

Analisis komparatif efisiensi metode NDT (Non-Destructive Testing) Eddy Current Testing dan Ultrasonic Testing dalam pemeliharaan pesawat komersial

Muhammad Zulfikar Azzurri*, Mufti Arifin, Aswan Tajuddin, Syarifah Fairuza
Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 30 Agustus 2025
Direvisi: 6 Oktober 2025
Diterima: 30 Desember 2025

Kata kunci:

Non-Destructive Testing, Eddy Current Testing, Ultrasonic Testing, Pesawat Komersil

Keywords:

Non-Destructive Testing, Eddy Current, Ultrasonic Testing, Commercial Aircraft

Penulis Korespondensi:

Muhammad Zulfikar Azzurri
Email:
azzurrizulfikar@gmail.com

ABSTRAK

Pesawat terbang merupakan alat transportasi udara yang banyak diminati oleh masyarakat di era sekarang ini. Namun, pesawat terbang juga memiliki batas kemampuan waktu maupun usianya. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efisiensi antara Eddy Current Testing (ECT) dan Ultrasonic Testing (UT) pada pesawat komersil. Kedua metode NDT ini secara luas digunakan dalam industri penerbangan untuk memastikan integritas struktur pesawat. Dalam industri penerbangan, keselamatan dan keandalan pesawat komersial menjadi prioritas utama. Non-Destructive Testing (NDT) merupakan metode penting untuk mendeteksi cacat tanpa merusak komponen. Pesawat terbang sebagai alat transportasi yang kompleks terdiri dari berbagai komponen material yang terus menerus terpapar kondisi ekstrem selama penerbangan. Oleh karena itu, pemeliharaan yang efektif menjadi kunci untuk memastikan keselamatan dan keberlanjutan operasional pesawat. Dua teknik NDT yang utama dalam analisa ini adalah Eddy Current Testing (ECT) dan Ultrasonic Testing (UT). ECT efektif dalam mendeteksi cacat permukaan pada material logam, sementara UT lebih unggul dalam mendeteksi cacat internal dengan menggunakan gelombang suara berfrekuensi tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua metode memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Dengan kesimpulan bahwa kombinasi ECT dan UT meningkatkan akurasi deteksi cacat, sehingga memperkuat keselamatan operasional pesawat komersial.

Airplanes are a means of air transportation that is in great demand by the public in this era. However, airplanes also have a time and age limit. This study aims to compare the efficiency between Eddy Current Testing (ECT) and Ultrasonic Testing (UT) in detecting defects in commercial aircraft components. Both NDT methods are widely used in the aviation industry to ensure the structural integrity of aircraft. In the aviation industry, the safety and reliability of commercial aircraft is a top priority. Non-Destructive Testing (NDT) is an important method to detect defects without damaging components. Aircraft as a complex means of transportation consists of various material components that are continuously exposed to extreme conditions during flight. Therefore, effective maintenance is key to ensuring the safety and operational sustainability of the aircraft. The two main NDT techniques are Eddy Current Testing (ECT) and Ultrasonic Testing (UT). ECT is effective in detecting surface defects in metallic materials, while UT is superior in detecting internal defects by using high frequency sound waves. The results show that both methods have their own advantages and disadvantages. It is concluded that the combination of ECT and UT improves defect detection accuracy, thereby strengthening the operational safety of commercial aircraft.

Copyright © 2025 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Pesawat terbang merupakan alat transportasi udara yang banyak diminati oleh masyarakat di era sekarang ini. Namun, pesawat terbang juga memiliki batas kemampuan waktu maupun usianya. Oleh karena itu untuk menjaga performa dari pesawat tersebut diperlukan pemeliharaan tersendiri supaya performa dari pesawat tidak berkurang atau hanya sedikit perubahan kecil dari performa awal pesawat diproduksi [1].

Maintenance pesawat mencerminkan evolusi yang signifikan dalam teknologi, regulasi, dan praktik industri untuk memastikan bahwa pesawat tetap aman dan dapat diandalkan dalam setiap operasinya. Dengan pemahaman yang mendalam tentang aspek-aspek ini, industri dapat terus meningkatkan standar keselamatan dan efisiensi dalam perawatan pesawat. Teknologi Non-Destructive Testing (NDT) seperti eddy current, ultrasonik, radiografi, dan lainnya telah menjadi bagian integral dari perawatan pesawat [2].

NDT digunakan untuk mendeteksi cacat atau kelemahan pada struktur pesawat tanpa merusak material. Teknologi NDT terus berkembang dengan pesat, menawarkan berbagai inovasi yang meningkatkan efisiensi dan akurasi inspeksi. Eddy Current Testing (ECT) dan Ultrasonic Testing (UT) juga mengalami perkembangan yang signifikan, baik dalam hal perangkat keras maupun perangkat lunak. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi perkembangan terbaru dari kedua metode tersebut dan membandingkan performanya dalam mendeteksi cacat pada komponen pesawat modern. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan standar dan prosedur inspeksi yang lebih baik di masa depan [3].

II. METODE PENELITIAN

2.1 Ultrasonic Testing (UT)

Ultrasonic Testing (UT) adalah salah satu teknik Non-Destructive Testing (NDT) yang menggunakan gelombang ultrasonik untuk mendeteksi cacat atau mengukur ketebalan material dalam pesawat dan banyak aplikasi lainnya. Ultrasonic Testing sangat penting dalam pemeliharaan pesawat karena memastikan integritas struktural dan operasional pesawat, mendeteksi potensi masalah sebelum menjadi kritis, dan mematuhi standar keselamatan yang ketat dalam industri penerbangan [4,5].

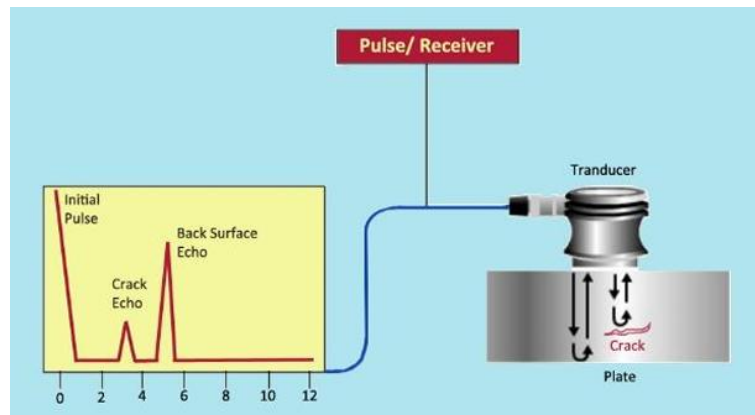
Berikut ini adalah beberapa poin penting tentang Ultrasonic Testing:

1. Penggunaan Gelombang Ultrasonik: UT menggunakan gelombang suara dengan frekuensi tinggi (di atas batas pendengaran manusia, yaitu di atas sekitar 20 kHz) untuk memantulkan gelombang tersebut dari dalam material yang diperiksa.
2. Transducer: adalah Transducer perangkat menghasilkan yang gelombang ultrasonik dan mendeteksi gelombang yang dipantulkan. Gelombang ultrasonik dipancarkan melalui ke material transducer, dan gelombang yang dipantulkan oleh permukaan dan batas dalam material kemudian diterima kembali transducer.
3. Analisis oleh Gelombang: Gelombang ultrasonik yang dipantulkan digunakan untuk menganalisis struktur internal material. Jika ada cacat seperti retakan, porositas, atau perubahan ketebalan, gelombang tersebut akan memantulkan kembali atau mengalami refleksi yang berbeda, yang dicatat dan dianalisis oleh perangkat UT.

Aplikasi Ultra Sonic Testing:

1. Pengukuran Ketebalan: UT digunakan secara luas untuk mengukur ketebalan material seperti logam, komposit, atau material lainnya yang konduktif terhadap gelombang ultrasonik. Ini penting dalam pemantauan keausan atau korosi pada struktur pesawat.
2. Deteksi Cacat: UT dapat mendeteksi berbagai jenis cacat seperti retakan, korosi dalam, porositas, dan inhomogenitas lainnya dalam material. Ini termasuk deteksi cacat pada komponen struktural pesawat seperti sayap, badan pesawat, dan bagian-bagian kritis lainnya.
3. Inspeksi Pengelasan: UT digunakan untuk memeriksa kualitas pengelasan pada komponen struktural pesawat. Ini membantu memastikan bahwa pengelasan memenuhi standar kekuatan dan tidak memiliki cacat yang dapat mengurangi keandalannya.

4. Aplikasi Khusus: Selain pesawat, UT juga digunakan dalam berbagai industri seperti manufaktur, pembangkit listrik, industri minyak dan gas, dan lainnya untuk inspeksi material dan keamanan struktural.



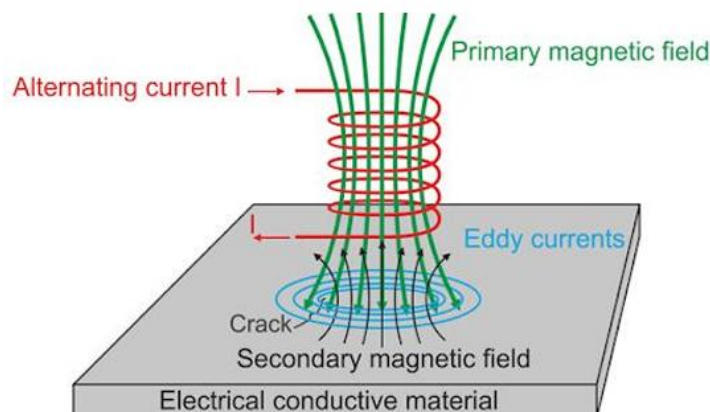
Gambar 1 Prinsip Kerja *Ultrasonic Testing* [5]

2.2 Eddy Current Testing (ECT)

Eddy Current Testing (ECT) adalah teknik Non-Destructive Testing (NDT) yang penting dalam pemeliharaan pesawat komersial. Metode ini menggunakan arus eddy yang dihasilkan oleh medan magnet untuk mendeteksi cacat atau mengukur ketebalan material tanpa merusak struktur pesawat [6,7].

Berikut adalah aplikasi dan pentingnya Eddy Current Testing pada pesawat:

1. Deteksi Cacat Permukaan: ECT digunakan untuk mendeteksi retakan, korosi permukaan, dan cacat lainnya pada komponen-komponen pesawat seperti badan pesawat, sayap, dan bagian-bagian lain yang terpapar secara langsung.
2. Pengukuran Ketebalan Material: Seperti UT, ECT juga dapat digunakan untuk mengukur ketebalan material pada komponen-komponen struktural pesawat. Pengukuran ini penting untuk memantau keausan material dan memastikan bahwa ketebalan yang diperlukan untuk kekuatan struktural tetap terjaga.
3. Pemeriksaan Sambungan dan Pengelasan: ECT dapat digunakan untuk memeriksa kualitas sambungan dan pengelasan pada komponen-komponen pesawat yang mengalami proses pengelasan. Inspeksi ini membantu memastikan bahwa tidak ada cacat atau kelemahan yang dapat mempengaruhi integritas struktural.
4. Deteksi Kelelahan Logam (Metal Fatigue): Kelelahan logam adalah masalah umum dalam pesawat, terutama pada komponen yang mengalami beban siklik atau tekanan berulang. ECT dapat mendeteksi digunakan tanda-tanda untuk awal kelelahan logam seperti retakan yang tidak terlihat secara visual.



Gambar 2 Prinsip Kerja *Eddy Current* [5]

5. Pemeliharaan Preventif: Seperti UT, ECT juga digunakan dalam pemeliharaan preventif untuk memantau kondisi struktural pesawat secara teratur. Ini membantu teknisi untuk mengidentifikasi masalah sebelum potensi mereka berkembang menjadi masalah yang lebih serius.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Eddy Current Testing

Arus listrik AC melewati kumparan dan menghasilkan medan magnet. Ketika kumparan diletakkan di dekat material konduktif, terjadi induksi arus listrik di dalam material akibat pengaruh medan magnet. Arus listrik berjalan dalam satu loop dan dinamakan eddy current. Eddy current menghasilkan medan magnet sendiri yang dapat digunakan untuk menemukan kerusakan menentukan sifat konduktivitas, permeabilitas, dan mengukur dimensi. Eddy current digunakan untuk mendeteksi kerusakan pada permukaan dan near surface pada material konduktif seperti logam. Eddy current juga digunakan untuk mengelompokkan material konduktivitas listrik, berdasar permeabilitas dan ketebalan pelat logam dan lapisan non konduktif seperti cat pada perawatan pesawat, eddy current digunakan untuk memeriksa bagian under carriage, hub roda, komponen tubular dari pesawat dan mesin, lubang pengikat, piringan kompresor mesin turbin, skin pesawat, dan landing gear utama.

3.2 Ultrasonic Testing

Ultrasonik digunakan untuk menentukan lokasi defect di permukaan dan daerah subsurface pada banyak material seperti logam, plastik, dan kayu. Ultrasonik juga digunakan untuk menentukan tebal material, mengkarakterisasi sifat material berdasarkan pengukuran kecepatan dan turunnya amplitudo suara pada perawatan pesawat, metode ultrasonik digunakan untuk memeriksa area landing gear dan pelengkap mesin, sambungan struktur pylon pesawat, serta pemeriksaan batang mesin turbin dan piringan mesin turbin. Untuk menentukan kecacatan pada sebuah objek digunakan energi listrik yang dikonversikan menjadi gelombang ultrasonik melalui transduser. Transduser memiliki kristal yang akan mengirimkan gelombang ultrasonik kepada objek dengan sudut pantulan tegak lurus. Frekuensi gelombang ultrasonik yang tinggi dikirim ke material oleh transduser. Gelombang suara menjalar di sepanjang material dan kembali diterima oleh transduser yang sama ataupun transduser lain. Jumlah energi yang dikirim atau diterima dan lama waktu untuk menerima energi kembali dianalisis untuk menentukan adanya cacat atau tidak.

3.3 Penerapan Dmaic Six Sigma

Untuk membandingkan efisiensi antara NDT Eddy Current Testing (ECT) dan Ultrasonic Testing (UT) digunakan metode DMAIC dalam Six Sigma. Tujuannya adalah untuk menentukan metode mana yang lebih efisien antara ECT dan UT dalam mendeteksi cacat pada komponen pesawat. sehingga efisien dalam mendeteksi cacat pada komponen pesawat. ECT lebih efisien untuk inspeksi cepat terhadap cacat permukaan dan dekat permukaan pada material logam, misalnya untuk mendeteksi retak fatigue pada sayap atau badan pesawat yang terbuat dari logam. UT lebih efisien untuk mendeteksi cacat internal pada berbagai jenis material, termasuk logam, komposit, atau material non-konduktif lainnya. Misalnya, UT sering digunakan untuk memeriksa integritas internal dari baling-baling atau struktural komponen utama lainnya yang mungkin memiliki cacat internal.

3.3.1 Measure (Mengukur)

a. Eddy Current Testing (ECT)

Waktu inspeksi per unit menggunakan Eddy Current Testing (ECT) pada pesawat sangat bervariasi tergantung pada beberapa faktor, termasuk ukuran dan kompleksitas area yang diperiksa, jenis cacat yang dicari, serta aksesibilitas komponen yang diinspeksi. Namun, secara umum, ECT dianggap sebagai metode NDT yang cukup cepat dibandingkan dengan metode lain seperti Ultrasonic Testing (UT). Faktor-faktor yang mempengaruhi waktu inspeksi, diantaranya luas area yang diperiksa. Semakin besar area yang diperiksa, semakin lama waktu yang dibutuhkan. Inspeksi sayap atau badan pesawat yang luas mungkin memerlukan waktu lebih lama dibandingkan dengan inspeksi komponen kecil seperti baut atau sambungan.

Inspeksi untuk mendeteksi cacat yang lebih dalam atau kecil mungkin memerlukan lebih banyak waktu dan peralatan khusus. Jika komponen yang diperiksa sulit diakses, waktu tambahan mungkin diperlukan untuk persiapan dan penempatan probe ECT. Jika menggunakan peralatan otomatis atau robotik untuk memindai area yang luas, waktu inspeksi bisa dibandingkan manual. Lebih dengan cepat inspeksi. Waktu yang dibutuhkan untuk pengaturan awal, kalibrasi alat, dan analisis data juga harus diperhitungkan. Inspeksi bisa memakan waktu mulai dari beberapa menit hingga setengah jam per unit tergantung pada kompleksitas dan tingkat cacat yang dicari. Untuk area yang lebih luas, waktu inspeksi bisa berkisar antara beberapa jam hingga sehari penuh, tergantung pada luas area, tingkat detail yang diperlukan, dan penggunaan peralatan otomatis. Secara keseluruhan, ECT adalah metode yang relatif cepat dan efisien, terutama untuk inspeksi rutin dan deteksi cacat permukaan pada pesawat.

Harga alat ECT portabel berkisar antara \$5.000 hingga \$10.000 atau lebih, tergantung pada fitur, kemampuan analisis, dan pabrikan. Probe ECT untuk aplikasi tertentu bisa berharga antara \$500 hingga \$1.000, tergantung pada jenis dan sensitivitasnya. Biaya untuk aksesoris seperti kabel, software analisis data, dan perangkat tambahan lainnya dapat menambah beberapa ribu dolar ke biaya total. Peralatan ECT memerlukan kalibrasi rutin dan pemeliharaan, yang dapat menambah beberapa ratus hingga ribuan dolar per tahun, tergantung pada frekuensi dan kompleksitas perawatan.

Biaya inspeksi ECT merupakan investasi yang penting untuk menjaga keamanan dan keandalan pesawat terbang. Biaya ini mencakup berbagai faktor, mulai dari keahlian teknisi, peralatan yang digunakan, hingga tanggung jawab perusahaan inspeksi. Dengan demikian, biaya inspeksi ECT dapat dibenarkan sebagai bagian integral dari perawatan pesawat terbang. Gaji untuk teknisi NDT yang menggunakan ECT berkisar antara \$10 hingga \$100 per jam, tergantung pada lokasi, tingkat keahlian, dan kompleksitas pekerjaan. Tergantung pada ukuran dan kompleksitas komponen, waktu yang dihabiskan untuk inspeksi bisa mempengaruhi biaya operasional secara signifikan. Termasuk biaya listrik, ruang kerja, dan transportasi, yang bisa menambah beberapa persen ke total biaya operasional. Jika peralatan ECT membutuhkan software analisis canggih, lisensi tambahan mungkin diperlukan, dengan biaya tahunan berkisar antara \$500 hingga \$1.000 atau lebih.

Biasanya, kursus pelatihan dasar untuk ECT Level I berkisar antara \$300 hingga \$1.000 per orang untuk pelatihan selama seminggu. Kursus lanjutan (Level II dan III) yang lebih mendalam dan lanjutan (Level II atau III), biaya bisa berkisar antara \$500 hingga \$2.000 atau lebih, tergantung pada durasi dan kompleksitas kursus. Setelah pelatihan, teknisi perlu mendapatkan sertifikasi. Biaya untuk ujian sertifikasi bisa berkisar antara \$300 hingga \$1.000 per tingkat sertifikasi. Selain pelatihan formal, banyak perusahaan yang memerlukan OJT, yang juga memerlukan waktu dan biaya. Biaya ini biasanya termasuk dalam gaji teknisi dan bervariasi tergantung pada durasi dan intensitas pelatihan. Sertifikasi ECT perlu diperbarui secara berkala (biasanya setiap 3-5 tahun), yang mungkin memerlukan biaya tambahan untuk pelatihan ulang atau ujian sertifikasi ulang. Seorang teknisi yang ingin mencapai Level II dalam ECT mungkin perlu mengeluarkan biaya total antara \$1.000 hingga \$3.000, termasuk pelatihan, sertifikasi, dan OJT. Untuk sebuah tim kecil yang melakukan inspeksi rutin dengan ECT, biaya operasional tahunan (termasuk peralatan, kalibrasi, dan tenaga kerja) bisa mencapai puluhan ribu hingga ratusan ribu dolar, tergantung pada skala operasi.

b. Ultrasonic Testing (ECT)

Waktu inspeksi per unit menggunakan Ultrasonic Testing (UT) pada pesawat sangat tergantung pada beberapa faktor, seperti ukuran dan kompleksitas komponen yang diperiksa, jenis cacat yang dicari, dan tingkat aksesibilitas komponen. UT, meskipun lebih lambat dibandingkan beberapa metode NDT lainnya seperti Eddy Current Testing (ECT), sangat efektif untuk mendeteksi cacat internal dan memberikan informasi detail tentang dimensi dan lokasi cacat.

Faktor-faktor yang mempengaruhi waktu inspeksi didapat dari narasumber dan beberapa jurnal. Semakin besar dan kompleks komponen yang diperiksa, semakin lama waktu yang diperlukan. Misalnya, inspeksi baling-baling atau spar pesawat yang panjang akan memakan waktu lebih lama dibandingkan dengan inspeksi sambungan atau bagian kecil lainnya. Cacat yang dalam atau kecil mungkin memerlukan lebih banyak waktu untuk diidentifikasi, terutama jika diperlukan beberapa sudut atau metode pemindaian untuk mendeteksinya. Komponen yang sulit dijangkau atau memiliki permukaan yang tidak rata membutuhkan waktu lebih lama untuk persiapan dan inspeksi. Penggunaan transduser array phased (yang memungkinkan pemindaian area lebih besar dengan sekali pengambilan

data) dapat mengurangi waktu inspeksi dibandingkan dengan transduser single-element tradisional. Waktu untuk mempersiapkan permukaan, menggunakan media penghubung (seperti gel), dan menganalisis data hasil inspeksi juga harus diperhitungkan.

Komponen kecil (misalnya sambungan atau area kecil) butuh waktu inspeksi bisa berkisar antara 15 menit hingga 1 jam per unit, tergantung pada kompleksitas dan kedalaman cacat yang dicari. Komponen besar atau area luas (misalnya sayap, baling-baling, spar, atau badan pesawat) butuh waktu inspeksi bisa bervariasi dari beberapa jam hingga satu atau dua hari penuh, tergantung pada teknik pemindaian yang digunakan dan tingkat detail yang diperlukan. Inspeksi spar atau baling-baling biasanya memakan waktu beberapa jam, terutama jika diperlukan beberapa sudut atau pemindaian multi-sisi untuk mendeteksi cacat internal. Inspeksi sayap pesawat dapat memakan waktu sehari penuh atau lebih, terutama jika sayap memiliki struktur yang kompleks dan diperlukan inspeksi detail untuk mendeteksi cacat fatigue atau delaminasi. Secara keseluruhan, UT adalah metode yang lebih memakan waktu dibandingkan dengan ECT, tetapi sangat penting untuk mendeteksi cacat internal yang tidak dapat dijangkau oleh metode lain. Waktu yang diperlukan untuk inspeksi UT sepadan dengan keakuratan dan kedalaman informasi yang diperoleh.

Harga untuk alat UT portabel biasanya berkisar antara \$6.000 hingga \$10.000, tergantung pada fitur, merek, dan spesifikasi teknis. Transduser yang digunakan dalam UT bervariasi dalam harga, dari sekitar \$500 hingga \$5.000 atau lebih, tergantung pada jenis, frekuensi, dan aplikasi. Gel atau cairan penghubung diperlukan untuk transmisi gelombang ultrasonik. Biaya untuk media ini relatif rendah, tetapi bisa menambah beberapa ratus dolar per tahun tergantung pada volume penggunaan. Kalibrasi dan pemeliharaan: Alat UT memerlukan kalibrasi berkala, yang dapat memakan biaya sekitar \$500 hingga \$2.000 per tahun, tergantung pada frekuensi kalibrasi dan penyedia layanan. Biaya peralatan, termasuk penggantian komponen dan perbaikan, dapat bervariasi tetapi umumnya sekitar \$1.000 hingga \$3.000 per tahun. Biaya inspeksi UT merupakan investasi yang penting untuk menjaga keamanan dan keandalan pesawat terbang. Biaya ini mencakup berbagai faktor, mulai dari keahlian teknisi, peralatan yang digunakan, hingga tanggung jawab perusahaan inspeksi. Dengan demikian, biaya inspeksi ECT dapat dibenarkan sebagai bagian integral dari perawatan pesawat terbang.

Gaji untuk teknisi UT bisa berkisar antara \$30 hingga \$150 per jam, tergantung pada lokasi, pengalaman, dan kompleksitas tugas. Waktu yang dibutuhkan untuk inspeksi dengan UT dapat berkisar dari beberapa jam hingga satu atau dua hari per komponen atau area, tergantung pada ukuran dan kompleksitas. Biaya overhead termasuk biaya operasional seperti listrik, ruang kerja, dan transportasi. Ini dapat menambah beberapa persen dari total biaya operasional. Jika menggunakan software analisis untuk interpretasi hasil, biaya lisensi software bisa berkisar antara \$1.000 hingga \$5.000 per tahun. Inspeksi UT mampu mendeteksi cacat internal pada material, seperti retak, pori-pori, dan inklusi, yang tidak dapat dideteksi dengan inspeksi visual. Cacat cacat ini dapat menyebabkan kegagalan komponen pesawat jika tidak segera diperbaiki.

Kursus untuk teknisi UT Level I biasanya berkisar antara \$500 hingga \$3.000 per orang untuk pelatihan selama seminggu. Untuk pelatihan lanjutan (Level II atau III), biaya bisa antara \$1.000 hingga \$5.000 atau lebih, tergantung pada durasi dan kursus. Sertifikasi UT Ujian biasanya memerlukan biaya antara \$300 hingga tergantung \$1.000. Pelatihan tambahan di tempat kerja sering diperlukan untuk meningkatkan keterampilan teknisi, yang mempengaruhi keseluruhan. Biaya ini biasanya termasuk dalam gaji teknisi. Sertifikasi UT perlu diperbarui secara berkala (biasanya setiap 3-5 tahun), yang bisa memerlukan biaya tambahan untuk pelatihan ulang atau ujian sertifikasi ulang. Seorang teknisi yang ingin mencapai Level II dalam UT mungkin memerlukan biaya total antara \$1.000 hingga \$5.000, termasuk pelatihan, sertifikasi, dan OJT. Untuk sebuah tim melakukan kecil inspeksi yang rutin dengan UT, biaya operasional tahunan (termasuk peralatan, kalibrasi, pemeliharaan, dan tenaga kerja) bisa mencapai puluhan ribu hingga ratusan ribu dolar, tergantung pada volume dan kompleksitas inspeksi.

3.3.2 Analyze (Menganalisis)

a. Eddy Current Testing (ECT)

ECT sangat efektif dalam mendeteksi cacat permukaan dan dekat permukaan pada material konduktif, seperti retak fatigue, korosi, dan penyusutan material. Akurasi deteksi untuk cacat permukaan dapat sangat tinggi, dengan kemampuan untuk mendeteksi retak yang sangat kecil (sering kali dalam rentang milimeter atau lebih kecil). Kemampuan ECT untuk mendeteksi cacat internal atau subsurface

terbatas dan lebih bergantung pada kedalaman cacat dan jenis material. Biasanya, ECT lebih efektif untuk mendeteksi cacat yang tidak lebih dari beberapa milimeter dari permukaan.

Permukaan yang bersih dan rata memberikan akurasi yang lebih baik. Korosi atau kontaminasi pada permukaan dapat mempengaruhi hasil. ECT lebih akurat pada material konduktif dan mungkin tidak efektif pada material non-konduktif seperti komposit [7,8]. ECT cepat dalam memindai area mendeteksi cacat dengan akurasi tinggi. ECT sangat sensitif terhadap retak dan cacat permukaan kecil.

b. Ultrasonic Testing (UT)

UT sangat baik dalam mendeteksi cacat internal seperti delaminasi, pori-pori, dan retak internal dalam material, dengan akurasi yang dapat mendeteksi cacat hingga beberapa milimeter di dalam material [9]. UT juga efektif untuk mengukur ketebalan material dan mendeteksi perubahan dalam ketebalan yang mengindikasikan cacat. Akurasi UT dapat dipengaruhi oleh jenis material, bentuk, dan orientasi cacat. Material yang homogen dan geometri yang konsisten biasanya memberikan hasil yang lebih akurat. Permukaan yang bersih dan penggunaan media penghubung yang tepat (seperti gel) sangat penting untuk akurasi deteksi. Teknik pemindaian, kalibrasi peralatan, dan pengalaman teknisi mempengaruhi akurasi deteksi. UT dapat mendeteksi cacat internal yang tidak terlihat oleh ECT dan memberikan informasi rinci mengenai ukuran, lokasi, dan jenis cacat.

3.3.3 Improve (Memperbaiki)

Jika satu metode lebih cepat tetapi kurang akurat, perlu mempertimbangkan untuk mengoptimalkan metode tersebut atau menggabungkannya dengan metode lainnya. Perlu juga mengoptimalkan pelatihan teknisi untuk meningkatkan kecepatan akurasi. Selain itu, mempertimbangkan dan melakukan kombinasi penggunaan ECT dan UT berdasarkan jenis cacat dan lokasi inspeksi. Pada implementasi, menerapkan perubahan pada prosedur inspeksi serta memberikan pelatihan tambahan jika diperlukan. Gunakan control charts untuk memantau kinerja metode yang diimplementasikan [10]. Lakukan audit berkala untuk memastikan konsistensi inspeksi. Dokumentasikan hasil perbaikan dan buat standar operasional baru yang menggabungkan metode yang lebih efisien. Pastikan seluruh teknisi mengikuti prosedur yang baru.

3.4 Rangkuman Perbandingan ECT dan UT

Eddy Current Testing (ECT) dan Ultrasonic Testing (UT) adalah dua metode Non-Destructive Testing (NDT) yang umum digunakan dalam industri penerbangan, khususnya untuk memeriksa integritas struktur pesawat. Masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan yang perlu dipertimbangkan berdasarkan jenis cacat yang ingin dideteksi, aksesibilitas komponen, dan biaya operasional.

Tabel 1 Perbandingan ECT dan UT

Kriteria	Eddy Current Testing (ECT)	Ultrasonic Testing (UT)
Prinsip Kerja	Menggunakan induksi elektromagnetik	Menggunakan gelombang ultrasonik
Jenis Cacat yang Dideteksi	Retak permukaan, korosi, perubahan konduktivitas, serta ketidaksesuaian dimensi	Retak permukaan dan internal, delaminasi, inklusi, serta pengukuran ketebalan
Kedalaman Penetrasi	Terbatas, bergantung pada frekuensi	Lebih dalam, dapat mencapai beberapa meter pada material tertentu
Aksesibilitas	Efektif untuk permukaan yang konduktif dan mudah dijangkau	Fleksibel, dapat digunakan untuk permukaan dan bagian internal, namun memerlukan media kopling
Kecepatan Pemeriksaan	Relatif cepat, terutama untuk area luas	Bergantung pada kompleksitas geometri dan jenis cacat
Biaya Operasional	Relatif rendah, peralatan sederhana	Lebih tinggi, membutuhkan peralatan yang lebih kompleks
Keterampilan Operator	Memerlukan pelatihan khusus, namun relatif mudah dipelajari	Memerlukan pelatihan lebih intensif dan pengalaman
Analisis Data	Cukup sederhana, umumnya berbasis amplitudo dan fase	Lebih kompleks, melibatkan analisis waktu tempuh, amplitudo, dan bentuk gelombang

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil analisis dengan statistik deskriptif adalah ECT lebih efisien sebesar 60%, sementara UT mencapai 40% berdasarkan efisiensi waktu. ECT lebih hemat dengan efisiensi 70%, sedangkan UT berada di 30% berdasarkan biaya operasional. UT lebih unggul dengan tingkat akurasi 60%, dibandingkan dengan ECT yang mencapai 40% berdasarkan akurasi Pemilihan deteksi. metode NDT perlu disesuaikan dengan prioritas antara efisiensi waktu, biaya, dan ketepatan deteksi sesuai dengan kebutuhan spesifik dalam pesawat. pemeliharaan

2. Eddy Current Testing (ECT) terbukti lebih efisien dalam hal waktu dan biaya, menjadikannya pilihan yang tepat ketika kecepatan dan penghematan biaya menjadi prioritas utama. Di sisi lain, Ultrasonic Testing (UT) menawarkan keunggulan dalam hal akurasi deteksi, yang sangat penting ketika ketelitian dalam mendeteksi cacat material menjadi fokus utama. Oleh karena itu, Metode Non-Destructive Testing (NDT) memainkan peran krusial dalam menjaga keselamatan dan keandalan pesawat komersil. Dengan kemampuan mendeteksi cacat internal tanpa merusak struktur pesawat, NDT memungkinkan teknisi pemeliharaan untuk mengidentifikasi potensi masalah sebelum berkembang menjadi kerusakan yang lebih serius.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. D. Setiawan, *Perawatan Mekanikal Mesin Produksi*. Yogyakarta, Indonesia: Maximus, 2008.
- [2] J. Heizer and B. Render, *Operations Management*, 6th ed. New Jersey, NJ, USA: Prentice Hall, 2001.
- [3] D. Hutagol, *Pengantar Penerbangan Perspektif Profesional*. Jakarta, Indonesia: Erlangga, 2013.
- [4] D. J. Taylor, *Electromagnetic and Eddy Current NDT*. New York, NY, USA: Springer, 2001.
- [5] Halmshaw R, 1996. *Introduction to the Non-destructive Testing of Industries*. Penerbit abington 2nd Edition, Virginia.
- [6] Xingel C, Lei Y, 2014. *Electrical conductivity measurement ferromagnetic metallic of materials using pulsed eddy current method NDT* penerbit UMP publisher, Malaysia.
- [7] Lihui L, Wugang T, 2017. *Design of eddy current probe with TMR components for detection of Inner defects in thin metallic structure*, Penerbit Intitute of electrical and electronics engineers, Xi'an China.
- [8] Ciro T, Vespini V, 2023. *Non destructive techniques for quality control of composite materials*, Penerbit Intitute of electrical and electronics engineers, Milan Italy.
- [9] ASM. 2005. *ASM Handbook. Volume 17. Nondestructive Evaluation and Quality Control*. United States of America. ASM International.
- [10] Hellier, C. 2003. *Handbook of Nondestructive Evaluation*. United States of America. The McGraw-Hill Companies Inc.