

**METODE NONDESTRUCTIVE TESTING
PERAWATAN PESAWAT TERBANG
PT. MERPATI MAINTENANCE
FACILITY**



Disusun oleh :

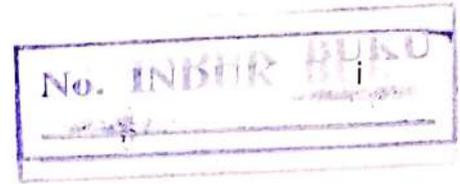
Kelompok Fisika XI MIPA 8

SMA Katolik St. Louis 1

Jalan M. Jasin Polisi Istimewa 7

Surabaya

2019



**METODE NONDESTRUCTIVE TESTING
PERAWATAN PESAWAT TERBANG
PT. MERPATI MAINTENANCE
FACILITY**

Laporan Studi Ekskursion ini disusun untuk memenuhi Penilaian Kognitif dan
Psikomotorik Fisika dan Penilaian Kognitif Bahasa Indonesia



Disusun oleh :

Kelompok Fisika XI MIPA 8

SMA Katolik St. Louis 1

Jalan M. Jasin Polisi Istimewa 7

Surabaya

2019

LEMBAR PERSETUJUAN

Laporan penelitian yang berjudul Metode Nondestructive Testing Perawatan Pesawat Terbang PT. Merpati Maintenance Facility disusun oleh:

1. Angeline P. / 27421 / 02
2. Anggi Jovania / 27426 / 03
3. Chesya Febriana / 27497 / 09
4. Josh Felix / 27048 / 19
5. Karin Davina / 27678 / 21
6. Michelle Christianti / 27761 / 28
7. Rheynald Alexander / 27830 / 32
8. Steven Patrick / 27882 / 37
9. Yolenta Celine / 27937 / 38

telah disetujui oleh:

| Guru Pembimbing | Tanda Tangan | Tanggal | Nilai |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------|
| Monica Maria, S.Pd.,M.Hum. |  | 9/4/19 | 18 |
| MG. Ika Yuliasuti, S.Pd. |  | 11/4 2019 | |
| Irmina Indiyarti, S.Pd |  | 9/4/19 | |

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan studi fisika yang berjudul Metode Nondestructive Testing Perawatan Pesawat Terbang PT. Merpati Maintenance Facility ini dengan baik dan lancar. Laporan Studi Ekskursi di PT. Merpati Maintenance Facility ini bertujuan untuk belajar lebih dalam mengenai metode *nondestructive testing* pada pesawat terbang. Laporan ini dibuat berdasarkan data - data yang telah dikumpulkan saat kunjungan ke PT. Merpati Maintenance Facility.

Penulisan laporan ini dapat diselesaikan dengan baik karena dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah berkontribusi dalam penulisan laporan ini. Dengan selesainya penyusunan makalah ini, penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Dra. Indah Noor Aini., M.Pd selaku Kepala SMAK St. Louis 1 Surabaya,
2. MG. Ika Yuliasuti, S.Pd selaku guru pembimbing Bahasa Indonesia,
3. Irminda Indiyarti, S.Pd selaku guru pembimbing Fisika,
4. Monica Maria, S.Pd., M.Hum selaku guru pembimbing Bahasa Inggris,
5. PT. Merpati Maintenance Facility,
6. orangtua, dan teman – teman yang mendukung pembuatan laporan ini.

Penulis berharap laporan ini berguna bagi pembaca. Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat dibutuhkan untuk kesempurnaan laporan ini.

Surabaya, Maret 2019

Penulis

ABSTRAKSI

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh meningkatnya jumlah penggunaan pesawat terbang semenjak tahun 1930. Dengan adanya penggunaan yang terus menerus, sebuah pesawat harus dirawat agar kualitas dan performanya tidak menurun. Melihat pentingnya perawatan pesawat, penelitian ini bertujuan untuk mempelajari jenis-jenis perawatan pada pesawat terbang. Penelitian ini bermanfaat agar siswa dapat mengubah *mindset* mengenai perawatan pesawat terbang. Penelitian ini dilaksanakan di PT. Merpati Maintenance Facility.

Metode yang digunakan adalah metode observasi dan wawancara. Metode observasi digunakan untuk melihat secara langsung cara penggunaan setiap jenis perawatan. Metode wawancara digunakan sebagai metode terakhir dalam penelitian. Metode wawancara digunakan sebagai pelengkap metode yang lain. Metode observasi dan wawancara dilakukan di PT. Merpati Maintenance Facility pada tanggal 14 Maret 2019.

Hasil penelitian ini menunjukkan berbagai macam perawatan pesawat. Salah satu bagian dari perawatan pesawat terbang adalah *non-destructive testing (NDT)*. NDT terbagi menjadi *visual testing*, *liquid penetrant*, *magnetic particle*, *ultrasonic testing*, *eddy current testing*, *thermography*, dan *radiography*. Penggunaan setiap jenis NDT tergantung pada ukuran komponen, jenis komponen, ukuran kerusakan, jenis kerusakan, tempat kerusakan, dan situasi. Perawatan dilakukan berdasarkan tiga parameter, yaitu: *hour*, *cycle*, dan *calendar*.

kata kunci: *non-destructive testing*, *visual testing*, *liquid penetrant*, *magnetic particle*, *ultrasonic testing*, *eddy current testing*, *thermography*, dan *radiography*.

ABSTRACT

The study is meant to educate students about the application of physics in aircraft maintenance. The purpose of this study is to know more about aircraft maintenance and its functions. The study method consists of interviews among the staff of KSO GMF-MMF Juanda, Sidoarjo, doing a survey at the KSO GMF-MMF hangar, and learning from the staff how their ultrasonic equipment works. Aircraft maintenance depends on three parameters: hour, cycle, and calendar. There are two types of aircrafts that are being maintained at KSO GMF-MMF, the turbo jet aircraft and the turbo propeller aircraft. Each aircraft has around 34,000 - 36,000 components depending on the design and manufacture. Each component requires different kinds of maintenance. In this study, the students focused on non-destructive testing. Non-destructive testing (NDT) is a testing method that does not deconstruct the object that is being tested. There seven types of NDT: visual testing, liquid penetrant, magnetic particle, ultrasonic testing, eddy current testing, thermography, and radiography. In conclusion, aircraft maintenance depends on three parameters. Non-destructive testing is the initial process of aircraft maintenance intended to determine the proper care for aircrafts.

keywords: non-destructive testing, turbo jet, turbo propeller, aircraft, visual testing, liquid penetrant, magnetic particle, ultrasonic testing, eddy current testing, thermography, dan radiography.

DAFTAR ISI

| | |
|----------------------------------------|-----------|
| Halaman Judul | i |
| Lembar Pengesahan | ii |
| Kata Pengantar | iii |
| Abstraksi | iv |
| Daftar Isi | vi |
| Daftar Gambar | viii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| A. Latar Belakang..... | 1 |
| B. Rumusan Masalah..... | 2 |
| C. Tujuan | 2 |
| D. Manfaat..... | 2 |
| BAB II LANDASAN TEORI | 3 |
| A. Tinjauan Pustaka..... | 3 |
| B. Landasan Teori | 3 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 7 |
| A. Lokasi dan Waktu Penelitian | 7 |
| B. Rancangan Penelitian..... | 7 |
| C. Populasi dan Sampel..... | 7 |
| D. Teknik Pengumpulan Data..... | 8 |
| E. Instrumen Pengumpulan Data..... | 8 |
| F. Prosedur Penelitian | 9 |
| BAB IV PEMBAHASAN | 11 |
| BAB V PENUTUP | 25 |
| A. Kesimpulan..... | 25 |
| B. Saran..... | 25 |
| DAFTAR PUSTAKA | 1 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|-------------------------------------------|----|
| Boroskop | 11 |
| Larutan Penetran | 12 |
| <i>Magnetic Particle Inspection</i> | 13 |
| <i>Eddy Current Testing</i> | 15 |
| Transduser Gelombang Elektronik | 16 |
| Termokamera | 19 |

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pesawat terbang adalah salah satu alat transportasi yang sering digunakan semenjak tahun 1930. Selain dapat mencapai tujuan lebih cepat, penggunaan pesawat terbang juga dapat menghindari kepadatan ataupun kondisi geografis yang sulit dilalui alat transportasi lainnya. Pesawat terbang cenderung memiliki waktu tempuh yang singkat dan jarak tempuh yang lebih panjang. Dengan kelebihan tersebut, penggunaan pesawat menjadi salah satu pilihan moda transportasi yang sering digunakan masyarakat. Jumlah penggunaan pesawat yang terus bertambah menyebabkan butuhnya dukungan perawatan yang sesuai dengan standar. Perawatan pesawat bertujuan untuk menjaga kualitas dan performa pesawat. Perawatan pada pesawat biasanya diawali dengan metode *testing*.

Kualitas pesawat dipengaruhi oleh perawatan pesawat. Perawatan yang kurang maksimal dapat menyebabkan kecelakaan pesawat. Contoh kasusnya adalah kecelakaan pesawat *China Airlines Flight 358* pada tanggal 29 Desember 1991 akibat kesalahan desain pesawat. Sepuluh bulan kemudian, *El Al Flight 1862* mengalami hal yang serupa. Hal ini menyebabkan pembaharuan desain pada setiap Boeing-747. Pada tanggal 12 Agustus 1985, terjadi kecelakaan pada pesawat *Japan Airline Flight 123* yang disebabkan oleh perawatan yang kurang terhadap sekat tekanan buritan.

Oleh karena itu, penting untuk dilakukan penelitian mengenai perawatan pesawat terbang. Dengan dilaksanakannya penelitian ini, siswa dapat mengetahui jenis-jenis perawatan pesawat terbang. Penelitian ini juga bertujuan untuk mempelajari lebih dalam mengenai kriteria yang dipakai untuk menentukan perawatan pesawat terbang. Penelitian ini bermanfaat agar siswa dapat mengubah pola pikir mengenai pesawat terbang. Penelitian ini juga bermanfaat agar siswa dapat mendiskripsikan metode dan jenis *nondestructive testing* (NDT).

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan:

1. bagaimana cara mengklasifikasikan jenis NDT yang dibutuhkan saat melakukan perawatan pada pesawat?
2. apa kriteria yang dipakai untuk menentukan perawatan pesawat?
3. apa standar yang digunakan dalam melakukan perawatan?
4. jenis NDT manakah yang paling efisien?
5. bagaimana cara kerja gelombang ultrasonik dalam perawatan pesawat?

C. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. mengetahui jenis NDT yang dibutuhkan saat perawatan
2. mendeskripsikan kriteria yang dipakai dalam menentukan perawatan pesawat
3. mendeskripsikan standar yang dipakai dalam melakukan perawatan
4. mendeskripsikan jenis NDT yang paling efisien.
5. mendeskripsikan cara kerja gelombang ultrasonik pada perawatan pesawat

D. Manfaat penelitian

Penelitian ini bermanfaat agar:

1. siswa dapat mengubah pola pikir mengenai perawatan pesawat
2. siswa dapat memperdalam pengetahuan mengenai jenis-jenis NDT
3. siswa dapat mendeskripsikan parameter perawatan pesawat
4. siswa dapat mendeskripsikan standar yang harus dipenuhi saat perawatan pesawat
5. siswa dapat memperdalam pengetahuan mengenai berbagai metode perawatan pesawat

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

Menurut Bisnis MRO Harapan Baru Perekonomian Indonesia (2016;76), perawatan pesawat dapat diklasifikasikan berdasarkan tempat pelaksanaan perawatan, jumlah waktu untuk perawatan, maupun proses dan konsep perawatan. Berdasarkan konsep dan prosesnya, perawatan pesawat dapat dikelompokkan menjadi perawatan preventif dan perawatan korektif. Perawatan preventif dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu perawatan periodik, perawatan *on-condition maintenance*, dan *condition monitoring*. Menurut tempat pelaksanaannya, perawatan pesawat dapat dikelompokkan menjadi *line maintenance* yang mencakup pekerjaan minor pada pesawat dan *base maintenance* yang merupakan perawatan rutin pesawat.

Setiap jenis perawatan pesawat memiliki waktu pengerjaan yang berbeda sehingga dapat dibedakan menjadi *minor maintenance* dan *major maintenance*. *Minor maintenance* merupakan perawatan pesawat terbang yang membutuhkan waktu kurang dari 24 jam dan mencakup seluruh pekerjaan rutin seperti *B-Check*. Dalam pelaksanaan *minor maintenance*, tidak diperlukan peralatan yang khusus sehingga dapat dilakukan di bandara. *Major maintenance* adalah perawatan pesawat yang membutuhkan waktu pelaksanaan lebih dari 24 jam. Dalam *major maintenance*, diperlukan alat-alat khusus sehingga pesawat perlu dibawa ke hangar untuk diberi perawatan.

B. Landasan Teori

1. *Destructive Testing*

Pengujian dalam perawatan pesawat dapat dilakukan dengan cara *destructive testing*. *Destructive testing* dilakukan dengan cara merusak sebuah objek penelitian untuk menentukan ketahanan objek tersebut. *Destructive testing* diperlukan untuk mengetahui tingkat kekuatan material

terhadap pengaruh eksternalnya agar dapat menentukan material yang berkualitas.

2. *Nondestructive testing (NDT)*

Nondestructive testing (NDT) adalah tes atau inspeksi terhadap suatu benda untuk mengetahui adanya cacat, retak, atau kerusakan lain tanpa merusak objek tes atau inspeksi. Pada dasarnya, tes ini dilakukan untuk menjamin kualitas material. Material pesawat diusahakan semaksimal mungkin tidak mengalami kegagalan (*failure*) selama masa penggunaannya. Pelaksanaan NDT meliputi dua tahap yang dilaksanakan pada awal dan akhir proses fabrikasi. Hal ini dilakukan untuk menentukan kualitas komponen setelah melalui tahap-tahap fabrikasi. NDT ini dijadikan sebagai bagian dari kendali mutu komponen. Kedua, NDT dilakukan setelah komponen digunakan dalam jangka waktu tertentu. Tujuannya adalah untuk menemukan kegagalan parsial sebelum melampaui batas kerusakannya. Dalam dunia penerbangan, digunakan beberapa jenis metode ultrasonik dalam memeriksa kerusakan pada pesawat, seperti:

a. *Ultrasonic Inspection*

Ultrasonic inspection merupakan suatu metode NDT yang menggunakan gelombang suara sebagai perantara untuk mengetahui ada tidaknya kerusakan pada suatu material atau objek. Metode ini menggunakan prinsip cepat rambat gelombang saat dirambatkan pada objek yang diuji. Nantinya gelombang suara tersebut akan dipantulkan kembali oleh benda yang diuji. Waktu yang diperoleh setelah gelombang kembali dapat menentukan letak kecacatan dari benda yang diuji tersebut.

b. **Pemeriksaan Visual**

Pemeriksaan visual digunakan untuk melihat kerusakan pada permukaan komponen yang berukuran besar atau tampak mata.

c. **Liquid Penetrant**

Metode *liquid penetrant* digunakan untuk menentukan kecacatan yang berada pada permukaan material.

d. *Magnetic Particle Inspection*

Metode *magnetic particle inspection* menggunakan sifat tarik menarik antar dua medan kutub magnet yang berbeda. Gaya tarik menarik tersebut akan membentuk pola garis-garis gaya magnet bergerak. Bila ada kecacatan serbuk magnet akan tertarik pada daerah tersebut sehingga kerusakan dapat ditemukan.

e. *Eddy Current*

Eddy current digunakan untuk mendeteksi kerusakan pada permukaan dan *near surface* pada material konduktif seperti logam.

f. Radiografi

Radiografi atau *x-ray* digunakan untuk menghasilkan gambar dari obyek menggunakan film dan detektor yang sensitif terhadap radiasi. *X-ray* juga dapat digunakan untuk menentukan lokasi dan mengukur ketebalan material.

Perawatan pesawat juga memiliki standar yang harus dipenuhi agar terqualifikasi untuk digunakan. Standar yang digunakan dalam perawatan pesawat di Indonesia antara lain:

1. FAA (*Federal Aviation Administration*)

Federal Aviation Administration merupakan lembaga regulator penerbangan sipil di Amerika Serikat. Sebagai bagian dari Kementerian Transportasi Amerika Serikat, badan ini bertanggungjawab sebagai pengatur dan pengawas penerbangan sipil di Amerika Serikat yang fungsinya mirip dengan Direktorat Jenderal Perhubungan Udara di Indonesia.

2. EASA (*European Aviation Safety Agency*)

European Aviation Safety Agency (Badan Keselamatan Penerbangan Eropa) merupakan badan yang bertanggungjawab memastikan keselamatan dan perlindungan lingkungan transportasi udara di Eropa.

3. DGCA (*Directorate General of Civil Aviation*)

Directorate General of Civil Aviation (Direktorat Jenderal Perhubungan Udara) adalah unsur pelaksana sebagian tugas dan fungsi Kementerian Perhubungan Indonesia, yang berada di bawah dan bertanggung jawab kepada Menteri Perhubungan.

4. CASA (*Construcciones Aeronáuticas SA*)

CASA merupakan bagian dari *European Aeronautic Defence and Space Company* sejak pendirian EADS pada 1999.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

1. Lokasi penelitian : Hangar Merpati Maintenance Facility
Juanda International Airport
Sidoarjo, Jawa Timur 61253
2. Website : www.ptmmf.co.id
3. Tanggal Pelaksanaan : Kamis, 14 Maret 2019.

B. Rancangan Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah metode kualitatif. Metode kualitatif dimaksudkan untuk memperoleh data yang lebih mendalam, mengembangkan teori, dan untuk mendeskripsikan realitas serta kompleksitas objek yang diteliti. Dalam penelitian ini, metode kualitatif digunakan untuk meneliti jenis dan alat yang digunakan dalam perawatan pesawat. Tujuan dari penggunaan metode ini adalah memahami, menelaah, dan menafsirkan makna yang didapat dari objek yang diteliti.

C. Populasi dan Sampel

1. Populasi Penelitian

Populasi merupakan keseluruhan objek yang berada pada suatu wilayah. Populasi memenuhi syarat-syarat tertentu berkaitan dengan masalah dalam ruang lingkup penelitian. Objek yang menjadi populasi dalam penelitian ini adalah alat perawatan pesawat di Hangar PT. Merpati Maintenance Facility Surabaya.

2. Sampel

Metode perawatan pesawat pada PT. Merpati Maintenance Facility terdiri dari *destructive testing* dan *nondestructive testing*. Untuk memperkecil ruang lingkup penelitian digunakan teknik *sampling* sehingga sampel yang telah ditentukan dapat memberi karakteristik perawatan pesawat secara

keseluruhan. Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah alat perawatan pesawat yang menggunakan metode *nondestructive testing*. Metode *nondestructive testing* terdiri dari *visual test*, *magnetic particle*, *ultrasonic testing*, *eddy current*, *penetrant test*, *thermography*, dan *radiography*.

D. Teknik Pengumpulan Data

1. Observasi

Observasi dalam penelitian ini dilakukan oleh Tim Studi Ekskursi Fisika XI MIPA 8. Metode penelitian yang digunakan adalah observasi langsung, yaitu mengamati dan mencatat data yang berhubungan dengan pesawat terbang dan alat-alat penunjang perawatan pesawat.

2. Wawancara

Metode wawancara digunakan untuk melengkapi data dari metode observasi. Metode ini memberi kebebasan kepada narasumber untuk menguraikan jawaban secara bebas dan sesuai keadaan. Wawancara ini digunakan untuk mendapatkan data dari para ahli di lapangan mengenai perawatan pesawat di Hangar MMF Surabaya.

E. Instrumen Pengumpulan Data

1. Wawancara

Wawancara digunakan untuk memperoleh informasi lebih mendalam mengenai perawatan pesawat yang akan diteliti menggunakan metode kualitatif.

2. Buku Catatan

Buku catatan digunakan untuk mencatat hasil penelitian dan data-data yang diperoleh di luar perkiraan.

3. Observasi

Observasi dilakukan dengan cara melihat tempat perawatan pesawat secara langsung di Hangar MMF Juanda. Observasi digunakan untuk mendapatkan data-data penelitian yang bisa dipertanggungjawabkan, baik secara ilmiah maupun non-ilmiah.

4. Peneliti

Peneliti sebagai ahli reset secara langsung ataupun tidak langsung menjadi bagian daripada instrumen penelitian. Kehadiran peneliti sendiri berperan signifikan karena peneliti dapat mengembangkan pengetahuan individu dan orang-orang di sekitar mereka.

F. Prosedur Penelitian

1. Jenis dan Model Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kualitatif yang dimaksudkan agar siswa dapat mengobservasi alat-alat yang berhubungan dengan perawatan pesawat pada PT. Maintenance Facility Bandar Udara Juanda. Penelitian ini bertujuan untuk menambah pengetahuan siswa melalui observasi dan wawancara terhadap alat perawatan pesawat yang berhubungan dengan prinsip fisika.

2. Siklus Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan dalam satu siklus, dan langkah-langkah setiap siklus terdiri dari perencanaan, pelaksanaan, observasi, dan refleksi.

a. Tahap Perencanaan

Instrumen penelitian berupa rencana penelitian dan perangkat penelitian disusun berdasarkan temuan permasalahan sebelum penelitian dilakukan di Hangar MMF Juanda.

b. Tahap Pelaksanaan

Pada tahap pelaksanaan, penelitian dilakukan terhadap perawatan pesawat sesuai dengan perencanaan tindakan yang telah disusun. Penelitian diawali dengan Kelompok Studi Ekskursi SMAK St. Louis 1 yang melakukan perjalanan ke Hangar MMF Juanda. Pelaksanaan penelitian diawali dengan presentasi singkat yang diberikan oleh pimpinan KSO GMF-MMF Surabaya mengenai latar belakang perusahaan dan pengantar singkat mencakup perawatan pesawat. Setelah itu siswa diberi presentasi lebih lanjut oleh ahli NDT mengenai alat-alat yang akan diteliti di lapangan. Penelitian dimulai saat siswa diarahkan menuju hangar untuk melihat situasi dan kondisi selama

perawatan pesawat dilakukan. Akhir dari pelaksanaan, siswa diberi kesempatan untuk melihat cara kerja alat dengan metode *nondestructive testing*.

c. Tahap Pengamatan

Tahap pengamatan dilakukan bersamaan dengan pelaksanaan tindakan. Pengamatan dilakukan pada waktu peneliti berada di Hangar MMF Juanda. Semua informasi yang berhubungan dengan alat perawatan pesawat dengan metode *nondestructive testing* diamati dan dicatat oleh peneliti. Observasi ini bertujuan untuk mengamati cara kerja dan alat perawatan pesawat yang digunakan dalam metode *nondestructive testing*.

d. Tahap Refleksi

Tahap refleksi dimaksudkan untuk mengkaji secara menyeluruh tindakan yang telah dilakukan, berdasarkan data yang telah terkumpul, kemudian dilakukan evaluasi guna menyempurnakan laporan yang akan dibuat. Refleksi dalam penelitian terhadap Hangar MMF dilakukan untuk menganalisis dan melakukan pengkajian ulang terhadap hasil pengamatan atas tindakan yang dilakukan.

BAB IV

PEMBAHASAN

Uji coba atau *testing* merupakan salah satu tahap dalam perawatan pesawat terbang. Tujuan dari *testing* adalah mendiagnosa kesalahan pada objek pengecekan. *Testing* dibagi menjadi *destructive testing* dan *nondestructive testing* (NDT). Cara pengecekan yang bersifat merusak objek yang dicek adalah *destructive testing*. Sebaliknya, *nondestructive testing* merupakan cara pengecekan yang tidak bersifat merusak maupun membongkar objek yang dicek. Dalam perawatan pesawat, metode yang sering digunakan adalah *nondestructive testing*. Bagian pesawat yang diduga memiliki kecacatan akan diberi metode pengecekan *nondestructive testing* untuk menghindari kerusakan pada seluruh bagian pesawat. Beberapa jenis NDT yaitu:

A. Pemeriksaan Visual

Pemeriksaan visual digunakan untuk memeriksa struktur badan pesawat yang mengalami kerusakan, kegagalan, distorsi, korosi, dan terbakar. Pemeriksaan visual biasanya digunakan untuk memeriksa struktur badan pesawat termasuk kabin dan lambung, kabin dan kokpit, mesin dan *nacelle*, *landing gear*, bagian sayap, pengendali bergerak, dan *empennage* (ekor). Kelemahan pengujian ini adalah hasil kurang akurat dan tidak dapat digunakan untuk mengidentifikasi kerusakan kecil pada bagian dalam pesawat.



Gambar 1 Boroskop

B. *Liquid Penetrant*

Metode *liquid penetrant* digunakan untuk menentukan posisi *crack*, *porosity* dan *defect* pada permukaan material. *Liquid penetrant* digunakan pada objek yang memiliki kerusakan dengan volume cukup besar untuk diisi larutan *penetrant*. Larutan *penetrant* dapat dengan efektif digunakan untuk menginspeksi *defect* pada permukaan yang luas dan tidak berpori. Pada perawatan pesawat, *liquid penetrant* digunakan untuk memeriksa komponen mesin pesawat.

Larutan *penetrant* diaplikasikan pada permukaan komponen mesin pesawat yang telah dibersihkan sebelumnya. Larutan *penetrant* masuk ke bagian *defect* pada permukaan akibat prinsip kapilaritas. Kondisi permukaan objek tidak akan dipengaruhi larutan *penetrant* karena mudah dibersihkan dengan kain lap. Zat bernama *developer* diaplikasikan untuk menarik *penetrant* yang berada dalam *defect* kembali ke permukaan sehingga posisi *defect* pada objek dapat diidentifikasi.



Gambar 2 Larutan *penetrant*

1. Keuntungan metode *liquid penetrant*, yaitu;
 - a. dapat menginspeksi permukaan yang luas dengan murah dan cepat
 - b. dapat menginspeksi kerusakan dengan geometri yang kompleks
 - c. Indikasi *defect* langsung ditampilkan pada permukaan material dengan tampilan visual
 - d. peralatan yang dibutuhkan sedikit.

2. Kekurangan metode *liquid penetrant*, yaitu;
 - a. hanya mendeteksi kecacatan yang merusak permukaan

- b. membutuhkan preparasi permukaan untuk menghilangkan kontaminan yang dapat menutupi kecacatan
- c. membutuhkan permukaan yang relatif halus dan tak berpori
- d. membutuhkan pembersihan setelah pengujian
- e. membutuhkan ruangan dengan lingkungan gelap dan sinar UV dalam pengujian
- f. membutuhkan kehati-hatian dalam menggunakan zat kimia (larutan *penetrant* dan *developer*).

C. *Magnetic Particle Inspection*

Magnetic particle inspection digunakan untuk menginspeksi *defect* yang terletak di permukaan dan sub permukaan material ferromagnetik (yang dapat dimagnetisasi). *Magnetic particle inspection* digunakan dalam perawatan pesawat untuk memeriksa kecacatan pada bagian *landing gear*, *gear box*, dan *shock struts*. Medan magnet dan prinsip magnetisasi digunakan dalam pemeriksaan dengan metode *magnetic particle inspection*. Medan magnet terdapat di dalam komponen yang merupakan material ferromagnetik. Garis-garis gaya magnet bergerak melalui material dan keluar kemudian masuk kembali pada kutub-kutub material. *Defect* seperti *crack* atau *void* tidak dapat mendukung fluks dan gaya fluks keluar dari bagian tersebut. Partikel serbuk magnet akan tertarik pada daerah yang kekurangan fluks sehingga indikasi *defect* dapat terlihat kasat mata.



Gambar 3 *Magnetic Particle Inspection*

1. Keuntungan metode *magnetic particle inspection*, yaitu:
 - a. dapat menginspeksi daerah yang luas dan kompleks secara cepat
 - b. dapat mendeteksi *flaw* pada permukaan dan *subsurface*
 - c. preparasi permukaan tidak terlalu dibutuhkan seperti inspeksi *penetrant*

- d. indikasi oleh partikel magnet dihasilkan dipermukaan dan menggambarkan *discontinuity*
 - e. harga peralatan relatif rendah.
2. Kekurangan metode *magnetic particle inspection*, yaitu:
- a. hanya dapat menginspeksi material ferromagnetik
 - b. membutuhkan pengaturan medan magnet yang tepat
 - c. membutuhkan arus sesuai besar kerusakan
 - d. membutuhkan permukaan yang relatif halus
 - e. cat atau material non-magnetik yang melapisi komponen mempengaruhi sensitivitas
 - f. membutuhkan dimagnetisasi dan pembersihan setelah pengujian.

D. *Eddy Current*

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 berdasar konduktivitas listrik, 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.



Gambar 4 *Eddy current*

1. Keuntungan metode *eddy current* yaitu:

- a. mendeteksi *defect* di permukaan dan daerah di dekat permukaan
- b. *probe* tidak perlu bersentuhan dengan benda uji
- c. tidak digunakan hanya untuk mendeteksi *flaw*
- d. preparasi benda uji sangat sederhana dibandingkan metode lain

2. Kelemahan metode *eddy current* yaitu:

- a. hanya dapat mendeteksi material yang konduktif
- b. membutuhkan perlakuan khusus untuk mengatur permeabilitas magnetik dari suatu material ferromagnetik
- c. kedalaman penetrasi terbatas
- d. kecacatan yang terletak sejajar dengan arah kumparan *probe* dapat tidak terdeteksi
- e. membutuhkan *skill* dan *training* yang lebih tinggi daripada teknik lain
- f. membutuhkan standar referensi untuk kalibrasi alat.

E. Pemeriksaan Ultrasonik

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. Apabila tidak ditemukan kecacatan pada objek, gelombang ultrasonik akan kembali sesuai perhitungan yang telah dilakukan. Namun, saat gelombang ultrasonik melewati bagian yang memiliki kecacatan, gelombang akan kembali lebih cepat dibandingkan waktu gelombang melewati bagian yang tidak memiliki kecacatan. Setelah ditemukan waktu cepat rambat gelombang, teknisi dapat menemukan bagian yang cacat, jarak kecacatan dari permukaan, dan perkiraan besar kecacatan pada objek.



Gambar 5 Transduser gelombang ultrasonik

Hukum Snell

$$\frac{\sin \theta_I}{\sin \theta_R} = \frac{V_1}{V_2}$$

θ_I = sudut gelombang insiden

θ_R = sudut gelombang refraksi

V_1 = kecepatan gelombang insiden

V_2 = kecepatan gelombang refraksi

Cara menghitung sudut refraksi dari sebuah gelombang ultrasonik yang melewati permukaan material pesawat jika diketahui:

sudut insiden = 10°

kecepatan gelombang pada material = 5,85 km/s

kecepatan gelombang di luar permukaan = 1,49 km/s

$$\frac{\sin 1}{\sin 2} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$\sin 2 = \frac{V_2 \sin 1}{V_1}$$

$$\sin 2 = \frac{1,012}{1,49}$$

$$\sin 2 = 0,6791$$

$$\theta_R = 42,46^\circ$$

1. Kelebihan ultrasonik yaitu:
 - a. kedalaman penetrasi untuk mendeteksi *defect* sangat baik di atas seluruh metode NDT
 - b. hanya membutuhkan satu sisi benda uji
 - c. menampilkan informasi jarak pada layar CRT
 - d. preparasi benda uji sederhana
 - e. dapat digunakan selain untuk mendeteksi kecacatan

2. Kekurangan ultrasonik :

- a. permukaan harus dapat dijangkau oleh *probe* dan *couplant*
- b. *skill* dan *training* yang dibutuhkan lebih tinggi dari metode lain
- c. bagian permukaan dan kekasaran pada permukaan mempengaruhi hasil inspeksi
- d. sulit menginspeksi benda yang tipis
- e. membutuhkan standar referensi

F. Radiografi

X-ray digunakan untuk menghasilkan gambar dari objek menggunakan film dan detektor lain yang sensitif terhadap radiasi. Objek diletakkan di antara sumber radiasi dan detektor. Ketebalan dan densitas material mempengaruhi jumlah radiasi dari sumber *x-ray* dan detektor. Radiografi digunakan untuk menginspeksi semua permukaan dan *subsurface* dari material. *X-ray* juga dapat digunakan untuk menentukan lokasi kecacatan dan mengukur tebal material.

✓ 1. Keuntungan radiografi:

- a. dapat digunakan untuk semua jenis material
- b. dapat mendeteksi *defect* di permukaan dan *subsurface*
- c. dapat digunakan untuk menginspeksi bentuk yang rumit dan struktur yang berlapis tanpa membongkar komponen
- d. preparasi benda uji sederhana

2. Kekurangan radiografi:

- a. *skill* dan *training* yang tinggi dibutuhkan
- b. pengujian memerlukan dua sisi benda uji
- c. arah radiasi pada *defect* sangat mempengaruhi
- d. dibutuhkan waktu yang lebih lama untuk material yang tebal
- e. peralatan relatif mahal
- f. dapat menyebabkan radiasi pada teknisi

G. Termografi



Gambar 6 Termokamera

Termografi adalah suatu teknik NDT yang diterapkan untuk memeriksa *overheating* bagian listrik dan sistem hidrolik pada pesawat. Alat yang digunakan dalam termografi adalah termokamera. Bagian yang berwarna merah merupakan suhu panas dan pada bagian yang berwarna biru adalah suhu dingin. Pada kebanyakan kasus, bagian yang berwarna biru berupa air, yang mengindikasikan masalah dalam mesin pesawat. Kelebihan teknik ini adalah pengecekan darurat dapat dilakukan secara cepat dan penumpang tidak perlu diturunkan dari dalam pesawat.

Perawatan pesawat dilakukan pada saat dan jangka waktu tertentu, bergantung pada tiga parameter, yaitu:

1. *Hours*

Hours adalah jam terbang pesawat yang diakumulasi dari jumlah waktu total pesawat mengudara. Saat sebuah pesawat terbang dari Jakarta ke Medan selama dua jam, berarti jam terbang pesawat tersebut bertambah dua jam. Ada beberapa pesawat yang harus melakukan perawatan setelah jam terbang tertentu, misalnya B737-300, B737-400, dan B737-500 yang melakukan perawatan setelah jam terbangnya mencapai 24.000 jam.

2. *Cycle*

Satu *cycle* yaitu satu kali pesawat *take off* dan *landing*. Pesawat yang terbang dari Surabaya menuju Bangkok kemudian *transit* di Jakarta. Pesawat tersebut *take off* dari Surabaya dan *landing* di Jakarta. Kemudian, pesawat tersebut *take*

off dari Jakarta dan *landing* di Bangkok. Pesawat tersebut dianggap bertambah dua *cycle*.

3. *Calender*

Calender yaitu banyaknya hari terbang pesawat. Sebuah pesawat harus melakukan perawatan yang dilihat dari tanggal pertama kali pesawat mengudara. Perawatan berdasarkan *hours* biasanya dilakukan setiap seminggu, sebulan, enam bulan, dan setahun sekali.

Perawatan pesawat dilakukan setelah mencapai *hours*, *cycle*, dan *calender* tertentu. Jika sebuah pesawat sudah mencapai maksimal *hours* tetapi belum mencapai maksimal *calender*, perawatan tetap harus dilaksanakan pada perawatan tersebut. Namun, saat mencapai maksimal *calender* yang telah ditentukan, pesawat tersebut kembali menjalani perawatan. Kesimpulannya, jika salah satu dari ketiga parameter tersebut sudah mencapai batas maksimalnya, pesawat harus melakukan perawatan demi menjaga keamanan penerbangan.

Selain parameter, perawatan pesawat juga memiliki standar. Standar yang digunakan dalam perawatan pesawat di Indonesia antara lain:

FAA (*Federal Aviation Administration*)

Federal Aviation Administration merupakan lembaga regulator penerbangan sipil di Amerika Serikat. Sebagai bagian dari Kementerian Transportasi Amerika Serikat, badan ini bertanggungjawab sebagai pengatur dan pengawas penerbangan sipil di Amerika Serikat yang fungsinya mirip dengan Direktorat Jenderal Perhubungan Udara di Indonesia. Undang-Undang Penerbangan Federal 1958 menjadi dasar hukum berdirinya lembaga ini dengan nama "Lembaga Penerbangan Federal" (*Federal Aviation Agency*), dan menggunakan namanya yang sekarang pada tahun 1966 ketika FAA bernaung di bawah Jawatan Pengangkutan (Kementerian Transportasi AS). Fungsi dari FAA antara lain:

1. mengatur transportasi udara komersial di Amerika Serikat
2. mengatur geometri dari navigasi udara dan standar inspeksi penerbangan
3. mendorong dan mengembangkan aeronautik sipil, termasuk inovasi baru di bidang aviasi

4. mengeluarkan, menanggihkan, atau mencabut sertifikat pilot
 5. mengatur penerbangan sipil untuk meningkatkan keselamatan, terutama melalui kantor lokal yang disebut *Flight Standards District Office*
 6. mengembangkan dan mengoperasikan sistem pemanduan lalu lintas udara, untuk penerbangan sipil maupun militer
 7. melakukan riset dan mengembangkan *National Airspace System*
 8. mengembangkan dan mengeluarkan program untuk mengatur polusi suara dan masalah lingkungan lain yang timbul akibat aktivitas aviasi.
- f. EASA (*European Aviation Safety Agency*)

European Aviation Safety Agency (bahasa Indonesia: Badan Keselamatan Penerbangan Eropa) merupakan badan yang bertanggungjawab memastikan keselamatan dan perlindungan lingkungan transportasi udara di Eropa. Badan ini memiliki cakupan bidang yang luas di bidang penerbangan. Sampai sekarang, badan ini terus aktif mempromosikan keselamatan penerbangan melalui kerja sama dengan berbagai organisasi maupun negara, baik di tingkat regional maupun internasional. EASA memiliki lima misi, yaitu:

1. menjamin tingkat perlindungan keamanan tertinggi bagi warga Uni Eropa
2. memastikan tingkat perlindungan lingkungan tertinggi
3. proses regulasi dan sertifikasi tunggal bagi negara-negara anggota
4. memfasilitasi pasar tunggal penerbangan internal dan menciptakan kondisi yang adil bagi semua
5. bekerja sama dengan organisasi dan regulator penerbangan internasional lainnya.

EASA juga memiliki lima tugas utama, antara lain:

1. membuat aturan yang diterapkan dalam ke semua bidang yang berkaitan dengan EASA
2. melakukan sertifikasi dan menyetujui produk-produk serta organisasi yang mana EASA memiliki kompetensi khusus seperti kelayakan udara (*airworthiness*).

3. menyediakan pengawasan dan dukungan kepada negara anggota yang mana EASA berbagi kompetensi seperti Operasi Udara dan Manajemen Lalu Lintas Udara.
4. mempromosikan penggunaan standar Eropa dan dunia.
5. bekerja sama dengan aktor internasional dalam usaha mencapai tingkat keselamatan tertinggi bagi warga Uni Eropa di seluruh dunia, seperti memuat daftar keselamatan Uni Eropa dan otoritas Operator Negara Ketiga.

g. DGCA (*Directorate General of Civil Aviation*)

Directorate General of Civil Aviation (bahasa Indonesia: Direktorat Jenderal Perhubungan Udara adalah unsur pelaksana sebagian tugas dan fungsi Kementerian Perhubungan Indonesia, yang berada di bawah dan bertanggung jawab kepada Menteri Perhubungan. DGCA dipimpin oleh Direktur Jenderal. Direktorat Jendral Perhubungan Udara mempunyai tugas merumuskan serta melaksanakan kebijakan dan standarisasi teknis di bidang perhubungan udara. Direktorat Jendral Perhubungan Udara menangani administrasi dan penataan penerbangan sipil dalam Negara Kesatuan Republik Indonesia. Dalam Peraturan Menteri Perhubungan No: KM 60 Tahun 2010 Tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Perhubungan, Direktorat Jenderal Perhubungan Udara menyelenggarakan fungsi:

1. perumusan kebijakan di bidang perhubungan udara;
2. pelaksanaan kebijakan di bidang perhubungan udara;
3. penyusunan norma, standar, prosedur dan kriteria di bidang perhubungan udara;
4. pelaksanaan pemberian bimbingan teknis dan evaluasi di bidang perhubungan udara; dan
5. pelaksanaan administrasi Direktorat Jenderal Perhubungan Udara.

Strategi DGCA antara lain:

1. meningkatkan pembinaan, pengawasan dan penegakan hukum serta menyempurnakan dan atau melengkapi peraturan per undang-undangan dalam penyelenggaraan jasa transportasi udara

2. meningkatkan kualitas dan produktifitas pelayanan jasa transportasi udara melalui penerapan manajemen mutu dalam rangka memenuhi kebutuhan (demand) jasa transportasi udara
3. menciptakan iklim usaha jasa angkutan udara dalam persaingan sehat dan kondusif dalam rangka menciptakan industri penerbangan yang efisien, efektif dan kompetitif dalam pasar global serta mempunyai kelangsungan hidup jangka panjang
4. meningkatkan efisiensi nasional bidang jasa transportasi udara dan mendorong minat investor untuk berinvestasi di bidang industri penerbangan
5. memperluas jangkauan jaringan pelayanan jasa transportasi udara sampai ke daerah terpencil, terisolasi, daerah perbatasan negara dan luar negeri.

Dalam rangka penentuan arah pembangunan transportasi udara, maka tujuan yang ingin dicapai dalam jangka panjang adalah sebagai berikut:

1. terjaminnya kualitas pelayanan, kenyamanan, keselamatan, keamanan, dan kepastian hukum dalam penyelenggaraan transportasi udara
2. terwujudnya pertumbuhan Sub Sektor Transportasi udara yang stabil sehingga dapat memberikan sumbangan yang berarti bagi pertumbuhan ekonomi nasional yang berkelanjutan (*sustainable growth*)
3. terwujudnya peningkatan perolehan devisa dari penyelenggaraan jasa transportasi udara, sehingga dapat ikut memberikan kontribusi terhadap pemantapan neraca pembayaran nasional
4. terwujudnya kontinuitas pelayanan jasa transportasi udara yang terjangkau ke seluruh pelosok tanah air, sehingga dapat ikut mendorong pemerataan pembangunan, kelancaran distribusi, stabilitas harga barang dan jasa, serta menjaga keutuhan Negara Kesatuan Republik Indonesia;
5. meningkatnya kualitas dan profesionalisme SDM Ditjen Perhubungan Udara bertaraf internasional dan terbentuknya kelembagaan yang optimal dan efektif sehingga dapat mendukung terwujudnya penyelenggaraan transportasi udara yang andal dan berdaya saing;

6. sarana pendidikan bagi masyarakat untuk menghargai profesionalisme dan peningkatan kualitas hidup manusia.
- h. CASA (*Construcciones Aeronáuticas SA*)

Construcciones Aeronáuticas SA adalah sebuah perusahaan pembuat pesawat terbang yang didirikan pada tahun 1923 di Sevilla, Spanyol. CASA Spanyol merupakan bagian dari *European Aeronautic Defence and Space Company* sejak pendirian EADS pada 1999. Cabang Spanyol EADS disebut EADS-CASA. CASA sebelumnya adalah anggota dari Konsorsium Airbus bersama dengan Prancis, Jerman dan Britania Raya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN



A. Kesimpulan

Perawatan pesawat mencakup banyak hal, salah satunya adalah *testing* atau uji coba. *Testing* dibagi menjadi dua jenis, yaitu *destructive testing* (DT) dan *nondestructive testing* (NDT). *Nondestructive testing* merupakan uji coba terhadap komponen pesawat tanpa merusak komponen tersebut, antara lain: pemeriksaan visual, *liquid penetrant*, *magnetic particle inspection*, *eddy current testing*, pemeriksaan ultrasonik, radiografi, dan termografi. Kerusakan pada suatu komponen pesawat dapat diketahui dari uji coba. Pada pemeriksaan ultrasonik, frekuensi gelombang suara yang tinggi dikirim ke material dengan 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.

Pada perawatan terdapat tiga parameter, yaitu *hours*, *cycle*, dan *calender*. *Hours* yaitu jam terbang pesawat, *cycle* yaitu sekali pesawat *take off* dan *landing*, dan *calender* yaitu banyaknya hari terbang pesawat. Waktu dilakukannya perawatan pesawat bergantung pada ketiga parameter tersebut. Perawatan pesawat berstandar pada FAA, EASA, DGCA, dan CASA.

B. Saran

Setelah dilakukan penelitian di Hangar MMF Juanda, ditemukan beberapa kekurangan yang sekiranya dapat ditingkatkan pada masa yang akan datang, antara lain:

1. hangar perawatan pesawat perlu diperbanyak dan disebar ke seluruh wilayah Indonesia. Kurang tersebarnya lokasi hangar perawatan pesawat akan menyulitkan teknisi untuk melakukan perawatan terhadap pesawat yang mengalami gangguan di luar jangkauan pusat perawatan pesawat

2. fasilitas-fasilitas pendeteksi kecacatan dan alat perawatan berteknologi tinggi di seluruh hangar perawatan pesawat perlu ditingkatkan dan dilengkapi karena selama ini perawatan pesawat hanya dapat dilakukan secara maksimal di PT. Garuda Maintenance Facility, Cengkareng, Jakarta. Penambahan fasilitas perawatan di hangar selain PT. GMF akan membantu lancarnya siklus perawatan dan perbaikan pesawat
3. perlu adanya peningkatan sumber daya manusia agar memiliki kemampuan sebanding dengan teknologi yang digunakan dalam perawatan pesawat. Saat ini di Hangar MMF Juanda hanya ada beberapa ahli yang memiliki kemampuan dalam menggunakan alat-alat tertentu. Pelatihan lebih lanjut terhadap para teknisi akan meningkatkan kemampuan perawatan di suatu pusat perawatan pesawat
4. diperlukan peningkatan kerjasama dengan industri alat perawatan pesawat di luar negeri untuk memperoleh teknologi terbaru yang lebih efisien dalam dunia perawatan pesawat. Hal tersebut merupakan langkah yang harus dilakukan untuk memberi kemampuan perawatan yang maksimal dan terjamin terhadap pesawat.

DAFTAR PUSTAKA

Budihadianto, Richard. 2016. *Bisnis MRO Harapan Baru Perekonomian Indonesia*. Jakarta: GMF Aeroasia

Carey, David. 1981. *Cara Kerja Pesawat Terbang*. Jakarta: BPK Gunung Mulia.

Chant, Chris. 1985. *Menyibak Rahasia: Pesawat Jet, Sejak Tinggal Landas sampai Mendarat*. Jakarta: Tira Pustaka.

Soedjo, Peter. 1999. *Fisika Dasar*. Yogyakarta: ANDI.

Tim Penulis Buku Olimpiade Fisika. 2010. *Gelombang dan Optik*. Jakarta: PT. Trisula Adisakti.

Budihadianto, Richard. 2016. *Bisnis MRO Harapan Baru Perekonomian Indonesia*. Jakarta: GMF Aeroasia

Kompas, 9 Mei 1972, *Overhaul Pesawat di Negeri Sendiri*, halaman 2

Kompas, 27 Desember 1972, *Perbengkelan Pesawat Terbang Diperlukan*, halaman 9

