

Kajian Metode Inspeksi *Fluorescent Penetrant* pada *Engine Mount Bolt: Post-Emulsifiable* dan *Water Washable*

Budi Pamungkas ^{1*}, Muhammad Hasan Albana ^{1*} dan Ninda Hardina Batubara ^{2*}

* Politeknik Negeri Batam
Program Studi Teknik Mesin
Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia
¹E-mail: inibudi.ndt@gmail.com

Abstrak

Inspeksi rutin terhadap struktur dan komponen pesawat sangat penting untuk menjamin keselamatan penerbangan. Salah satu komponen yang rentan mengalami cacat akibat kelelahan material adalah *engine mount bolt*, yaitu *bolt* pengikat mesin pada struktur pesawat. Penelitian ini membandingkan dua metode *Fluorescent Penetrant Inspection (FPI)*, yaitu *Water Washable* dan *post-Emulsifiable* dalam mendeteksi cacat permukaan pada komponen tersebut. Pengujian dilakukan secara eksperimental menggunakan satu spesimen *engine mount bolt* bekas dari pesawat *Boeing 737-800/900* dengan tipe mesin *CFM56-7*, mengikuti standar *ASTM E1417/E1417M* dan prosedur dalam *Aircraft Maintenance Manual (AMM)*. Parameter yang diamati meliputi jumlah indikasi cacat, kejelasan visual, ukuran indikasi, dan efisiensi proses aplikasi. Hasil menunjukkan bahwa kedua metode mendeteksi satu cacat berupa *deep scratch*, namun metode *post-Emulsifiable* menghasilkan indikasi dengan panjang 5 mm dan visual yang lebih tajam dibandingkan *Water Washable* yang menunjukkan panjang 4 mm. Meskipun metode *Water Washable* lebih cepat (75 menit dibandingkan 80 menit), metode *post-Emulsifiable* terbukti lebih andal dalam menghasilkan indikasi dengan kontras tinggi, sehingga lebih sesuai untuk inspeksi komponen kritis seperti *engine mount bolt*.

Kata kunci: *Fluorescent Penetrant Inspection, Water Washable, post-Emulsifiable, Engine Mount Bolt, NDT*

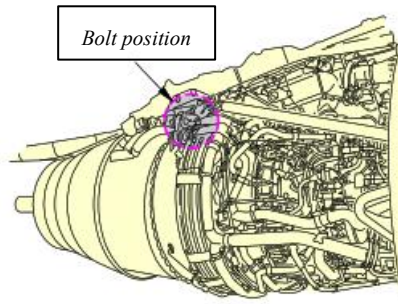
Abstract

Routine inspection of aircraft structures and components is essential for ensuring flight safety. One of the components suspected to fatigue-related defect is the engine mount bolt, which secures the engine to the aircraft's structure. This study compares two Fluorescent Penetrant Inspection (FPI) methods, Water Washable and post-Emulsifiable for detecting surface defects on this component. The test was conducted using a used engine mount bolt from a Boeing 737-800/900 aircraft with CFM56-7 engine. Inspection followed ASTM E1417/E1417M standards and the Aircraft Maintenance Manual (AMM). Observed parameters include defect indication count, visual clarity, indication size, and process efficiency. The results show that both methods detected the same deep scratch defect, but the post-Emulsifiable method provided clearer and more defined indications with a defect length of 5 mm compared to 4 mm for the Water Washable method. Although the Water Washable method was quicker between 75 minutes vs. 80 minutes, the post-Emulsifiable method proved more reliable in producing high-contrast results, making it more suitable for critical components like engine mount bolts.

Keywords: *Fluorescent Penetrant Inspection, Water Washable, post-Emulsifiable, Engine Mount Bolt, NDT*

1 Pendahuluan

Dalam dunia penerbangan, komponen struktural pesawat harus menjalani inspeksi secara berkala untuk memastikan tidak terjadi cacat atau kerusakan yang dapat membahayakan keselamatan penerbangan. Salah satu komponen penting dalam sistem struktur pesawat adalah *engine mount bolt*, yaitu *bolt* pengikat yang bertugas menahan dan mengikat *engine* pada rangka utama pesawat *airframe*. Komponen ini menanggung beban yang cukup besar selama operasional, sehingga berisiko tinggi mengalami kerusakan akibat kelelahan material atau *fatigue*. Oleh karena itu, deteksi terhadap cacat permukaan, seperti retak (*crack*) dan goresan (*scratch*) sangat penting, guna mencegah kegagalan struktural atau komponen yang lebih serius.



Gambar 1. *Engine Mount Bolt location* [1]

Untuk menjamin integritas struktural komponen tanpa menyebabkan kerusakan, digunakan metode pengujian *Non-Destructive Testing (NDT)*. *NDT* adalah suatu pemeriksaan, pengujian, atau evaluasi yang dilakukan pada suatu objek uji tanpa mengubah atau merusak objek tersebut, dengan tujuan untuk menentukan ada atau tidaknya kondisi cacat yang dapat memengaruhi kegunaan atau kelayakan layanan dari objek tersebut [2]. Beberapa metode *NDT* yang umum diaplikasikan dalam *maintenance* pesawat meliputi *Eddy Current Testing*, *Ultrasonic Testing*, dan *Penetrant Testing*. Sesuai dengan *Aircraft Maintenance Manual (AMM) Boeing 737-800/900 Chapter 70-40-01*, salah satu metode yang di sebutkan untuk inspeksi komponen, termasuk *engine mount bolt*, adalah *Fluorescent Penetrant Inspection (FPI)*. Prosedur ini mencakup dua metode tentang cara melakukan inspeksi *FPI*, yang pertama adalah inspeksi dengan metode *post-Emulsifiable*, yang kedua adalah inspeksi dengan metode *Water Washable* [3]. Metode *FPI* digunakan untuk mendeteksi cacat permukaan pada material padat yang tidak berpori tanpa merusak komponen tersebut.

FPI bekerja berdasarkan prinsip kapilaritas, yaitu kemampuan cairan *penetrant* untuk masuk ke dalam celah atau retakan kecil di permukaan material. Cairan *penetrant* yang mengandung zat pewarna menembus cacat pada permukaan melalui efek kapiler, sehingga menciptakan kontras visual antara cacat tersebut dan permukaan sekitarnya [4]. Cairan ini harus memiliki daya penetrasi yang baik dan viskositas yang rendah agar dapat masuk pada cacat dipermukaan material [5]. Setelah waktu penetrasi tertentu, cairan yang tertinggal di dalam cacat akan tampak sebagai indikasi *fluorescent* saat disinari dengan sinar *ultraviolet (UV)*. Metode *Water Washable* menggunakan *penetrant* yang dapat langsung dibersihkan dengan air, sehingga waktu prosesnya lebih cepat karena langkah-langkah pemrosesannya lebih sedikit [6]. Meskipun pemrosesan dengan metode *Water Washable* memiliki keunggulan, jika pencucian berlebih atau *over washing* cacat dapat tidak terdeteksi [6]. Sebaliknya, metode *post-Emulsifiable* membutuhkan langkah tambahan berupa aplikasi *emulsifier* sebelum pembilasan, yang memungkinkan pembersihan lebih selektif dan menghasilkan indikasi cacat yang lebih kontras. *post-Emulsifiable* memerlukan *emulsifier* terpisah untuk memecah *penetrant*, sementara *penetrant* yang berada di dalam indikasi tetap berada di tempatnya [6]. Pengaplikasian *emulsifier* dilakukan dengan kontrol waktu sesuai prosedur.

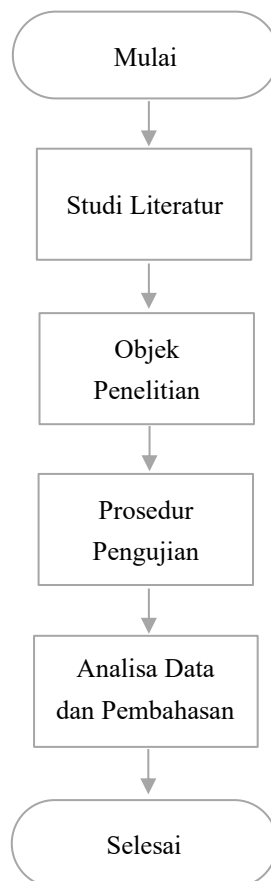
Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan membandingkan secara eksperimental dua metode inspeksi *fluorescent penetrant* tersebut, yaitu *post-Emulsifiable* dan *Water Washable*, dalam mendeteksi cacat permukaan pada komponen *engine mount bolt*. Evaluasi dilakukan berdasarkan jumlah indikasi cacat yang terdeteksi, kejelasan tampilan indikasi di bawah sinar *ultraviolet*, serta efisiensi proses aplikasi masing-masing metode.

Ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada pengujian terhadap *engine mount bolt* pesawat *Boeing 737-800/900* dengan tipe *engine CFM56-7*, khususnya dalam proses pergantian *engine*, guna memastikan bahwa *bolt* yang akan digunakan kembali berada dalam kondisi layak pakai atau *serviceable*. Fokus utama ditujukan pada deteksi cacat permukaan menggunakan metode *FPI*. Penelitian ini tidak mencakup inspeksi terhadap cacat bawah permukaan ataupun komponen lain di luar sistem *engine mounting*.

Panduan dalam *Aircraft Maintenance Manual (AMM) Boeing* mencantumkan kedua metode tersebut sebagai prosedur yang digunakan dalam inspeksi komponen pesawat. Oleh karena itu, kajian komparatif terhadap karakteristik masing-masing metode diperlukan untuk menentukan efektivitas relatifnya dalam mendeteksi cacat pada *engine mount bolt*. Meskipun perbandingan antara metode *Water Washable* dan *post-Emulsifiable* dalam *Fluorescent Penetrant Inspection* telah banyak dikaji sebelumnya, studi ini memiliki pendekatan yang khas karena berfokus pada aplikasi nyata pada komponen *engine mount bolt* pesawat *Boeing 737-800/900* dalam lingkup *MRO*.

2 Metodologi Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan membandingkan efektivitas dua metode inspeksi *Fluorescent Penetrant Inspection (FPI)*, yaitu *Water Washable* dan *post-Emulsifiable*, dalam mendeteksi cacat permukaan pada komponen *engine mount bolt*. Kajian ini merupakan studi awal, dengan jumlah sampel yang terbatas pada satu spesimen. Metode penelitian yang digunakan bersifat eksperimental dengan pendekatan pengujian langsung terhadap spesimen menggunakan prosedur *Non-Destructive Testing (NDT)*.



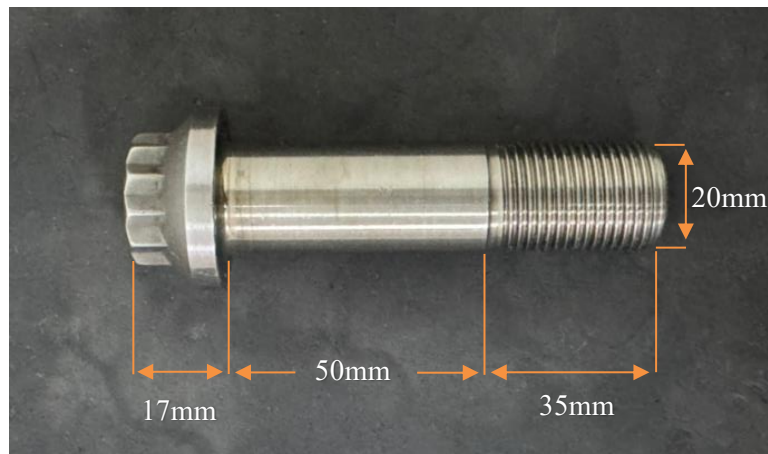
Gambar 2. Flowchart penelitian

2.1 Studi Literatur

Tahap yang dilakukan dengan mencari dan mengumpulkan data, informasi, dan langkah pengerjaan serta tahapan yang harus dilakukan dalam melakukan penegetesan *Fluorescent Penetrant Inspection*. Data yang diambil berasal dari *Aircraft Maintenance Manual (AMM)*, *ASTM E1417/E1417M* dan sumber-sumber penelitian terdahulu

2.2 Objek Penelitian

Objek penelitian adalah *engine mount bolt* bekas (*used component*) dari pesawat *Boeing 737-800/900* dengan tipe *engine CFM56-7*. Komponen ini dipilih karena berpotensi mengalami cacat akibat *fatigue* dan *stress* selama masa operasional pesawat. Material spesimen terbuat dari *nickel alloy*, sesuai dengan spesifikasi standar komponen pengikat *engine* pada pesawat tersebut. Berikut adalah bentuk visual dari *component engine mount bolt* dengan dimesinya:



Gambar 3. *Component – Engine Mount Bolt*

Meskipun idealnya pengujian dilakukan pada beberapa spesimen untuk meningkatkan validitas data, dalam kajian ini hanya digunakan satu buah *engine mount bolt* sebagai objek uji. Pemilihan satu spesimen ini didasarkan pada keterbatasan ketersediaan komponen dengan kondisi bekas pakai (*used component*) yang sesuai dan teridentifikasi memiliki potensi cacat aktual. Selain itu, kajian ini merupakan sebagai kajian awal (*preliminary study*) untuk mengevaluasi efektivitas relatif antara dua metode *FPI*. Fokus utama adalah pada perbandingan kualitas visual dan sensitivitas deteksi dari masing-masing metode dalam kondisi riil. Studi lanjutan dengan jumlah spesimen lebih banyak disarankan untuk memperoleh hasil yang lebih representatif secara statistik.

2.3 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di *NDT Shop Facility* dari *Batam Aero Technic*, Pada bulan April 2025. Area inspeksi ini dilengkapi dengan fasilitas *penetrant inspection line* sesuai dengan standar *ASTM* dan *AMM*, untuk mendukung proses inspeksi dan pengambilan data.



Gambar 4. *Penetrant Line System*



Gambar 5. *Inspection Room*

2.4 Metode Pengujian

Pengujian dilakukan dengan dua metode *FPI*, yaitu:

- *Water Washable (Method A)*
- *Post-Emulsifiable (Method D)*

Kedua metode mengikuti prosedur inspeksi sesuai dengan standar *ASTM E1417/E1417M*, serta mengacu pada ketentuan *Aircraft Maintenance Manual (AMM) Boeing 737-800/900 Chapter 70-40-01*. Spesimen diuji dengan kedua metode secara bergantian agar hasil dapat dibandingkan secara objektif.

2.5 Prosedur Pengujian

Tahapan pengujian dilakukan melalui langkah-langkah berikut:

a. *Surface Preparation/ Pre-Cleaning*

Permukaan spesimen dibersihkan dari kotoran, minyak, dan kerak menggunakan *solvent cleaner*, yang dapat mencegah *penetrant* masuk ke cacat, lalu dikeringkan dengan kain bebas serat (*lint-free cloth*). Permukaan harus benar-benar bersih dan kering sebelum aplikasi *penetrant*.

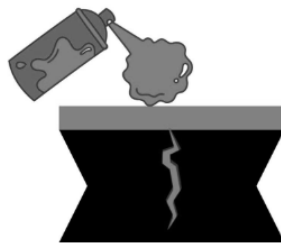


Gambar 6. *Pre-Cleaning* [7]

b. *Penetrant Application*

Cairan *fluorescent penetrant* diaplikasikan merata dengan cara disemprotkan ke seluruh permukaan spesimen.

- *Dwell time*: 20–60 menit untuk penetrasi [3]
- Pengaplikasian di lakukan di bawah lampu *ultraviolet*



Gambar 7. *Penetrant Application* [7]

c. *Excess Penetrant Removal*

- Untuk *Water Washable*, pembersihan dilakukan dengan semprotan air. Jika memungkinkan, jarak *nozzle* semprotan dan komponen minimum 30 cm dan dilakukan di bawah pencahayaan yang cukup [8].
 - *Water Pressure max 40 psi* [8]
 - *Water Temperature 10 - 38 °C* [8]
 - Di monitor di bawah lampu *ultraviolet*

- Untuk *post-Emulsifiable*: diaplikasikan *emulsifier* maksimal 90 detik, lalu dibilas dengan air.
 - *Emulsifier Concentration Range* 3-5% [8]
 - *Emulsifier Contact time shall not exceed 90 seconds* [3]
 - Dibilas dengan *water spray gun*. [3]
 - Dimonitor di bawah lampu *ultraviolet*



Gambar 8. *Excess Penetrant Removal* [7]

d. *Developer Application*

Developer kering *Form a – dry powder* disemprotkan dalam lapisan tipis dan merata.

- *Developer* disemprot sekitar 20-25 cm dari permukaan komponen dan diaplikasikan secara merata. Cukup dengan dua kali semprot [3]
- Pelapisan *developer* harus seragam dan latar belakang komponen tetap terlihat melalui *developer* [3]
- Rentan waktu *developer*: 10–60 menit [3]



Gambar 9. *Developer Application* [7]

e. *Inspection*

Inspeksi dilakukan di *inspection room* dengan pencahayaan:

- *UV* minimal 1000 $\mu W/cm^2$ [8]
- Cahaya di lingkungan *inspection room* tidak melebihi 21,5 *lux* [8]

Pemeriksa menyesuaikan penglihatan di ruang gelap selama minimal 1 menit [8] sebelum memulai inspeksi. Menggunakan alat bantu kaca pembesar 10× jika di perlukan. Semua indikasi *fluorescent* didokumentasikan dengan kamera.



Gambar 10. *Inspection* [7]

f. Post-Inspection

Setelah inspeksi selesai, sisa bahan kimia dibersihkan dari spesimen menggunakan *solvent cleaner*. Proses pengujian di lakukan pada satu komponen yang sama menggunakan 2 metode yang berbeda, bertujuan untuk memastikan efektivitas masing-masing metode *FPI* nya, dalam mendeteksi *defect* pada komponen tersebut. Untuk memastikan bahwa hasil dari metode kedua tidak terpengaruh proses sebelumnya, proses *post-inspection* akan dilaksanakan sesuai dengan prosedur manual:

- Bersihkan komponen dengan semprotan air atau dengan sikat dan air untuk menghilangkan *developer* dan *penetrant*. [3]
- Semprotkan *solvent cleaner* atau rendam bagian komponen dalam *solvent* untuk menghilangkan sisa *penetrant*. [3]
- Pastikan seluruh area benar-benar bersih dan kering. Keringkan dengan udara kering. [3]
- Periksa seluruh bagian komponen di bawah sinar *ultraviolet*. Pastikan semua *penetrant* dan *developer* telah bersih sepenuhnya. [3]

2.6 Parameter yang Diamati

Parameter yang dievaluasi dalam penelitian ini meliputi:

- Jumlah indikasi cacat yang terdeteksi
- Kejelasan visual dan kontras indikasi di bawah sinar *ultraviolet*
- Ukuran indikasi cacat
- Waktu dan kemudahan proses aplikasi

Data yang diperoleh dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif untuk membandingkan sensitivitas serta efisiensi masing-masing metode.

2.7 Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan utama yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

- *Solvent Cleaner*
- *Penetrant fluorescent Type I, Sensitivity level 3 – High (Water Washable dan post-Emulsifiable)*
- *Refractometer*
- *Emulsifier*
- *Developer type Form a – dry powder*
- *UV Lamp*
- *Radiometer*
- *Lint-free cloth*
- *Stopwatch*
- Kaca pembesar 10x

3. Analisa Data dan Pembahasan

3.1. Parameter Pemrosesan

Pengujian dilakukan terhadap satu komponen *engine mount bolt* menggunakan dua metode *FPI* yang berbeda: *Water Washable (Method A)* dan *post-Emulsifiable (Method D)*. Masing-masing metode diaplikasikan pada komponen yang sama secara bergantian dengan pengaplikasian metode *Water Washable (Method A)* terlebih dahulu dan di lanjutkan dengan metode *post-Emulsifiable (Method D)*, dengan prosedur pembersihan menyeluruh di antara dua proses inspeksi untuk mencegah kontaminasi atau efek residual.

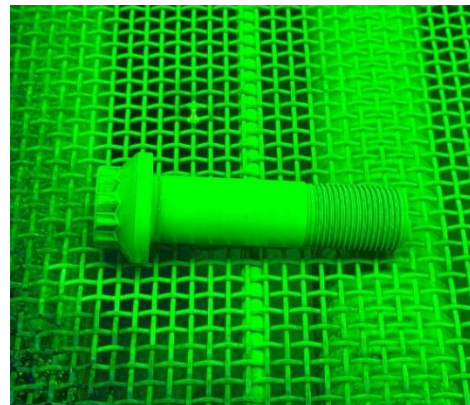
Tabel 1 berikut merangkum parameter pada saat pemrosesan

Parameter	Nilai
Intensitas lampu <i>UV (application & Excess Penetrant Removal)</i>	141 $\mu W/cm^2$.
<i>Water Pressure</i>	35 <i>psi</i>
<i>Water Temperature</i>	25 °C
<i>Emulsifier Concentration</i>	4%
Intensitas lampu <i>UV (Inspection)</i>	4243 $\mu W/cm^2$.

Tabel 1. Parameter Pemrosesan



Gambar 11. *Penetrant Application*



Gambar 12. *Dwell Time*

Pada gambar 11. merupakan visualisasi proses pengaplikasian *penetrant* dengan cara disemprot secara menyeluruh pada permukaan *engine mount bolt* yang di lakukan di bawah sinar *ultraviolet*. Setelah proses pengaplikasian sudah merata, komponen akan di diamkan (*Dwell Time*) seperti pada Gambar 12. Sesuai dengan waktu yang telah di tentukan agar *penetrant* dapat meresap kedalam celah cacat.

3.2 Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian, ditemukan adanya goresan dalam (*deep scratch*) pada komponen dengan menggunakan metode *Water Washable* maupun *post-Emulsifiable*. Kedua metode menunjukkan jumlah indikasi cacat yang sama. Namun demikian, metode *post-Emulsifiable* menghasilkan indikasi dengan panjang yang sedikit lebih besar berdasarkan hasil pengukuran manual menggunakan penggaris, dibandingkan dengan metode *Water Washable*.

Karena pengujian hanya dilakukan pada satu spesimen, maka hasil yang diperoleh belum dapat digeneralisasikan secara menyeluruh untuk semua kondisi *engine mount bolt*. Namun, sebagai studi awal, hasil ini memberikan gambaran awal tentang karakteristik kinerja masing-masing metode, yang dapat menjadi dasar untuk penelitian dengan skala yang lebih.

Dari sisi kejelasan visual, metode *post-Emulsifiable* memberikan tampilan indikasi cacat yang lebih tajam dan kontras, sehingga memudahkan proses interpretasi hasil. Sebaliknya, metode *Water Washable* memiliki keunggulan dalam hal kecepatan proses pemeriksaan karena tahapan pembersihannya lebih sederhana. Namun, indikasi yang ditampilkan tampak sedikit lebih pendek. Hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh proses pembersihan yang cukup kritikal, di mana sebagian *penetrant* yang berada di dalam cacat halus dapat ikut terangkat atau tersapu, sehingga mengurangi panjang atau kejelasan indikasi cacat. Meskipun pengujian ini hanya menggunakan satu spesimen, penting untuk mempertimbangkan potensi variabilitas hasil bila metode *FPI* ini diterapkan pada beberapa komponen sejenis. Dalam praktiknya, kondisi permukaan komponen, sisa kontaminan, dan orientasi cacat dapat memengaruhi hasil deteksi. Oleh karena

itu, estimasi ketidakpastian harus tetap dipertimbangkan, khususnya dalam interpretasi visual ukuran indikasi dan tingkat kecerahan.

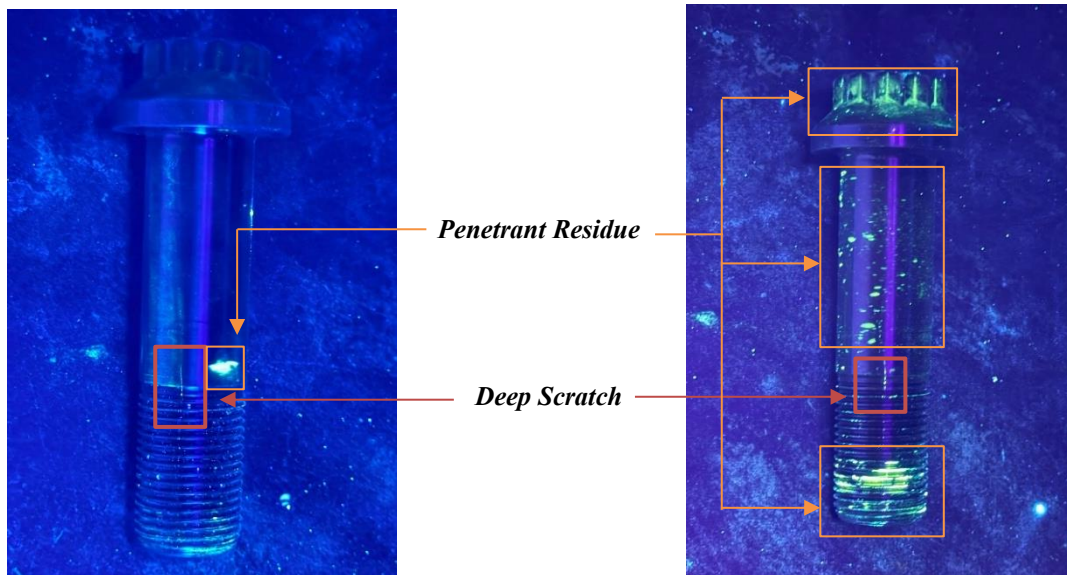
Dalam pengukuran manual menggunakan penggaris, potensi kesalahan pembacaan atau ketidaktepatan posisi pengukuran dapat menyebabkan deviasi ± 0.5 mm pada estimasi panjang indikasi. Selain itu, perbedaan tekanan air saat pencucian, atau waktu kontak *emulsifier* yang sedikit berbeda juga dapat menyebabkan hasil inspeksi yang tidak identik pada spesimen lain. Table 2 berikut merangkum hasil dari inspeksi yang dilaksanakan

Parameter	<i>Water Washable (A)</i>	<i>Post-Emulsifiable (D)</i>
Jumlah Indikasi Cacat	1	1
Kejelasan Visual	<i>Jelas</i>	<i>Lebih Jelas</i>
Ukuran Indikasi Cacat	<i>4mm</i>	<i>5mm</i>
Waktu		
- <i>Pre-Cleaning</i>	5 menit	5 menit
- <i>Penetrant Dwell time</i>	25 menit	25 menit
- <i>Excess Penetrant Removal</i>	10 menit	15 menit
- <i>Developer Dwell time</i>	15 menit	15 menit
- <i>Inspection</i>	10 menit	10 menit
- <i>Post-Inspection</i>	10 menit	10 menit
Total Proses	75 menit	80 menit

Tabel 2. Hasil Perbandingan *Water Washable* dan *post-Emulsifiable*

Berdasarkan hasil inspeksi menggunakan metode *Water Washable*, selain mendeteksi adanya cacat, dapat di deskripsikan bahwa, seluruh permukaan komponen tampak lebih bersih dari *residue penetrant* yang di aplikasikan. Hanya terdapat sedikit *residue* di sekitar area cacat yang terindikasi, karena proses pembersihan sisa *penetrant* relatif mudah dilakukan hanya dengan air. Dalam metode ini, tahap pembersihan merupakan proses yang sangat krusial, karena jika dilakukan secara berlebihan, indikasi cacat dapat terangkat sepenuhnya. Sementara itu, pada metode *post-emulsifiable*, terlihat adanya kontras yang lebih kuat. *residue penetrant* tampak masih melekat di berbagai bagian pada area *engine mount bolt*. Indikasi cacat pada metode ini tampil lebih tajam, terang dan jelas.

Hal ini mengindikasikan, bahwa pada pengujian ini, kedua metode *post-Emulsifiable* dan *Water Washable* memiliki sensitivitas deteksi yang sama, dengan kejelasan visual yang berbeda. Berikut ini adalah visual dari inspeksi kedua metode.



Gambar 13. *Water Washable Result*

Gambar 14. *Post-Emulsifiable Result*

Gambar 13. Merupakan bentuk visual dari proses inspeksi dan temuan yang di dapat pada dengan metode *Water Washable*, terlihat bentuk cacat berupa *Deep Scratch* dan *residue* dari *penetrant*. Sedangkan pada gambar 14. Terlihat bentuk cacat yang lebih jelas dengan banyak *residue penetrant* di berbagai area. Selanjutnya, gambar 15 di bawah ini merupakan bentuk visual dari *engine mount bolt* setelah *post-inspection* sebelum pengaplikasian metode *post-emulsifiable*



Gambar 15. Post-inspection engine mount bolt

Setelah dilakukan pengujian dengan metode *water washable*, *bolt* dipastikan dalam kondisi bersih sebelum dilanjutkan ke metode kedua, yaitu *post-emulsifiable*, guna mencegah kontaminasi dan sisa bahan dari pengujian sebelumnya yang dapat memengaruhi akurasi hasil. Komponen disemprot dengan air untuk menghilangkan *developer* dan *penetrant*, kemudian dibersihkan kembali menggunakan *solvent cleaner* agar seluruh permukaan benar-benar bebas dari *residue*. Setelah proses pembersihan, komponen dikeringkan secara menyeluruh dan diperiksa di bawah sinar *ultraviolet* untuk memastikan bahwa tidak ada sisa *penetrant* maupun *developer* yang tertinggal. Pemeriksaan ini penting untuk menjamin bahwa hasil pengujian tahap kedua tidak terpengaruh oleh bahan dari tahap sebelumnya.

Dengan standar minimal intensitas sinar *UV* sebesar $1000 \mu W/cm^2$ saat proses inspeksi, pengukuran aktual menunjukkan bahwa intensitas *UV* di ruang inspeksi mencapai $4243 \mu W/cm^2$, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Intensitas UV Pada Ruang Inspeksi

Nilai ini jauh melebihi ambang batas minimum dan memastikan bahwa semua indikasi *fluorescent* dapat terdeteksi dengan optimal. Hasil inspeksi menunjukkan, metode *post-Emulsifiable* mampu menampilkan indikasi cacat secara lebih tegas, kontras dan didukung oleh ketahanan *penetrant* terhadap proses pembersihan, karena *emulsifier* hanya bekerja pada permukaan, Sebaliknya, metode *Water Washable* memiliki keunggulan dari segi kecepatan proses, karena tidak memerlukan tahapan emulsifikasi. Namun, terdapat risiko *over washing*, di mana *penetrant* pada celah cacat halus dapat ikut terangkat selama proses pembersihan. Meskipun lebih kompleks, metode *post-Emulsifiable* dinilai lebih cocok untuk komponen seperti *engine mount bolt*.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, kedua metode *Fluorescent Penetrant Inspection (FPI)*, yaitu *Water Washable* dan *post-Emulsifiable*, mampu mendeteksi cacat berupa satu indikasi goresan dalam pada komponen *engine mount bolt*. Namun, metode *post-Emulsifiable* menghasilkan tampilan indikasi cacat (*deep scratch*) yang lebih tajam dan kontras dengan panjang indikasi 5 mm, dibandingkan dengan *Water Washable* yang menunjukkan panjang 4 mm dengan visualisasi yang kurang jelas. Dari sisi efisiensi waktu, *Water Washable* lebih cepat dengan total proses 75 menit, sementara *post-Emulsifiable* memerlukan 80 menit. Dengan demikian, *post-Emulsifiable* akan lebih baik untuk komponen kritis karena memiliki sensitivitas visual yang lebih baik, meskipun memerlukan waktu proses yang sedikit lebih lama. Terlepas dari hasil pengujian yang di dapatkan, pelaksanaan inspeksi dan penentuan metode inspeksi harus mengikuti prosedur manual yang berlaku.

Daftar Pustaka

- [1] The Boeing Company, "Boeing 737-600/700/800/900 Aircraft Maintenance Manual: Engine Mounts – Inspection /Check", Revision No. 86, Feb. 15, 2025.
- [2] C. J. Hellier, "Handbook of Nondestructive Evaluation", New York: McGraw-Hill, 2003.
- [3] The Boeing Company, "Boeing 737-600/700/800/900 Aircraft Maintenance Manual: Fluorescent Penetrant Inspection – Maintenance Practices", Revision No. 86, Feb. 15, 2025.
- [4] Yiğit, F. N., Keskinsoy, N., Güven, T. B., & Gültekin, E. E, "Non-destructive testing of aircraft wing with liquid penetrant method". *International Journal of Aeronautics and Astronautics*, Vol: 2(3), 56-60, 2021.
- [5] Irwansyah, "Deteksi Cacat pada Material dengan Teknik Pengujian Tidak Merusak," *LENSA*, vol. 2, no. 48, pp. 7–9, Sep. 2019. ISSN: 0854-7904.
- [6] C. Stockhausen, "Water Washable versus Post Emulsifiable Penetrant – Which is Right for You?," Magnaflux, 2025. [Online]
- [7] Agung, "Penetrant Test: Pengujian NDT Menggunakan Cairan Khusus" Testindo, 24-Jul-2024. [Online].
- [8] ASTM International, "ASTM E1417/E1417M – 21, Standard Practice for Liquid Penetrant Testing", West Conshohocken, PA, USA, 2021.