadap Kerusakan *Heating Element* Di Pesawat Airbus 330

Riki Candra Putra¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah
Jl. Perintis Kemerdekaan I/33 Cikokol-Tangerang
E-mail: ¹rikiumt@yahoo.com

Submitted Date: Januari 25, 2024
Revised Date: Januari 31, 2024

Reviewed Date: Januari 30, 2024
Accepted Date: Januari 31, 2024

Abstract

Flight safety is important to ensure passengers safely reach their destination. Aircraft have several parts in its maintenance, one of which is the windshield. Cracks in the windshield are often found due to damage to the heating element system. The rate of addition of heating element resistance is 0.133 Ω /h and the rate of addition of windshield cracks to the number of flying hours is 0.02 mm/h. The measurement results show that the left and right windshield 9N-ALY registration aircraft with heating elements function properly. The left windshield of PK-GPV registration is in zone B with a dielectric yield of 0.8 mA (close to the limit of 1 mA). The measurement results for the PK-GPX registration aircraft stated that the left windshield had to be replaced. These results were obtained because the insulation test on the heating element was 78.8 Mohms (below the minimum limit of 100 Mohms). A low insulation test will cause the heating element system to have low insulation quality and leakage between the interconnections. If the windshield is not replaced, there will be a risk of failure of the heating element system and cracks on the windshield will occur.

Keywords: *Windshield, heating element, cracks, inspection, airplane.*

Abstrak

Keamanan penerbangan merupakan hal penting untuk memastikan penumpang selamat sampai tujuan. Salah satu bagian yang diperhatikan dalam perawatan pesawat terbang adalah *windshield*. Keretakan pada *windshield* yang sering ditemukan karena adanya kerusakan sistem *heating element*. Laju penambahan hambatan *heating element* adalah 0,133 Ω /h dan laju penambahan keretakan *windshield* terhadap jumlah jam terbang adalah 0,02 mm/h. Hasil pengukuran didapatkan pesawat registrasi 9N-ALY *windshield* kiri dan kanan dengan *heating element* berfungsi dengan baik. *Windshield* kiri registrasi PK-GPV berada dalam zona B dengan hasil dielektrik 0,8 mA (mendekati limitasinya yaitu 1 mA). Hasil pengukuran untuk pesawat registrasi PK-GPX menyatakan bahwa *windshield* kiri harus diganti. Hasil tersebut didapat karena tes isolasi pada *heating element* adalah 78,8 Mohms (dibawah limitasi minimal yaitu 100 Mohms). Tes isolasi yang rendah akan menyebabkan sistem *heating element* tersebut memiliki kualitas isolasi yang rendah dan adanya kebocoran antar interkoneksinya. Jika tidak dilakukan penggantian *windshield* maka akan beresiko terjadinya kegagalan sistem *heating element* dan keretakan pada *windshield* akan terjadi.

Kata kunci: *Windshield, elemen pemanas, keretakan, pemeriksaan, pesawat terbang.*

I. Pendahuluan

Perkembangan penerbangan di Indonesia mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Peningkatan ini dikarenakan meningkatnya jumlah penumpang dan kargo yang dipengaruhi oleh pertumbuhan ekonomi, kepadatan penduduk, dan jumlah transportasi darat provinsi di Indonesia (Utama & Rezki, 2021).

Pesawat udara merupakan transportasi yang efektif dan efisien untuk menghubungkan antar kota dan negara secara cepat dan nyaman. Sehingga diperlukan juga pesawat udara yang

aman dan handal, karena aspek keselamatan, keamanan, kenyamanan dan waktu perjalanan merupakan beberapa prioritas utama yang dipilih oleh para penumpang (Isra & Miro, 2022).

Setiap orang yang mengoperasikan pesawat udara juga memiliki kewajiban dalam merawat pesawat udara. Oleh karena itu, dibutuhkan pula perawatan yang prima dan sesuai dengan program perawatan yang harus rutin dilaksanakan dengan menggunakan metode *incurred, provide on the accrual basis* dan *defer and amortise* (Sudarno & Firdiansyah, 2018).

Tahapan-tahapan perawatan pesawat terbang adalah bagian kegiatan yang telah menjadi komponen penting dalam dunia penerbangan, dimana kegiatan ini tersusun baik secara terjadwal dan secara tidak terjadwal yang menyebabkan kerugian dalam operasi maupun pembiayaan perawatan (Taaqbier dkk, 2021).

Pesawat udara adalah transportasi yang memiliki regulasi perawatan yang ketat oleh Kementerian Perhubungan. Regulasi ini harus selalu diterapkan secara benar dan sesuai oleh setiap orang yang mengoperasikan pesawat udara (Hanafi, 2024). Hal ini jika tidak diterapkan dengan benar dan sesuai maka akan berakibat terjadinya kecelakaan pesawat udara yang berdampak terhadap keselamatan penumpang dan juga biaya operasional yang tinggi, yang salah satunya karena ditemukan adanya kerusakan pada *windshield* (Setiowulandari dkk., 2022).

Dalam proses perawatan pesawat udara sering dialami beberapa kerusakan. Salah satu kerusakannya adalah keretakan pada kaca ruang kemudi atau *windshield cockpit*. Kerusakan pada *windshield* dapat mengakibatkan pesawat menjadi tidak aman untuk diterbangkan (Duncan, 2023).

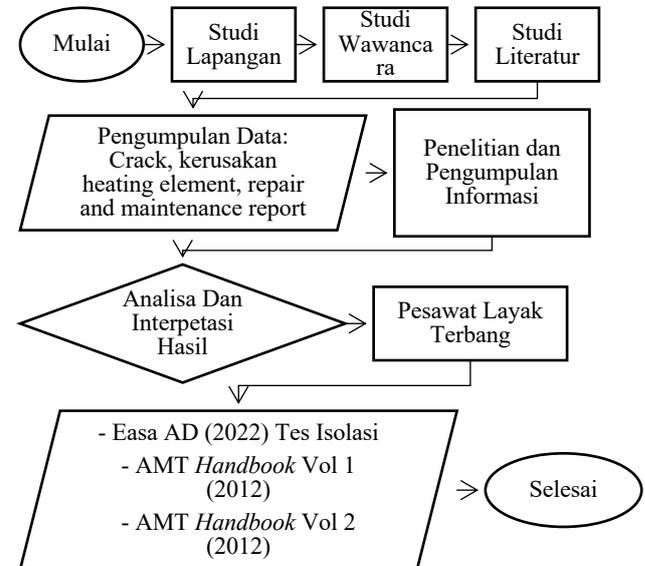
Tanda-tanda dan keretakan pada *windshield* tidak boleh diabaikan karena dapat berakibat terhadap keselamatan penerbangan. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis sebab-sebab keretakan *windshield* pesawat udara secara nyata dan progresif sehingga bisa dijadikan sebagai referensi ilmiah bagi perkembangan ilmu pengetahuan di bidang penerbangan (Lu et al., 2024). Penelitian ini perlu dilakukan karena belum ada penelitian yang memperlihatkan bukti-bukti secara jelas keretakan *windshield* pesawat tipe Airbus 330.

Terdapat beberapa defect yang terjadi berdasarkan yang sudah pernah terjadi antara lain bubble, arching, *sealant* degradation, moisture ingress, delamination, microflakes, electrical arcing, dan peel adhesion chip (SBS GMF Aeroasia No. TQY-SBS-008-2020).

Adapun tujuan dari penelitian ini antara lain mendapatkan jenis-jenis keretakan pada *windshield* kaca *herculite*, mengetahui penyebab-penyebab keretakan pada *windshield* kaca *herculite* yang berkaitan dengan kerusakan *heating element* dan menetapkan langkah pencegahan terhadap kerusakan *heating element* yang mengakibatkan keretakan *windshield* kaca *herculite*.

II. Metode Penelitian

Tahapan proses yang akan dilakukan dalam penelitian ini digambarkan dalam diagram alir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Flow chart penelitian

- Studi lapangan

Studi lapangan dengan pengumpulan data dari PT GMF Aeroasia Tbk dengan mencatat data-data dari buku catatan perawatan. Data-data tersebut seperti mengumpulkan data dari kasus yang pernah terjadi saat ini.

- Studi Wawancara

Merupakan metode pengumpulan data dengan melakukan tanya jawab secara lisan terhadap narasumber yang mempunyai kemampuan dan menguasai masalah.

- Studi Literatur

Metode penelitian dalam tahap ini menggunakan buku-buku yang menunjang materi penelitian dan jurnal dari penelitian terdahulu.

- Tahap Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dari sumber primer ataupun sekunder. Data primer dalam suatu penelitian diperoleh langsung dari sumbernya dengan melakukan pengukuran, observasi, dan lain-lain (Hardani et al., 2020).

Data primer yang dikumpulkan adalah dengan mengamati cara kerja sistem *heating element* pada *windshield* pesawat Airbus 330. Pengumpulan data ini dilakukan dengan pengamatan secara langsung pada sistem *heating element* pada *windshield* Airbus 330 dengan melakukan observasi serta mengamati

proses-prosesnya setelah membaca literatur untuk mendapatkan gambaran secara langsung terhadap sistemnya.

Kemudian data sekunder yang dikumpulkan adalah dari tiga sumber sebagai berikut:

- Data Keretakan *Windshield*.
- Data ini berupa laporan keretakan *windshield* pada pesawat Airbus 330 dengan periode data yaitu 2020-2022.
- Data Kerusakan Sistem *Heating Element*.
- Data ini berupa laporan kerusakan sistem *heating element* pada pesawat Airbus 330 dengan periode data yaitu 2020-2022.
- Laporan Perbaikan Dan Perawatan *Windshield*.

Data ini berupa laporan perbaikan dan perawatan *windshield* yang sesuai dikerjakan sesuai dengan program perawatan dan saat terjadi perawatan yang tidak terjadwal.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- Vernier Kaliper
- Installation Window Tools
- Avometer
- Alat Dielektrik
- Kaca Pembesar
- Majun
- Sealant

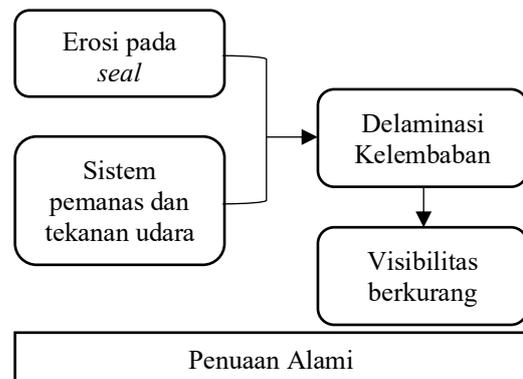
III. Hasil dan Pembahasan

Pertama kali dianalisa faktor-faktor yang menjadi penyebab keretakan pada *windshield* pesawat Airbus 330, faktor-faktor penyebabnya antara lain:

- Umur *windshield*

Setiap komponen pesawat udara telah ditentukan umurnya oleh pabrik dengan pengujian dalam kondisi yang normal. Penuaan alami yang terjadi dikarenakan faktor erosi pada *seal*, sistem pemanas, dan tekanan udara. Sistem pemanas dan tekanan udara akan mengakibatkan delaminasi pada *windshield* sehingga akan mengakibatkan berkurangnya visibilitas pilot dalam penerbangan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Faktor lingkungan yang memengaruhi umur dari *windshield* diantaranya karena sinar matahari, kelembaban, cuaca dan terjadinya pembentukan es saat berada pada suhu rendah. Hal tersebut akan mempercepat kerusakan *windshield* sehingga diperlukan sistem sensor berbasis mikrokontroler untuk memanaskan *windshield* (Irawan dkk, 2018).



Gambar 2. Bagan pengaruh masa pakai *windshield*

Utilisasi pesawat yang rendah juga mempercepat umur *windshield* karena pesawat udara di parkir dalam kondisi cuaca yang berubah-ubah jika *windshield* tersebut tidak ditutup sesuai dengan standar parkir pesawat udara.

Pada umumnya keretakan yang terjadi pada semua kendaraan bisa disebabkan oleh faktor benturan dari batu atau kerikil karena kecepatan tinggi yang dapat menyebabkan retakan internal berbentuk bulat, retakan atau kombinasi retakan (Emeka, 2018).

Sistem *heating element* yang bermasalah akan mempercepat keretakan pada *windshield*. Pesawat terbang di ketinggian 29.000 kaki sampai 41.000 kaki. Semakin tinggi terbangnya maka suhu di sekitarnya semakin rendah. Jika sistem *heating element* tersebut rusak akan mengakibatkan *windshield* akan menerima beban yang berlebih dan getas. Hal ini akan menyebabkan *windshield* mengalami keretakan (Jamaludin & Sumarno, 2019).

- *Windshield seal* mengalami erosi

Windshield seal digunakan untuk melindungi bagian struktur *windshield* agar tidak masuknya angin dan air hujan yang mengakibatkan penurunan kekuatan struktur *windshield*.

Seal perlu dikeraskan terlebih dahulu dengan memperhatikan waktu kerasnya *seal* sampai pesawat digunakan kembali. *Windshield seal* yang waktu pengerasannya belum cukup akan terjadi erosi karena faktor kecepatan pesawat yang tinggi dan tekanan udara yang rendah sehingga mengakibatkan masuknya angin dan air hujan ke dalam struktur *windshield*.

Jika hal itu terjadi terus menerus maka akan memungkinkan terjadinya penurunan pada sistem *heating element* yang terdapat dalam *windshield*

- Degradasi Pada Interlayer

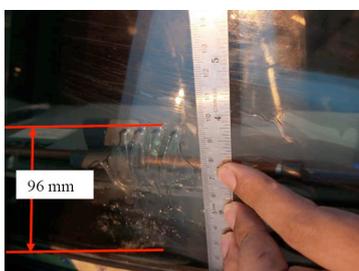
Degradasi bisa terjadi pada dua jenis lapisan yang digunakan pada kaca depan pesawat antara lain Polyurethane (Urethane) dan Polyvinil Butyral (PVB atau vinil). Degradasi dapat terjadi karena kegagalan segel kelembaban memungkinkan kelembaban masuk ke laminasi dan berinteraksi dengan interlayer, saat terkena ultraviolet di bawah kondisi operasi normal.

Degradasi juga disebabkan karena terjadinya *overheating* pada *windshield*, sehingga nilai resistansi berada di atas batas normal dengan nilai 31,4-35,1 ohm. Seperti yang dilakukan pengukuran pada *windshield* pesawat Boeing 737-900ER, setelah *windshield* diganti maka nilai resistansi window heater menjadi 31.9 ohm dan sudah sesuai dengan batas normal resistansi pada untuk sensor panas pada *windshield* (Purba dkk., 2023).

- Delaminasi

Delaminasi adalah pemisahan lokal antara interlayer polyurethane (PU) atau Polyvinil Butyral (PVB) dan salah satu lapisan kaca yang bersamaan. Penyebab dari delaminasi biasanya tekanan dari beban geser tinggi karena tingkat ekspansi diferensial kaca/PVB, kelembaban masuk dan cahaya ultraviolet. Delaminasi terjadi bukan dalam area struktural, tetapi dapat menjadi masalah penglihatan.

Delaminasi hanya muncul sebagai gelembung bening, datar kusam, atau area berubah warna putih seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Pabrikan memiliki batasan seberapa besar area yang d izinkan.

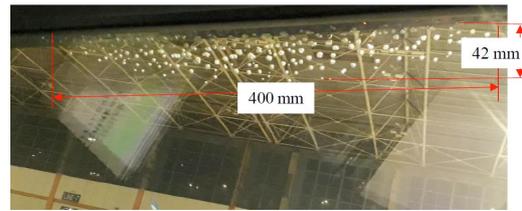


Gambar 3. Delaminasi pada *windshield*

- Gelembung

Gelembung pada *windshield* terjadi pada lapisan interlayer. Gelembung ini dapat terbentuk karena kondisi panas atau torsi berlebih selama pemasangan *windshield*. Gelembung yang terjadi merupakan indikasi masalah dengan sistem *heating element windshield* pesawat udara. Akan tetapi gelembung tersebut terdapat pada lapisan non struktural kaca *windshield*. Contoh gelembung

pada *windshield* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Gelembung kecil pada *windshield*

- Kerusakan pada sistem *heating windshield*

Kerusakan *heating element* pada *windshield* bisa terjadi karena *windshield heating computer* atau *WHC* mengalami kegagalan untuk memanaskan *windshield* dan menampilkan pesan kerusakan saat pesawat sedang terbang seperti ditunjukkan layar monitor.

Kegagalan sistem kinerja ini mengakibatkan *windshield* menjadi getas karena suhu yang dingin di luar. Menurut Trouble Shooting Manual Airbus 330 untuk memastikan bahwa kerusakan sistem *heating element* dilakukan dengan pengecekan hambatan kontinuitas.

Windshield tersebut diperiksa setelah mencapai jumlah jam terbang pada saat terjadi keretakan adalah 18.771,71 hours.

Heating element yang rusak tersebut akan terlihat seperti garis yang menjaral pada *windshield* seperti ditunjukkan pada Gambar 5 yang dijadikan sebagai bukti saat terjadinya kegagalan sistem *windshield heating* untuk dijadikan objek penelitian.



Gambar 5. Kerusakan *heating element* yang menjaral pada *windshield*

Secara skematik dilakukan pemeriksaan pada kabel untuk mengetahui terjadinya konsleting dengan cara *continuity test* dari *WHC* 2 pin A/C-D ke *windshield* pin A/B dan F dan juga melakukan cek hambatan yang diperoleh hambatan sebesar 2.5. Tetapi karena tidak ada kabel yang konslet, maka karena rancangan

windshield hanya mampu menahan hambatan 11 Ohm sehingga didapatkan bahwa keretakan tersebut disebabkan oleh pemanas *windshield* yang rusak.

Dari data yang di kumpulkan sebagai berikut:

$$R = 2.5 \text{ K}\Omega \text{ atau } 2,500 \Omega$$

$$FH = 18,771.71 \text{ h}$$

Sehingga laju penambahan hambatan (r) terhadap jumlah jam terbang adalah:

$$r = \frac{R}{FH} \quad (1)$$

$$r = 2,500 \Omega / 18,771.71 \text{ h}$$

$$r = 0.133 \Omega / \text{h}$$

Kondisi ini dapat menyebabkan retakan dengan total dimensi keretakan *windshield* adalah 384 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Dari laporan yang ada menunjukkan bahwa retak disebabkan oleh lengkungan listrik dan atau perubahan yang signifikan suhu karena pemanas tidak bekerja.



Gambar 6. Lokasi keretakan *windshield*

Kemudian perhitungan laju penambahan keretakan terhadap jam terbang berdasarkan data yang di kumpulkan sebagai berikut:

Diketahui:

$$L = 384 \text{ mm}$$

$$FH = 18.771,71 \text{ h}$$

Sehingga laju penambahan keretakan (v) terhadap jam terbang adalah:

$$v = \frac{L}{FH} \quad (2)$$

$$v = 384 \text{ mm} / 18.771,71 \text{ h}$$

$$v = 0.02 \text{ mm/h}$$

Untuk memastikan keselamatan penumpang, setiap bagian pesawat harus diuji. Salah satunya adalah kaca depan pesawat, yang sensitif terhadap tabrakan dengan benda lain, misalnya terjadinya bird strike. Kaca depan pesawat harus mampu menahan guncangan yang terjadi selama penerbangan (Laksono dkk., 2022).

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 1 tahun 2009 pasal 46 ayat 1, sebelum pesawat udara terbang harus melalui pemeriksaan dan perawatan yang benar sesuai dengan panduan perawatannya. Pemeriksaan tersebut dengan mengikuti program perawatan yang di buat oleh maskapai penerbangan yang telah disetujui oleh otoritas di negara tersebut (Mora, 2012).

Pemeriksaan perawatan dilakukan secara periodik mulai dari pemeriksaan ringan yaitu pemeriksaan harian dan mingguan serta pemeriksaan lebih besar meliputi *A-Check*, *C-Check* dan *D-Check*. Perawatan pesawat udara juga saat penggantian komponen dikarenakan umur pakai dan kerusakan salah satunya yaitu *windshield*. Setiap terjadinya kerusakan maka komponen tersebut di analisa sehingga dapat mengurasi kerusakan tersebut terjadi kembali (Sudarno & Firdiansyah, 2018).

Proses inspeksi pada *windshield* juga harus dilakukan peningkatan awareness karena sebab-sebab adanya hujan lebat yang menyebabkan penglihatan dari teknisi terganggu sehingga kurangnya situation awareness yang dialami oleh Teknisi juga menjadi salah satu penyebab kejadian tersebut (SBS GMF Aeroasia No. TQY-SBS-008-2020).

Adapun langkah pencegahan dan perawatan *windshield* dimulai dari penggantian *windshield*, aplikasi *sealant* disekitar *windshield* dan langkah pencegahan setiap pemeriksaan periodik yang dapat dijelaskan pada tahapan-tahapan sebagai berikut:

(1) Penggantian *windshield* ketika terjadi keretakan

Setiap pekerjaan yang dilakukan di pesawat menggunakan referensi yang terkini. Dalam melakukan pelepasan *windshield* menggunakan AMM (*aircraft maintenance manual*) yang sesuai agar pekerjaan dapat diselesaikan dengan baik dan benar. AMM yang digunakan adalah TASK 56-11-11-000-801-A.

Pemasangan *windshield* sesuai dengan AMM TASK 56-11-11-400-801-A. Pemasangan ini perlu memperhatikan peringatan agar tidak terjadi kecelakaan dalam bekerja. Berat kaca *windshield* yaitu 12 Kg sehingga perlu dilakukan dengan dua orang. Bersihkan tempat *windshield* di pesawat menggunakan *Non-Aqueous Cleaner Diestone A8284*. Kemudian angkat *windshield* dengan *Installation Window Tools*.

Perawatan *windshield* termasuk dalam bagian perawatan *on-condition*. Artinya, jika ditemukan retakan atau perubahan warna pada

kaca, atau *heater windshield* tidak berfungsi, maka kaca perlu diganti. Berat *windshield* dan *sealant* memiliki beban tarik sebesar 47,75 kg. Itulah sebabnya diperlukan alat untuk membantu melepaskan *windshield* (Mukhlison dkk., 2022).

Aplikasikan *seal* menggunakan material *Polysulfide Sealant* 06AEB2 pada rangka struktur pesawat dan mating *surface* antara retainers dengan rangka struktur. Setiap baut yang akan dipasang terlebih dahulu menggunakan *seal* material *Non-Hardening Jointing Putty* 06LCG9 agar tidak ada angin dan uap air yang masuk melalui celah dari tempat baut.

(2) Pemeriksaan harian *windshield*

Pemeriksaan harian pada pesawat Airbus 330 dilakukan saat pesawat remain over night atau waktu transit lebih dari 4 jam. Pemeriksaan ini adalah pemeriksaan pesawat menyeluruh secara visual untuk melihat ketidaksesuaian, keamanan dalam pemasangan, pengisian cairan, pemeriksaan operasional sistem dan mengecek buku catatan pemeliharaan pesawat. Pemeriksaan *windshield* juga termasuk dalam pemeriksaan harian tersebut.

Pemeriksaan ini meliputi tanda-tanda kerusakan yang mungkin terjadi pada *windshield* dan pemeriksaan kebersihan *windshield*. Ketika ada temuan kita akan melihat limitasi terkait kerusakan pada *windshield* tersebut. Pemeriksaan harian yang benar akan meminimalisir terjadinya kerusakan saat pesawat beroperasi dan agar menjamin keamanan dalam penerbangan.

(3) Pemeriksaan mingguan *windshield*

Pemeriksaan mingguan pada pesawat Airbus 330 dilakukan setiap tujuh hari kalender. Pemeriksaan ini akan lebih detail daripada pemeriksaan harian. Pesawat juga memiliki waktu pemeriksaan lebih lama sampai 12 jam. Pemeriksaan mingguan meliputi pemeriksaan kargo pesawat, pemeriksaan kebocoran sistem hidrolik, pemeriksaan oli, pemeriksaan *windshield* dan pemeriksaan mesin.

Pemeriksaan *windshield* juga akan lebih detail meliputi pengecekan pesan kerusakan pada *windshield heating computer*. Pemeriksaan *windshield seal* dari luar juga dilakukan, *seal* pada *windshield* akan mencegah masuknya angin dan uap air yang akan menyebabkan kerusakan seperti delaminasi atau rusaknya *heating element* untuk waktu yang akan datang.

(4) Pemeriksaan *windshield* saat *a-check*

A-check pada pesawat Airbus 330 merupakan pemeriksaan yang dilakukan setiap

1000 jam terbang. Pemeriksaan ini membutuhkan waktu 24 - 36 jam. *A-check* dilaksanakan di dalam hangar perawatan. Pelaksanaan pengecekan ini bergantung dengan jenis pesawat, jumlah pergerakan, atau jumlah jam terbang setelah pemeriksaan terakhir. Pemeriksaan dapat ditunda oleh maskapai apabila beberapa kondisi yang ditentukan sebelumnya terpenuhi.

Inspeksi *windshield* dilakukan dengan melihat kerusakan yang terjadi. Kerusakan tersebut meliputi keretakan, goresan, delaminasi, gelembung, perubahan warna, tanda-tanda *heating element* terbakar, dan *seal* diluar *windshield*.

(5) Pemeriksaan *windshield* saat *c-check*

C-check pada pesawat Airbus 330 merupakan pemeriksaan yang dilakukan setiap 24 bulan atau 12.000 jam terbang. Pemeriksaan ini lebih besar dari *a-check*, mengharuskan sebagian besar komponen pesawat untuk diperiksa. Waktu pemeriksaan pesawat yaitu 1 – 2 minggu. Pesawat tidak boleh terbang hingga pemeriksaan telah selesai dilakukan. Pemeriksaan ini dilakukan di hangar tempat basis perawatan berada.

(6) Pemeriksaan *windshield* saat *d-check*

D-check pada pesawat Airbus 330 merupakan pemeriksaan yang dilakukan setiap enam tahun sekali. Pemeriksaan ini akan membongkar hampir seluruh bagian pesawat untuk dilakukan pemeriksaan secara lebih teliti. Pemeriksaan ini membutuhkan waktu sekitar 1 – 2 bulan tergantung banyaknya perintah kerja dan tersedianya material dan komponen yang dibutuhkan. Pemeriksaan akan dilakukan di dalam hanggar perawatan pesawat.

Saat jadwal *d-check*, pemeriksaan kondisi *windshield* akan lebih detail. Pemeriksaan ini untuk menentukan *windshield* tersebut masih dapat bekerja normal. Jika terdapat ada temuan dalam pemeriksaan maka akan dibuatkan perintah kerja untuk penentuan limitasinya.

Pemeriksaan pada sistem *heating element windshield* juga dilakukan lebih teliti menggunakan alat inspeksi *windshield*. Pemeriksaan konektor *heating element windshield* juga dilakukan dengan membukanya sehingga dapat di cek kondisi konektor seperti ditunjukkan pada Gambar 7.

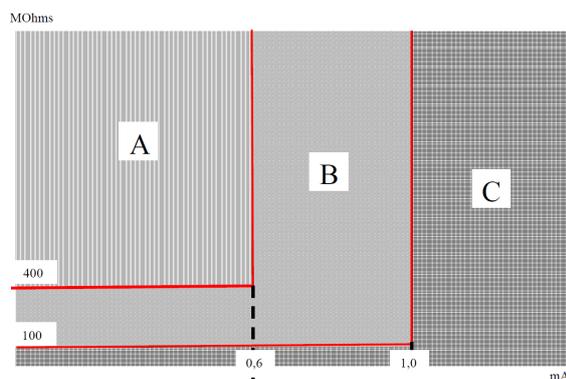


Gambar 7. Hasil pengecekan konektor *heating element windshield*

Pemeriksaan konektor bertujuan sebagai langkah pencegahan kerusakan *heating element windshield* pada saat pemeriksaan *d-check* yang dapat diaplikasikan agar tidak terjadi kerusakan di masa yang akan datang.

Pengukuran isolasi dan dielektrik juga dilakukan untuk mengidentifikasi kerusakan *windshield* tersebut. Hasil pengukuran tersebut akan di catat dan dilaporkan sebagai bahan evaluasi. Pengukuran isolasi dan dielektrik dilakukan pada pesawat-pesawat Airbus 330 registrasi PK-GPV, 9N-ALY, dan PK-GPX.

Berdasarkan limitasi pengukuran isolasi dengan dielektrik seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Limitasi pengukuran isolasi dengan dielektrik

Kemudian didapatkan bahwa hasil pengukuran isolasi dan dielektrik seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil pengukuran isolasi dan dielektrik pesawat Airbus 330

No	Registrasi	Lokasi	Hasil Pengukuran		Result
			Isolasi (Mohms)	Dielektrik (mA)	
1	PK-GPV	LH	183	0.8	Baik (Zona B)
2	9N-ALY	RH	510	0.3	Baik (Zona A)
3	9N-ALY	LH	489	0.3	Baik (Zona A)

4	PK-GPX	LH	78,7	0.6	Tidak Baik (Zona C)
---	--------	----	------	-----	---------------------

Dari hasil pengukuran diatas didapatkan bahwa berdasarkan limitasi seperti ditunjukkan Gambar 9 menyatakan bahwa *windshield* kiri dan kanan pesawat registrasi 9N-ALY dengan hasil *heating element* berfungsi dengan baik dan dalam zona A.

Windshield kiri registrasi PK-GPV berada dalam zona B dikarenakan tes dielektrik dengan hasil 0,8 mA (mendekati limitasinya yaitu 1 mA). Dari hasil ini, *windshield* masih dapat digunakan. Akan tetapi dapat *heating element* akan rentan rusak jika mendapat tegangan yang tinggi karena terdapat arus yang cukup tinggi oleh konduktornya.

Hasil pengukuran untuk pesawat registrasi PK-GPX menyatakan bahwa *windshield* kiri harus diganti. Hasil tersebut didapat karena tes isolasi pada *heating element* adalah 78,8 Mohms (dibawah limitasi minimal yaitu 100 MOhms).

Tes isolasi yang rendah akan menyebabkan sistem *heating element* tersebut memiliki kualitas insulasi yang rendah dan adanya kebocoran antar interkoneksinya. Jika tidak dilakukan penggantian *windshield* maka akan beresiko terjadinya kegagalan sistem *heating element* dan kemungkinan keretakan pada *windshield* akan terjadi.

VI. Kesimpulan

Jenis keretakan *windshield* kaca *herculite* dapat terjadi pada struktural dan non struktural kaca. Keretakan struktural kaca meliputi keretakan pada bagian dalam, tengah atau luar. Sedangkan keretakan non struktural terjadi pada lapisan diantara lapisan struktural. Faktor penyebab keretakan pada *windshield* kaca *herculite* adalah usia *windshield*, kondisi *sealant* yang erosi, perubahan warna bus bar, masuknya kelembaban dan uap air, degradasi interlayer, delaminasi, gelembung, dan kerusakan sistem *heating element*.

Laju penambahan hambatan *heating element* terhadap jumlah jam terbang adalah 0,133 Ω /h dan laju penambahan keretakan *windshield* terhadap jumlah jam terbang adalah 0,02 mm/h.

Langkah pencegahan terhadap kerusakan *heating element* yang mengakibatkan keretakan *windshield* kaca *herculite* telah dilakukan beberapa cara yaitu: *windshield* yang

retak maka dilakukan penggantian barang yang baru. Pemeriksaan harian dilakukan dengan pengecekan tanda-tanda kerusakan dan kebersihan *windshield*. Pemeriksaan mingguan dilakukan pengecekan *windshield seal* dari luar. Hasil pemeriksaan pada pesawat Airbus 330 registrasi PK-GPX didapatkan bahwa *seal* dalam kondisi baik.

Pemeriksaan *windshield* saat *a-check* dilakukan dengan pemeriksaan lebih detail seluruh kaca pesawat dari dalam. Hasil pemeriksaan pada pesawat registrasi PK-GPZ didapatkan hasil yang baik. Pemeriksaan *windshield* saat *c-check* dilakukan tes operasional *windshield* meliputi sistem *heating element*, anti-icing dan defogging.

Hasil tes pada pesawat registrasi PK-GYA didapatkan bahwa tes tersebut normal dan tidak ada temuan. Pemeriksaan sistem *heating element* saat *d-check* dilakukan lebih teliti dan menggunakan alat inspeksi *windshield*. Pemeriksaan tersebut dilakukan dengan tes isolasi dan pengukuran dielektrikal.

Dari hasil pengukuran diatas didapatkan bahwa berdasarkan limitasi pesawat registrasi 9N-ALY *windshield* kiri dan kanan dengan hasil *heating element* berfungsi dengan baik dan dalam zona A. *Windshield* kiri registrasi PK-GPV berada dalam zona B dikarenakan tes dielektrik dengan hasil 0,8 mA (mendekati limitasinya yaitu 1 mA).

Dari hasil ini, *windshield* masih dapat digunakan. Akan tetapi *heating element* akan rentan rusak jika mendapat tegangan yang tinggi karena terdapat arus yang cukup tinggi oleh konduktornya. Hasil pengukuran untuk pesawat registrasi PK-GPX menyatakan bahwa *windshield* kiri harus diganti.

Hasil tersebut didapat karena tes isolasi pada *heating element* adalah 78,8 Mohms (dibawah limitasi minimal yaitu 100 Mohms). Tes isolasi yang rendah akan menyebabkan sistem *heating element* tersebut memiliki kualitas isolasi yang rendah dan adanya kebocoran antar interkoneksi. Jika tidak dilakukan penggantian *windshield* maka akan beresiko terjadinya kegagalan sistem *heating element* dan keretakan pada *windshield* akan terjadi.

Daftar pustaka

Duncan, (2023), *Aviation Maintenance Technician Handbook – General: FAA-H-8083-30B*

- Emeka, (2018). *Analysis of Windshield Repair Technology*. International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD), Volume - 2 | Issue – 4, Pg 408-413
- Hanafi Irma Halima (2024). *Tanggungjawab Negara Dalam Pengawasan Terhadap Operator Penerbangan Di Indonesia*. Jurnal Pembangunan Hukum Indonesia. Volume 6, Nomor 3, halaman 498-520
- Hardani dkk. 2020. *Metode Penelitian Kualitatif dan Kuantitatif*. Yogyakarta : Pustaka Ilmu
- Hobbs Alan, (2021). *Aircraft Maintenance And Inspection*. San Jose State University Research Foundation at NASA Ames Research Center Moffett Field, California, USA
- Irawan Wira Faisal, Margono, Utomo Wasito, (2019). *Rancangan Prototipe Anti-Icing Winshield Pesawat Dengan Menggunakan Sensor LM-35 Berbasis Microcontroller Arduino Uno Di Daerah Tropis*. Politeknik Penerbangan Surabaya, Prosiding Seminar Nasional, Inovasi Teknologi Penerbangan (SNITP), Vol. 3 No. 2
- Isra Fadhlurrahman, Miro Fidel, (2022). *Analisis Prioritas Pilihan Moda Transportasi Berbagai Kriteria Dengan Metode AHP Menggunakan Aplikasi Expert Choice (Studi Kasus: Rute Padang - Jakarta)*. Jurnal REKAYASA, Vol. 12, No. 02. 211-223
- Jamaludin, Sumarno, (2019). *Analysis of Causes Damage in Flight Compartment Windows Due to Heating System Failure in Boeing 737-800 Airport Using Weibull Analysis Distribution*. Journal of Physics: Conference Series
- Laksono Agung, Sitompul Afandi Sahril, Suprianto Agus, Fitriansyah Rizky, (2022). *Analisis Numerik Pengaruh Gasket pada Windshield Pesawat Komuter 19 Penumpang Terhadap Fenomena Bird Strike*. Jurnal Teknologi Kedirgantaraan, Vol. 7 No. 1
- Lu H. K., Zhang C. Y., Zhang G. Z., (2024). *Effect on damage of aircraft windshield impacted by light UAV with different postures*. The Aeronautical Journal, 128, pp. 771–787
- Mora, (2012). *Telaahan Literatur Tentang Program Perawatan Pesawat Udara*. Jurnal Penelitian Perhubungan Udara, Vol. 38 No. 4

- Mukhlison Huda Affan, Fatra Oka, Kurniawan Engkus Iwan, (2022). *Rancangan Alat Bantu Pelepas Windshield Pada Pesawat KING AIR B200 GT. Machine*; Jurnal Teknik Mesin Vol. 8 No. 2
- Purba Br. Seftiani Nadira, Dija Rafia Nur, Subiyono Gatot, (2023). *Studi Kasus Terjadinya Interlayer Degradation Windshield No. 1 R/H pada Pesawat Boeing 737-900ER*. Repository No.FO.31.6.1-V1
- Safety Briefing Sheet, (2020). *Tingkatkan Awareness Saat Melakukan Proses Inspeksi pada Windshield*. GMF Aeroasia No. TQY-SBS-008-2020. URL https://safety.gmf-aeroasia.co.id/briefing_sheet/2020/28_SB_S_Periode_II_October_2020.pdf. didownload tanggal 23-Jan-2025
- Setiowulandari Dwi Syahla Salsabila, Setiawan Hery, Ardianto Haris., (2022). *Analisis Windshield Pesawat Boeing 737-NG Terhadap Kegagalan Dengan Menggunakan Metode Failure Mode Effect And Analysis Dan Weibull*. Teknik STTKD : Jurnal Teknik, Elektronik, Engine Vol 8, No. 2
- Sudarno, Firdiansyah Ryan, (2018). *Biaya Perawatan Pesawat Udara dan Pedoman Perlakuan Akuntansi (Studi Pustaka)*. Sekolah Tinggi Penerbangan, AVIASI Jurnal Ilmiah Kedirgantaraan Vol. 15 No.2
- Taaqbier Mohammed, Sofyan Edi, Setiawan Ferry, (2021). *Perancangan Aktivitas Maintenance Dengan Metode Reliability Pada Sistem Auxiliary Power Unit (APU) Pesawat Boeing 737-500 Studi Kasus Di PT. MMF Surabaya*. Teknik STTKD : Jurnal Teknik, Elektronik, Engine Vol 7, No. 2