

REPAIR MATERIAL COMPOSITE DAMAGE DEBONDING FORWARD OF FRAME X6630 PADA EUROCOPTER 155

Martinus Patrianus Roswit¹⁾, Haris Ardianto²⁾

¹⁾Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan, Yogyakarta

Abstrak

Suatu fenomena yang sangat mengagumkan ketika peradaban manusia di dunia mampu menerbangkan benda yang lebih berat dari udara. Fenomena tersebut dikenal dengan dirgantara (aerospace) telah menjadi salah satu rumpun perkembangan ilmu pengetahuan yang berkembang sangat pesat di tengah banyaknya perkembangan ilmu-ilmu pengetahuan lain juga. Perpaduan berbagai disiplin ilmu seperti halnya aerodinamika, struktur, kinematika dan dinamika benda, propulsi, desain dan sebagainya telah berpartisipasi menciptakan wahana-wahana terbang yang dapat memberikan akses transportasi dari dan ke berbagai tempat yang tergolong relatif jauh hanya dalam waktu yang jauh lebih singkat daripada menggunakan sarana transportasi lainnya.

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif yaitu penelitian terhadap masalah-masalah berupa fakta-fakta saat ini dari suatu populasi yang meliputi kegiatan penelitian sikap atau pendapat terhadap individu, organisasi, keadaan, ataupun prosedur.

Repair Material adalah proses perbaikan bagian yang telah mengalami kerusakan/cacat agar kekuatan bagian memenuhi standar yang telah ditetapkan oleh perancang. Di mana kerusakan material dapat diidentifikasi dengan cara pengujian NDT/non destructive test dan DT/Destructive test serta limitasi kerusakan mengacu pada dokumen RADS PT. Indonesia Air Transport. Proses removing dan installing dilakukan dengan 4 tahap dan monitoring pasca repair material dilakukan oleh Eurocopter Airbus Indonesia.

Kata kunci: Repair Material, NDT, DT, Removing, Installing, Monitoring

Pendahuluan

Suatu fenomena yang sangat mengagumkan adalah ketika peradaban manusia di dunia mampu menerbangkan benda yang lebih berat dari udara. Fenomena tersebut dikenal dengan dirgantara (*aerospace*) telah menjadi salah satu rumpun perkembangan ilmu pengetahuan yang berkembang sangat pesat di tengah banyaknya perkembangan ilmu-ilmu pengetahuan lain juga. Perpaduan berbagai disiplin ilmu seperti halnya aerodinamika, struktur, kinematika dan dinamika benda, propulsi, desain dan sebagainya telah berpartisipasi menciptakan wahana-wahana terbang yang dapat memberikan akses transportasi dari dan ke berbagai tempat yang tergolong relatif jauh hanya dalam waktu yang jauh lebih singkat daripada menggunakan sarana transportasi yang lainnya. Selain itu kecanggihan ilmu ini juga telah banyak diimplementasikan dalam urusan pertahanan dengan banyak jumlah pesawat tempur dan artileri berbasis aeronautika yang diproduksi di berbagai belahan dunia saat ini.

Berdasarkan data statistik transportasi, akses transportasi udara menempati urutan teratas dalam hal tingkat perawatannya, guna menjamin tingkat keselamatan yang optimal. Jumlah kecelakaan di sektor transportasi udara jauh lebih kecil dibanding dengan transportasi darat dan laut, walaupun resiko jumlah korban untuk suatu kecelakaan juga dipegang oleh sarana transportasi udara, justru karena peluang resiko sedemikian tinggi itulah, berbagai pihak yang terkait dengan dunia

penerbangan begitu terpacu untuk menyediakan wahana terbang yang HUMANS (Handal, Unggul, Mudah, Aman, Nyaman, Selamat).

Demi kemudahan dan kenyamanan, saat ini berbagai *airlines* telah berusaha melengkapi diri dengan sumber daya yang siap memberikan jasa penerbangan yang menyenangkan, dapat menjangkau beberapa lapisan masyarakat dengan berbagai tingkat harga tiket. Pesawat terbang telah dikenal sejak dulu sebagai sarana transportasi yang terkesan mewah dan banyak orang yang bangga bila pernah menggunakannya. Hal ini tentu menjadi dorongan bagi maskapai untuk bisa benar-benar mengerti kebutuhan masyarakat akan transportasi yang mudah dan nyaman. Kenyamanan dan keamanan akan terwujud apabila perawatan pada pesawat terbang dilaksanakan sesuai prosedur atau aturan-aturan yang telah diberlakukan oleh pabrik pembuat pesawat tersebut agar dapat melakukan perbaikan pada komponen sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Dalam operasinya, sebuah pesawat terbang didukung oleh berbagai sistem dan bahan material dalam pesawat tersebut, sehingga pesawat terbang tersebut dapat terbang sampai tujuan dengan aman dan nyaman. Demi kenyamanan dan keselamatan tersebut maka komponen pesawat harus selalu dipantau ketahanan materialnya, kapan harus diperbaiki atau diganti jika terdapat suatu kerusakan yang dialami suatu komponen tersebut untuk dapat menjamin apakah suatu pesawat tersebut dapat layak difungsikan. Material-material dalam pesawat terbang tersebut termasuk *part-part* pesawat terbang yang terbuat dari material komposit (*composite material*). Material komposit merupakan salah satu bahan yang sangat banyak digunakan saat ini, karena suatu *part* yang terbuat dari bahan komposit sangat memiliki banyak keuntungan. Material komposit memiliki keuntungan antara lain mempunyai sifat mekanik yang tinggi, mudah diperbaiki, ringan, dan tahan korosi. Tujuan dari kajian ini adalah menjelaskan pengertian repair material komposit, menjelaskan cara pemeriksaan kerusakan material komposit, menganalisis penentuan limitasi/batasan kerusakan skin, menjelaskan prosedur *removing* (pembongkaran) dan *installation* (pemasangan) *repair skin*, dan menjelaskan *monitoring*/pengawasan pasca repair.

Kajian Pustaka

Komposit (*composite*) adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda [1]. Komposit adalah bahan yang terbentuk apabila dua atau lebih komponen berlainan yang digabungkan [2].

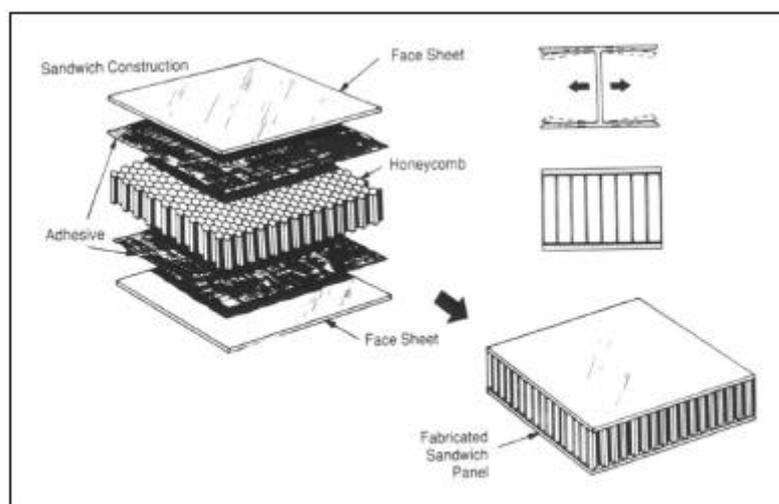
Bahan komposit adalah suatu jenis bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan, dimana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya baik sifat kimia maupun fisiknya dan tetap terpisah dalam akhir hasil bahan tersebut [3]. Plastik dan bahan penguat lainnya biasanya dalam bentuk serat dimana ada serat pendek, panjang, anyaman maupun *fabric* atau lainnya [4].

Secara umum komposit adalah gabungan dua material atau lebih tersusun secara makroskopik dan dimana material penyusunan masih dapat dilihat. Adapun material penyusunan terdiri dari fiber sebagai serat penguat yang memberikan kekuatan (*strength*), kekakuan (*stiffness*) dan resin sebagai penguat sekaligus pendistribusian beban. Pada umumnya bahan komposit terdiri dari 2 unsur yaitu serat (*fiber*) dan bahan pengikat serat-serat tersebut yang disebut *resin* (matriks). Unsur utama bahan komposit adalah serat. Serat inilah yang terutama menentukan karakteristik bahan komposit seperti: kekakuan, kekuatan, dan sifat-sifat mekanik yang lain. Kerusakan struktur dapat berpengaruh terhadap kekuatan dan ada yang tidak memengaruhi kekuatan dan struktur, kerusakan yang tidak memengaruhi struktur adalah kerusakan yang masih dalam limitasi [5].

Perbaikan setiap komposit adalah berbeda sesuai dengan manufaktur (pabrik) yang membuatnya, tetapi secara garis besar metode yang digunakan dalam perbaikan komponen adalah *dry lay up* dan *wet lay up* [6]. Pengujian *penetrant* adalah metode pemeriksaan secara efektif yang digunakan untuk menemukan keretakan, cacat pada semua *non-porous material* [7].

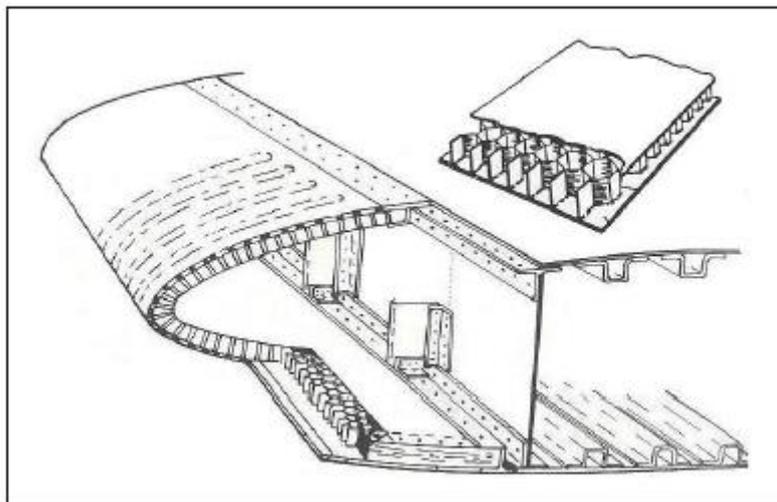
Sandwich Structure

Sandwich composite adalah material yang terdiri dari dua buah plat tipis yang melapisi sebuah material inti yang lebih tebal di kedua sisinya, pelat tipis sebagai *skin* (kulit) dan *foam* ringan sebagai *core* (inti). Material kulit memiliki sifat mekanik tinggi dan material inti memiliki densitas yang rendah. Perpaduan kulit dan inti pada *sandwich structure* menghasilkan material yang memiliki sifat mekanik tinggi tetapi ringan. *Skin* berfungsi menahan beban aksial dan transial sehingga *skin* adalah material yang kuat dan kaku. Pada beberapa jenis *sandwich structure* menggunakan logam yang kuat dan kaku.



Gambar 1. *Sandwich Composite*
(Sumber: www.aircraftstructure.com)

Pada beberapa konstruksi *sandwich structure*, *skin* menggunakan logam, yang selain memiliki sifat mekanis (*tension* dan *compression*) yang baik, juga memiliki titik lebur yang tinggi, sehingga cocok digunakan pada lengkungan yang panas. Selain itu *core* biasanya adalah matrik dengan densitas yang kecil sehingga struktur keseluruhan menjadi lebih ringan tanpa merubah kekuatan struktur secara keseluruhan; material *core* bisa berupa *foam* atau logam yang dibuat berongga sehingga dapat mereduksi beban sekaligus bisa bekerja seperti *foam*. Contoh dari *foam* yang paling sederhana adalah *styrofoam* yang biasa digunakan pada pesawat model.



Gambar 2. *Sandwich Structure (foam)*
(Sumber: www.aircraftstructure.com)

Klasifikasi *Damage Skin*

Damage skin (kerusakan *skin/kulit*) dibagi menjadi 4 (empat) golongan yaitu:

a. *Negligible of Damage*

Kerusakan pada *skin* yang masih dapat ditolerir karena dapat dikatakan tidak berbahaya dan masih dalam batas aman untuk beroperasi; antara lain:

1. *Brinelling*, kerusakan yang terjadi pada permukaan *part* dengan radius kecil akibat mendapatkan beban yang tinggi.
2. *Burnishing*, kerusakan akibat gesekan terhadap permukaan lembut oleh permukaan yang kasar.
3. *Burr*, kerusakan ini diwujudkan dengan perubahan dimensi (panjang/ pembesaran) permukaan pada lubang tipis, kecil/ ringan yang biasanya dapat dilihat pada area lubang atau bagian sisi ujung *part*.
4. *Corrosion*, hilangnya sebagian *part* akibat proses kimia atau elektrokimia.
5. *Crack*, pemisahan/putusnya bahan menjadi dua bagian terhadap fisik permukaan logam yang biasanya ditunjukkan dengan garis tipis/halus, membentang atau memotong permukaan logam akibat *stress* atau *fatigue* logam yang berlebihan pada titik tertentu.
6. *Cut*, hilangnya/terkikisnya sebagian dari logam yang biasanya terjadi pada pipa/*bashing* dan sejenisnya akibat terjadinya proses mekanis.
7. *Dent*, permukaan logam yang tertekuk/terlipat akibat benturan atau tabrakan dengan benda lain yang keras.
8. *Erosion*, berkurangnya permukaan logam akibat aksi atau pengaruh mekanis lingkungan seperti gesekan terjadi dengan kotoran (debu, *chip*) yang lambat laun akan mengikis permukaan logam pada *part* tersebut.
9. *Chattering*, kerusakan logam akibat adanya vibrasi lingkungan.
10. *Galling*, kerusakan terhadap permukaan logam yang lunak akibat gesekan/gerakan dengan benda yang lebih keras, sehingga sebagian permukaan benda yang lebih lunak tidak akan menempel/merapat pada benda yang lebih keras.
11. *Gauge*, kerusakan yang berupa lekukan pada permukaan logam akibat tekanan berat yang langsung pada permukaan tersebut.

12. *Inclusion*, kelebihan dari hasil proses pembuatan (*manufacturing*) seperti yang terjadi pada *raw material* seperti: *rod, bar*, pipa, baik akibat proses *rolling* atau *forging/casting*.
13. *Nick*, retak/pecah lokal (di area tertentu) yang biasanya di bagian sisi pinggir atau ujung bahan.
14. *Pitting*, kerusakan yang sifatnya lokal yang berupa lubang-lubang kecil yang terdapat di permukaan logam.
15. *Scratch*, permukaan bahan yang terkoyak/tergores yang biasanya akibat tekanan dari benda lain secara langsung.
16. *Score*, permukaan barang yang tergores relatif lebih dalam dari pada *scratch* akibat tekanan benda lain secara langsung.
17. *Stain*, perubahan warna akibat lingkungan sehingga logam tersebut bila diperhatikan akan ada perubahan warna.
18. *Upsetting*, pergeseran sisi/ujung material yang melewati permukaan/kontur awalnya (*original*).

b. Damage Repairable by Patch

Kerusakan yang harus diperbaiki dengan menggunakan *patching*; dan dengan memperhatikan *crack* akan dapat menentukan perbaikan dengan cara *flush* atau dengan *non flush*.

c. Damage Repairabel by Replacement

Kerusakan yang tergolong besar sehingga bagian *skin* yang rusak harus diganti dengan yang baru.

d. Damage Repairabel by Insertion

Kerusakan yang terletak pada daerah yang sulit atau bentuk permukaan *skin* yang tidak rata/berlekuk-lekuk sehingga tidak memungkinkan dilakukan *patching* dan harus dengan *insertion*/penyuntikan.

Klasifikasi Repair Skin

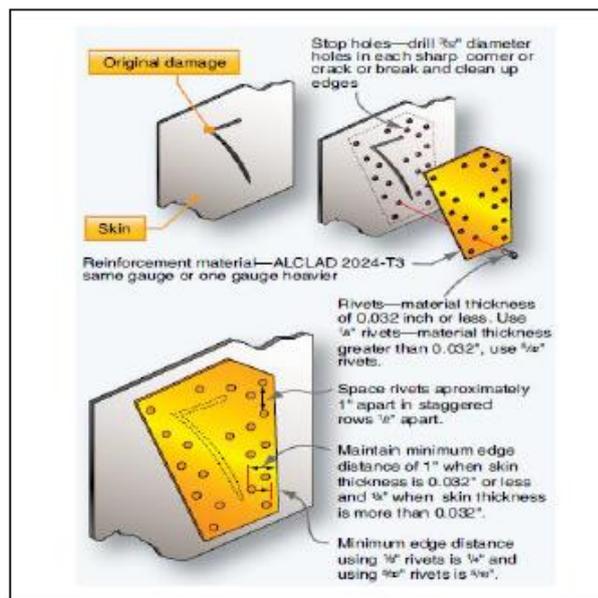
Klasifikasi *repair skin* dibagi menjadi 3 golongan yaitu:

- a. *One Time Flight of Repair*, perbaikan hanya untuk sekali penerbangan saja, selanjutnya akan dilakukan *permanent repair*.
- b. *Temporary Repair*, perbaikan yang dilakukan hanya sementara dan mempunyai batas/limit apabila melewati limit maka selanjutnya dilaksanakan *permanent repair*.
- c. *Permanent Repair*, perbaikan yang dilakukan secara permanen atau pergantian *skin* dan tidak untuk dibongkar kembali.

Permanent Repair di bagi menjadi 2 golongan yaitu:

1. Non Flush Skin Repair

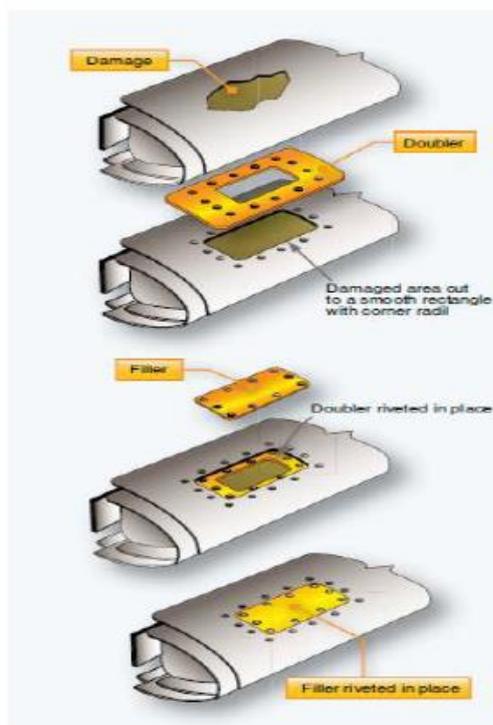
Non flush skin repair adalah jenis *patch* yang dipasang di luar permukaan *skin* pesawat terbang, *patch* tersebut dipasang tumpangtindih dengan *skin* kemudian dikencangkan dengan *rivet*. *Non flush patch* digunakan pada kebanyakan area yang tidak terlalu mengutamakan *aerodynamic smoothness*. Ketika melakukan perbaikan terhadap *crack* atau lubang kecil menggunakan *non flush patch*, kerusakan harus dibersihkan dan dihaluskan terlebih dahulu, pada pekerjaan *crack* harus diberi lubang dahulu di sekitar ujung *crack* sebelum memasang *patch*. Fungsi lubang-lubang tersebut adalah mengurangi tekanan pada titik tersebut dan mencegah *crack* menjadi melebar. Ukuran *patch* harus cukup besar untuk dipasang *rivet*, *patch* dapat berbentuk lingkaran, persegi atau persegi panjang maka ujung harus dibuat melingkar dengan radius tidak lebih kecil dari 1/4 inci.



Gambar 3. *Non Flush Skin Repair*
(Sumber: FAA-Airframe)

2. *Flush Skin Repair*

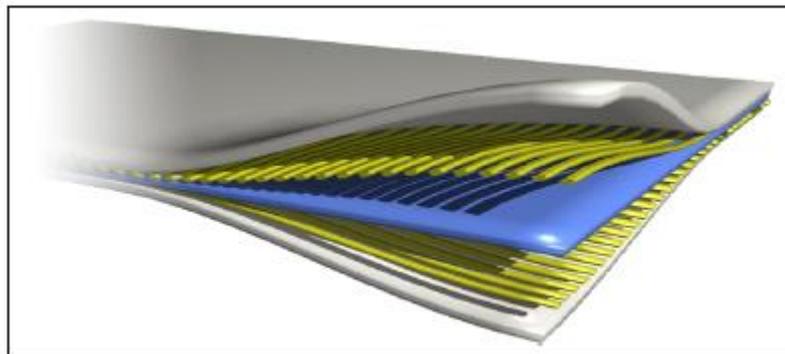
Flush patch adalah metode perbaikan *skin* pesawat terbang dengan memasang *filler patch* yang rata dengan *skin* pesawat, *filler* ini kemudian akan diperkuat dengan *doubler plate* yang dirivet di bagian dalam *skin*. Ukuran *filler* harus sama dengan ukuran lubang yang telah dibuat pada *skin* pesawat dan jenis material harus sama dengan material *skin* pesawat pada *flush patch* ini digunakan *rivet countersunk* yang memiliki kepala yang rata dengan *skin* karena metode ini digunakan pada area yang membutuhkan *aerodynamic smoothness*.



Gambar 4. *Flush Skin Repair*
(Sumber: FAA-Airframe)

Bonding Composite

Bonding composite adalah penggabungan dua material atau lebih, baik *metal* atau *non-metal* menggunakan *adhesive primer* sebagai media pengikat membentuk suatu komponen atau *part* yang memiliki karakteristik mekanik yang tinggi dibandingkan logam. Beberapa keuntungan dari struktur yang terbuat dari bahan *bonding composite* antara lain ringan, tahan korosi, dan mempunyai sifat mekanik tinggi.



Gambar 5. *Bonding Composite Skin*
(Sumber: FAA-Airframe)

Debonding Composite

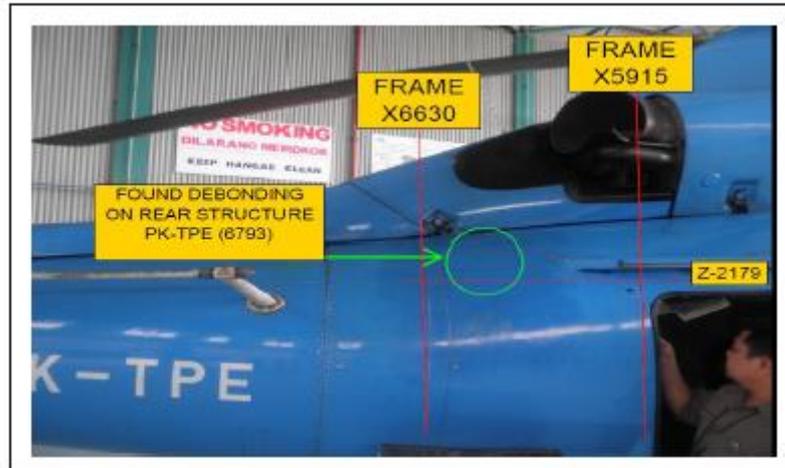
Debonding composite adalah lepasnya lapisan atau *core* pada bagian *skin* pesawat yang diakibatkan oleh cuaca atau beban *bending*.



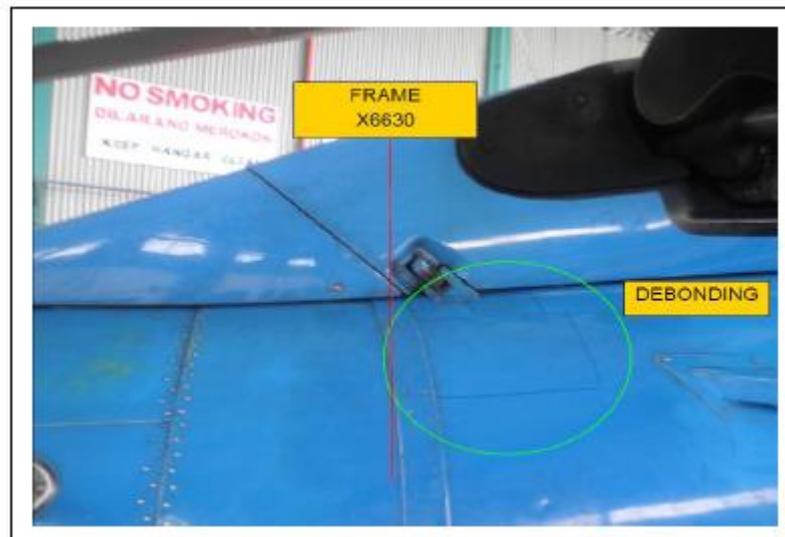
Gambar 6. *Debonding Composite Skin*
(Sumber: FAA-Airframe)

Debonding Location

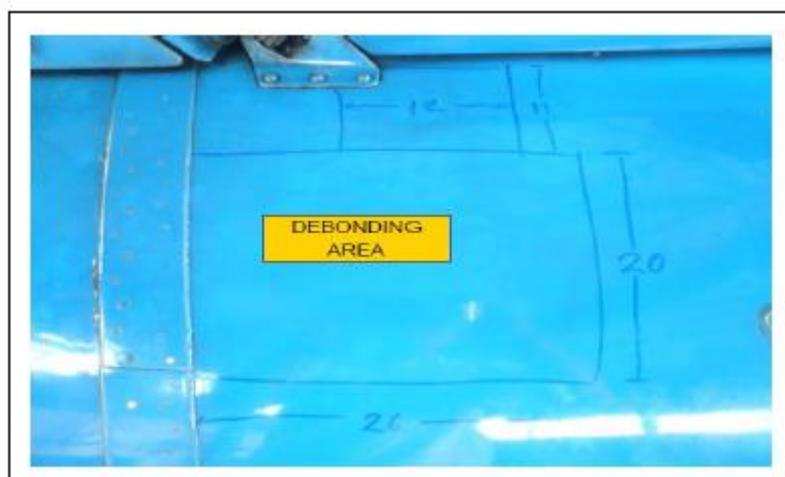
Posisi *Debonding* berada pada *frame X6630* di bagian bawah sebelah kanan dari *fuselage* 310 mm sampai 260 mm.



Gambar 7. *Debonding Location*
(Sumber: RADS PT IAT)



Gambar 8. *Debonding Location*
(Sumber: RADS PT IAT)



Gambar 9. *Debonding Location*
(Sumber: RADS PT IAT)

Metode Penelitian

Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk penelitian deskriptif yaitu penelitian terhadap masalah-masalah berupa fakta-fakta saat ini dari suatu populasi yang meliputi kegiatan penelitian sikap atau pendapat terhadap individu, organisasi, keadaan, ataupun prosedur (Arikunto, 2005).

Prosedur Penelitian

Berikut ini adalah prosedur atau langkah-langkah yang digunakan selama melaksanakan penelitian, yaitu:

1. Mencari data-data yang berkaitan dengan masalah *debonding skin*, khususnya tentang *repairing* (perbaikan).
2. Mempersiapkan alat dan bahan serta perlengkapan lain yang diperlukan selama penelitian berlangsung.
3. Memahami dan melaksanakan prosedur sesuai dengan panduan atau referensi terkait dengan langkah-langkah yang diperlukan dalam melaksanakan penelitian tentang *debonding*.
4. Mengamati masalah yang sering terjadi pada *skin debonding* dan ikut membantu melakukan penanganan masalah yang terjadi.
5. Mengumpulkan data yang diperoleh selama penelitian.
6. Mengolah data-data tersebut.
7. Melakukan pembahasan.
8. Membuat kesimpulan.

Alat dan Bahan Penelitian

Penulis menggunakan berbagai macam alat yang digunakan pada saat perawatan maupun perbaikan pesawat terbang. Beberapa alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. *Filler*, merupakan bahan pengisi yang digunakan dalam pembuatan komposit, biasanya berupa serat atau serbuk. Serat yang sering digunakan dalam pembuatan komposit antara lain serat *E-Glass*, *Boron*, *Carbon*, dan lain sebagainya. Bisa juga dari serat alam antara lain: serat *kenaf*, *jute*, *rami*, *cantula*, dan lain sebagainya.
2. *Doubler*, adalah plat yang dipasang di bagian permukaan luar *skin* pesawat, plat ini dipasang tumpang tindih dengan *skin* kemudian dikencangkan dengan *rivet*, *doubler* biasanya digunakan pada daerah yang tidak terlalu mengutamakan *aerodynamic smoothness*, ketika melakukan pemasangan terhadap *crack* atau lubang kecil menggunakan *doubler*, kerusakan harus dihaluskan dan bersihkan terlebih dahulu, pada pengerjaan perbaikan *crack*, perlu dibuat lubang kecil terlebih dahulu di setiap ujung *crack* sebelum pemasangan plat, lubang tersebut dapat mengurangi tekanan pada titik tersebut dan mencegah *crack* melebar.
3. *Adhesive Type Araldite AW 106*, campuran resin/*hardener* berguna untuk campuran pengeras.
4. *Adhesive Type Hysol EA 9309 NA*, berfungsi untuk merekatkan bahan material atau komposit.
5. *Sealant*, berfungsi untuk mengisi rongga *doubler/tripler* yang belum tertutup dengan rapat.
6. *Cherrymax Blind Rivet*, untuk menyambungkan plat/lempengan ke *structure skin* yang tipis, yang tidak memungkinkan menggunakan *head rivet*. *Cherrymax blind rivet* dapat juga dikatakan sebagai *safety lock* karena pada badan *rivet* terdapat drat/ulir.
7. *Countersunk Head Rivet*, *Rivet* ini sering kali digunakan untuk eksterior pesawat, *skin repair*, dll. karena *rivet* ini tidak banyak menimbulkan *drag/turbulensi* pada bagian pesawat karena bentuk dari *rivet* ini rata dengan permukaan *skin* pesawat.
8. *Devider*, *Devider* berfungsi seperti jangka pada umumnya tapi yang membedakan *devider* terbuat dari material logam fungsi *devider* adalah membuat pola pada *sheet metal*.

9. *Rivet Spacer*, berfungsi untuk membentuk pola pada benda kerja secara cepat dan akurat, spasi *rivet* pada *rivet spacer* ada beberapa ukuran disesuaikan layout perbaikan *skin*. Ukuran yang sering digunakan adalah 1/2 inch, 3/4 inch, 1 inch, dan 2 inch.
10. *Scribe*, berfungsi menandai area yang akan dibor.
11. *Center Punch*, berfungsi menandai pada saat pengeboran juga untuk menandai pada waktu melepas *machine* agar pada waktu pemasangan kembali lebih mudah.
12. *Files*, berfungsi membuang atau memakan benda kerja dengan jalan memarut benda kerja sehingga menjadi rata.
13. *Hand Cutting*, berfungsi untuk memotong *metal* atau *core* yang dibutuhkan untuk *repair skin*.
14. *Drill Bit*, adalah mata bor yang akan digunakan untuk melubangi *sheet metal* atau *skin*. *Drill bit* digunakan sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan.
15. *Malet* dan *Hammers*, berfungsi untuk memukul atau membantu pada saat meremove *rivet* dari *skin*.
16. *C-Clamp*, berfungsi melekatkan dua objek bersama untuk tujuan pengelasan ataupun *riveting* agar dua objek itu tidak bergeser.
17. *Cleco* dan *Cleco fastener*, *Cleco* berfungsi seperti *rivet* agar *sheet metal* yang akan dirivet tidak bergeser dan lubang rivetnya pas. *Cleco Fastener* berfungsi untuk melepas *cleco* dari *sheet metal* setelah digunakan.
18. *Bucking Bar*, berfungsi untuk menahan tumbukan dari *rivet gun* dan membentuk bagian belakang *rivet*.
19. *Rivet Gun*, berfungsi untuk menumbuk kepala *rivet* agar melekat pada *sheet metal*.
20. *Rivet Cutter*, berfungsi untuk memotong *shank* agar sesuai ukurannya ketika digunakan pada saat pelaksanaan *repair skin*.
21. *Countersinking*, berfungsi untuk membuat lubang *rivet* sesuai dengan kepala *rivet* agar rata dengan *skin*.
22. *Rivet Header*, berfungsi untuk menumbuk kepala *shank* pada saat proses *repair*.

Metode Pengumpulan Data

1. Studi Pustaka

Materi penelitian ini diperoleh dari sumber-sumber data dari buku atau referensi lain seperti *web* maupun *maintenance manual* serta *training manual* yang digunakan sebagai acuan dalam penyusunan tugas akhir ini yang tentunya berkaitan dengan pembahasan atau permasalahan yang akan dibahas.

2. Metode Wawancara

Materi penelitian ini diperoleh dengan cara mewawancarai langsung narasumber serta penulis juga melaksanakan pekerjaan.

3. Metode Observasi Lapangan

Materi penelitian ini diperoleh dengan observasi yaitu dengan cara mengamati secara langsung pada objek yang diteliti yaitu *debonding repair* pada *skin frame X6630* pada Helicopter *EC155*.

Analisis Data

Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif sehingga pembahasan dilakukan dengan bentuk deskripsi yaitu penjelasan menggunakan bahasa dan kalimat yang jelas. Data analisis tanpa menggunakan teknik statistik atau angka. Penelitian deskriptif yaitu metode yang digunakan untuk menggambarkan atau menganalisis suatu hasil penelitian tetapi tidak digunakan untuk membuat kesimpulan yang lebih luas (Sugiyono, 2009).

Hasil dan Pembahasan

Pengertian *Repair* Komposit

Repair Material adalah suatu proses perbaikan atau penanggulangan bagian-bagian yang telah mengalami kerusakan/cacat agar kekuatan bagian memenuhi standar yang telah ditetapkan oleh perancang. Pelaksanaan *repair* yang dilakukan pada bagian dengan bentuk susunan *sandwich* maupun *laminat* diatur dalam suatu manual yang telah ditetapkan oleh *manufacture* (pabrik). Dengan dilakukannya *repair* pada bagian yang rusak/cacat diharapkan kekuatan mekanik bagian komposit tersebut dapat diperbaiki dan memenuhi standar yang ditentukan.

Maksud dan Tujuan *Repair*

Repair composite merupakan suatu aspek penanggulangan bagian-bagian yang tidak terpakai, disebabkan adanya kesalahan atau ketidaksempurnaan saat penanganan *raw material*, proses pembuatan *part*, penanganan *part* sebelum atau setelah selesai dibuat bahkan setelah dioperasikan. Bagian pesawat yang terbuat dari *composite*, ada kemungkinan setelah proses *manufacturing*/pabrikasi harus mengalami *repair*. Hal ini untuk memperbaiki cacat/kerusakan yang terjadi.

Maksud dari pelaksanaan proses *repair* pada bagian yang rusak/cacat adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan hasil akhir yang sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan oleh perancang (pabrik). Apabila telah dilakukan suatu perbaikan pada suatu bagian pesawat tersebut dapat terjamin kondisi kekuatannya seperti semula. Sehingga setelah bagian tersebut dipasang kembali ke pesawat maka pesawat tersebut dapat beroperasi sebagaimana mestinya.
2. Meningkatkan kekuatan mekanik *part* yang mengalami kerusakan.
3. Menjaga berat seminimal mungkin, karena penambahan berat dapat memengaruhi *weight and balance* pesawat tersebut.

Tujuan yang ingin dicapai dari pelaksanaan proses *repair part* yang cacat tersebut adalah:

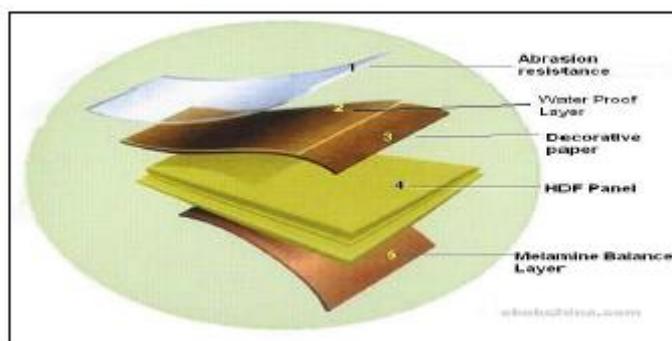
1. Mengurangi jumlah *part* yang tidak terpakai akibat kurang sempurnanya proses pembuatan.
2. Mengurangi biaya pembuatan *part* (*manufacturing cost*); dan
3. Mengurangi jumlah *part* yang harus diganti, akibat dari kerusakan yang timbul pada saat digunakan atau dioperasikan, lebih lanjut lagi guna meminimalkan biaya pemeliharaan.

Faktor-faktor Dasar Pertimbangan Pelaksanaan *Repair*

Sebelum *repair* dimulai sangat perlu memperhatikan faktor-faktor dasar pertimbangan yang dilakukan pada proses *repair* bagian yang rusak. Hal ini diperlukan untuk menentukan cara perbaikan yang sesuai dengan bentuk dan kondisi kerusakan. Perbaikan pada struktur komposit pesawat terbang terbagi atas 2 (dua) tipe, tergantung dari tipe struktur pada *part* tersebut, yaitu:

1. *Laminat Structure*

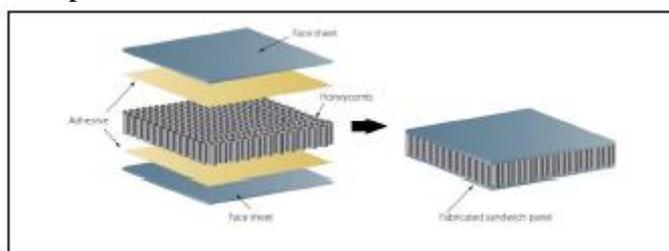
Bagian komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih dari lembaran fiber dan matrik yang digabungkan menjadi satu sehingga tersusun menjadi sebuah lapisan.



Gambar 10. *Laminate*
(Sumber: *Structure Repair Manual*)

2. *Sandwich Structure*

Gabungan komposit yang terdiri dari gabungan dua lapisan tipis fiber dengan inti (*core*) yang diletakkan di antara kedua lapisan tersebut.



Gambar 11. *Sandwich Structure*
(Sumber: *Structure Repair Manual*)

Ketentuan Umum *Repair*

Dalam pelaksanaan proses *repair* dilaksanakan tentunya harus mengikuti prosedur yang telah ditentukan, oleh karena seorang pekerja terlebih dahulu harus membaca buku *repair manual* dan meneliti suatu kerusakan pada bagian tersebut dan bagaimana mengambil tindakan selanjutnya yang harus dilakukan, yaitu:

1. Tipe struktur yang harus mengalami proses *repair* terlebih dahulu melalui persetujuan MRB.
2. Semua operasi *repair* dilakukan di area bengkel dengan pengontrolan terhadap kelembaban, temperatur dan bebas dari kontaminan.
3. Area kerja harus pada suhu 20°C-25°C dan kelembaban kurang dari 70%.
4. Penggunaan resin harus sesuai atau sama sifatnya dengan resin material basisnya atau material yang digunakan untuk *part* tersebut.
5. Dilarang menggunakan wadah yang mengandung *wax/oli* untuk mencampur resin.

Persiapan *Repair*

Sebelum proses *repair* dilaksanakan maka perlu adanya proses persiapan yang sangat menunjang kelancaran proses *repair*, di antaranya:

1. Menentukan konfigurasi yang rusak;
2. Menentukan daerah yang rusak;
3. Pemotongan bagian yang rusak; dan
4. *Sending* atau pengamplasan.

Jenis-jenis Pemeriksaan pada Material Komposit

Dalam industri penerbangan ada 2 (dua) cara dalam pengujian material komposit yaitu dengan cara: 1) NDT (*Non Destructive Test*), dan 2) DT (*Destructive Test*).

1. NDT (*Non Destructive Test*)

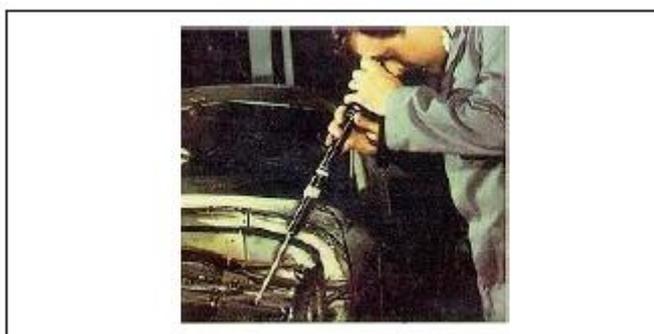
Non destructive testing adalah aktivitas tes atau inspeksi terhadap suatu benda untuk mengetahui adanya cacat, retak atau *discontinuity* lain tanpa merusak benda yang dites atau inspeksi. Pada dasarnya tes ini dilakukan untuk menjamin bahwa material yang digunakan masih aman dan belum melewati *damage tolerance*. Material pesawat diusahakan semaksimal mungkin tidak mengalami kegagalan (*failure*) selama masa penggunaannya. NDT dilakukan paling tidak sebanyak 2 (dua) kali, yaitu:

1. Selama dan di akhir proses pabrikasi untuk menentukan suatu komponen dapat diterima setelah melalui tahap-tahap pabrikasi, NDT digunakan sebagai kendali mutu komponen.
2. NDT dilakukan setelah komponen digunakan dalam jangka waktu tertentu tujuannya untuk menemukan kegagalan parsial sebelum melampaui *damage tolerance*-nya.

Contoh-contoh NDT yang sering ditemui dalam industri penerbangan maupun industri lainnya, yaitu:

1. *Visual Inspection*

Sering kali metode ini merupakan langkah yang pertama kali diambil dalam NDT. Metode ini bertujuan menemukan cacat atau retak permukaan dan korosi. Dalam hal ini tentu saja adalah retak yang dapat terlihat oleh mata telanjang atau dengan bantuan lensa pembesar ataupun *boroskop*.



Gambar 12. Visual menggunakan *Boroskop*
(Sumber: *Structure Repair Manual*)

2. *Liquid Penetrant Test*

Metode *Liquid Penetrant Test* merupakan metode NDT yang paling sederhana. Metode ini digunakan untuk menemukan cacat di permukaan terbuka dari komponen solid, baik logam maupun non logam, seperti keramik dan plastik fiber. Melalui metode ini, cacat pada material akan terlihat lebih jelas. Caranya adalah dengan memberikan cairan berwarna terang pada permukaan yang diinspeksi. Cairan ini harus memiliki daya penetrasi yang baik dan *viskositas* yang rendah agar dapat masuk pada cacat di permukaan material. Selanjutnya, *penetrant* yang tersisa di permukaan material disingkirkan. Cacat akan nampak jelas jika perbedaan warna *penetrant* dengan latar belakang cukup kontras. Seusai inspeksi, *penetrant* yang tertinggal dibersihkan dengan penerapan *developer*.

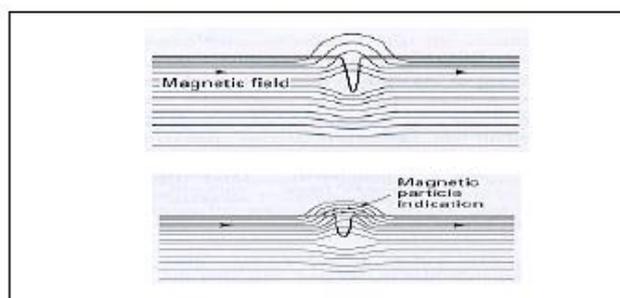


Gambar 13. *Penetrant Test*
(Sumber: *Structure Repair Manual*)

Kelemahan dari metode ini antara lain adalah bahwa metode ini hanya bisa diterapkan pada permukaan terbuka. Metode ini tidak dapat diterapkan pada komponen dengan permukaan kasar, berpelapis, atau berpori.

3. *Magnetic Particle Inspection*

Dengan menggunakan metode ini, cacat permukaan (*surface*) dan bawah permukaan (*subsurface*) suatu komponen dari bahan *ferromagnetik* dapat diketahui. Prinsipnya adalah dengan memagnetisasi bahan yang akan diuji. Adanya cacat yang tegak lurus arah medan magnet akan menyebabkan kebocoran medan magnet. Kebocoran medan magnet ini mengindikasikan adanya cacat pada material. Cara yang digunakan untuk mendeteksi adanya kebocoran medan magnet adalah dengan menaburkan partikel magnetik di permukaan. Partikel-partikel tersebut akan berkumpul pada daerah kebocoran medan magnet.

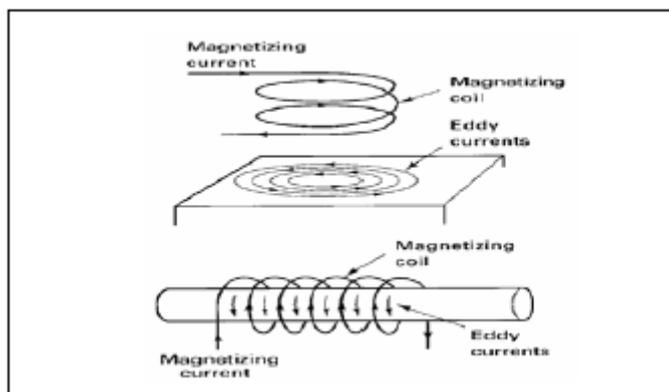


Gambar 14. *Magnetic Test*
(Sumber: *Structure Repair Manual*)

Kelemahannya, metode ini hanya bisa diterapkan untuk material *ferromagnetik*. Selain itu, medan magnet yang dibangkitkan harus tegak lurus atau memotong daerah retak serta diperlukan demagnetisasi di akhir inspeksi.

4. *Eddy Current Test*

Inspeksi ini memanfaatkan prinsip elektromagnet. Prinsipnya, arus listrik dialirkan pada kumparan untuk membangkitkan medan magnet di dalamnya. Jika medan magnet ini dikenakan pada benda logam yang akan diinspeksi, maka akan terbangkit arus Eddy. Arus Eddy kemudian menginduksi adanya medan magnet. Medan magnet pada benda akan berinteraksi dengan medan magnet pada kumparan dan mengubah impedansi bila ada cacat.



Gambar 15. *Eddy Current Test*
(Sumber: *Structure Repair Manual*)

Keterbatasan dari metode ini yaitu hanya dapat diterapkan pada permukaan yang dapat dijangkau. Selain itu metode ini juga hanya diterapkan pada bahan logam saja.

5. *Ultrasonic Inspection*

Prinsip yang digunakan adalah prinsip gelombang suara. Gelombang suara yang dirambatkan pada spesimen uji dan sinyal yang ditransmisi atau dipantulkan diamati dan diinterpretasikan. Gelombang *ultrasonic* yang digunakan memiliki frekuensi 0.5 – 2.0 MHz. Gelombang suara akan terpengaruh jika ada *void* (lubang), retak, atau delaminasi (pengelupasan) pada material. Gelombang *ultrasonic* ini dibangkitkan oleh *transducer* dari bahan *piezoelektri* yang dapat menubah energi listrik menjadi energi getaran mekanik kemudian menjadi energi listrik lagi.

6. *Radiographic Inspection*

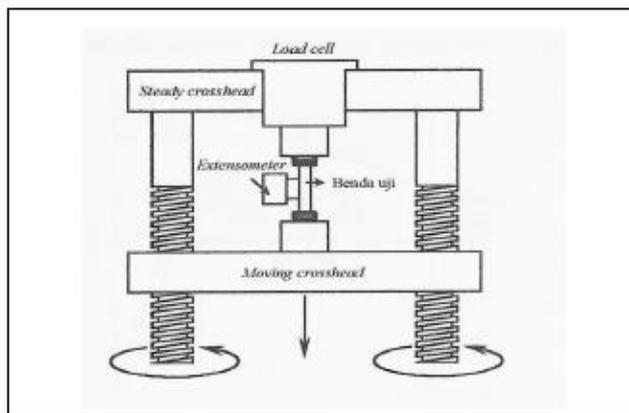
Metode NDT ini dapat untuk menemukan cacat pada material dengan menggunakan sinar X dan sinar gamma. Prinsipnya, sinar X dipancarkan menembus material yang diperiksa. Saat menembus objek, sebagian sinar akan diserap sehingga intensitasnya berkurang. Intensitas akhir kemudian direkam pada film yang sensitif. Jika ada cacat pada material maka intensitas yang terekam pada film tentu akan bervariasi. Hasil rekaman pada film inilah yang akan memperlihatkan bagian material yang mengalami cacat.

2. *Destructive Test*

Pengertian dari *Destructive Test* adalah pengujian yang dilakukan terhadap suatu material atau spesimen sampai material tersebut mengalami kerusakan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui performa pada material yang bersangkutan, salah satunya bila material tersebut dikenai gaya dari luar dengan besar gaya yang berbeda-beda. Pengujian ini umumnya jauh lebih mudah untuk dilaksanakan, selain itu memberikan informasi yang lebih baik dari pada *Non Destructive Test*. Beberapa contoh dari *Destructive Test*, yaitu:

1. Pengujian Tarik/*Tensile Test*

Tensile Test adalah pengujian kekuatan suatu material dengan menarik suatu bahan sampai putus. Pada pengujian ini suatu material akan mengalami kerusakan, karena pengujian tarik adalah pengujian kekuatan material dengan menarik suatu material sampai putus. Jadi material yang diuji kekuatannya akan rusak.



Gambar 16. Pengujian Tarik
(Sumber: Modul Praktek Material, Fak. Teknik UGM)

2. Pengujian Tekan/*Compressed Test*

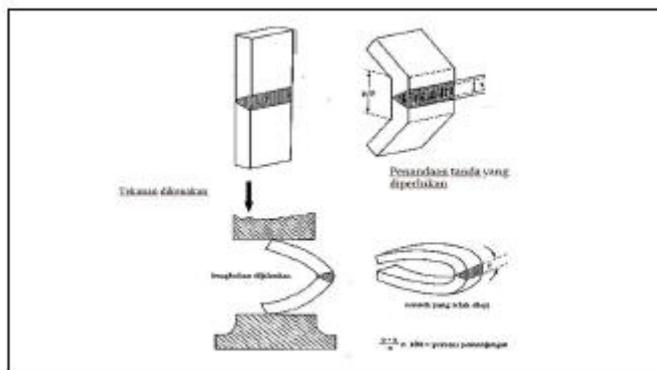
Pada uji tekan umumnya kekuatan tekan lebih tinggi dari kekuatan tarik, suatu material akan ditekan dan saat pengujian ini dapat mengakibatkan kerusakan pada material. Pada proses ini material akan ditaruh di atas landasan dan ditekan dari atas.



Gambar 17. Pengujian Tekan
(Sumber: Modul Praktek Material, Fak. Teknik UGM)

3. Pengujian Bengkok/*Bending Test*

Pengujian bengkok adalah salah satu cara pengujian yang dipakai sejak lama bagi bahan yang cocok, karena dapat dilakukan terhadap batang uji berbentuk sederhana dan tidak perlu menggunakan mesin uji biasa, tapi pengujian ini menyebabkan kerusakan material karena akan patah.



Gambar 18. Pengujian Bengkok
(Sumber: Modul Praktek Material, Fak. Teknik UGM)

4. Pengujian Puntir/*Torsion Test*

Pada pengujian puntiran suatu material akan rusak karena material tersebut akan mengalami patahan, umumnya ini terjadi pada material yang getas, sedangkan pada material yang ulet, patahan akan terjadi pada sudut tegak lurus terhadap sumbu puntiran setelah gaya pada area sumbu akan terjadi dengan deformasi yang besar.



Gambar 19. Pengujian Puntir
(Sumber: Modul Praktek Material, Fak. Teknik UGM)

Menentukan Limitasi yang Rusak

Hal yang perlu diperhatikan dalam menentukan limitasi daerah yang rusak adalah dengan pembacaan *engineering drawing* (gambar teknis) yang meliputi identifikasi material yang digunakan dalam *part* yang mengalami kerusakan, misalnya:

1. Tipe dan kelas *prepeg* serta proses pembuatan *part*;
2. Jumlah lapisan, orientasi lapisan dan urutan penyusunan lapisan;
3. Sistem dan jenis *adhesive* yang digunakan; dan
4. Tipe material inti atau *core* dan *adhesive* untuk menggabungkan *core* tersebut.

Langkah-langkah *Debonding* Komposit

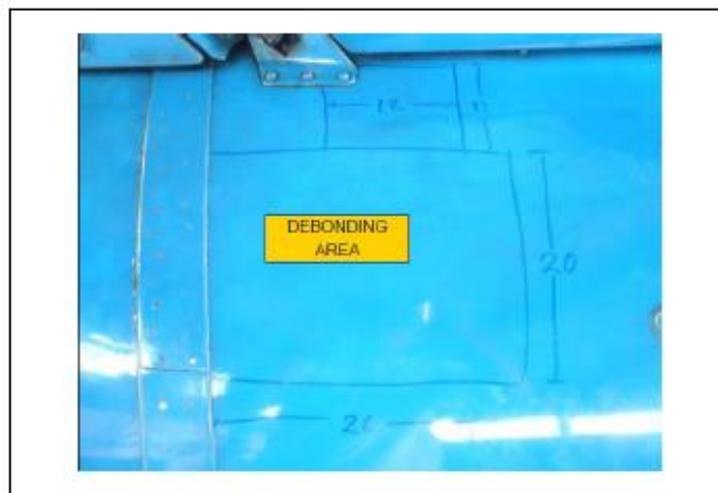
1. Menentukan *Debonding Area*

Posisi *debonding* berada pada frame X6630 di bagian bawah sebelah kanan dari *fuselage* 310 mm dari 260 mm. Pekerjaan yang dilakukan adalah:

1. Memeriksa daerah sekitar kerusakan secara visual dan non visual;
2. Memeriksa daerah sekitar kerusakan terhadap kemungkinan masuknya air, kotoran atau material asing lainnya;
3. Pembersihan daerah kerusakan; dan
4. Pemberian tanda pada daerah yang akan diproses *repair*.

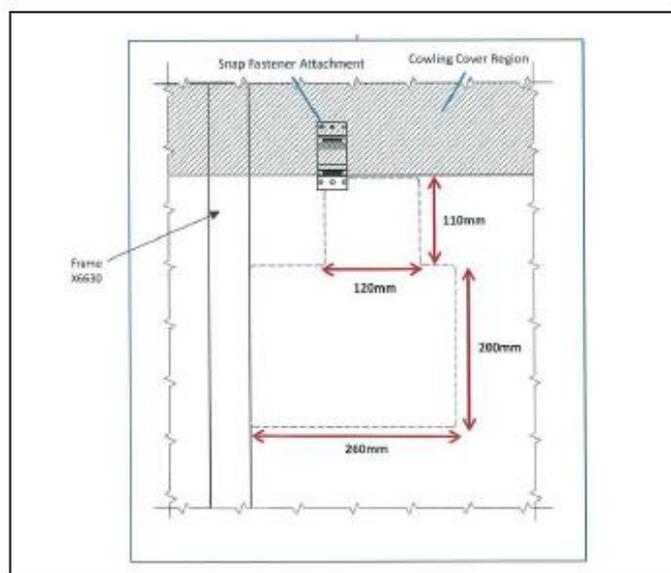
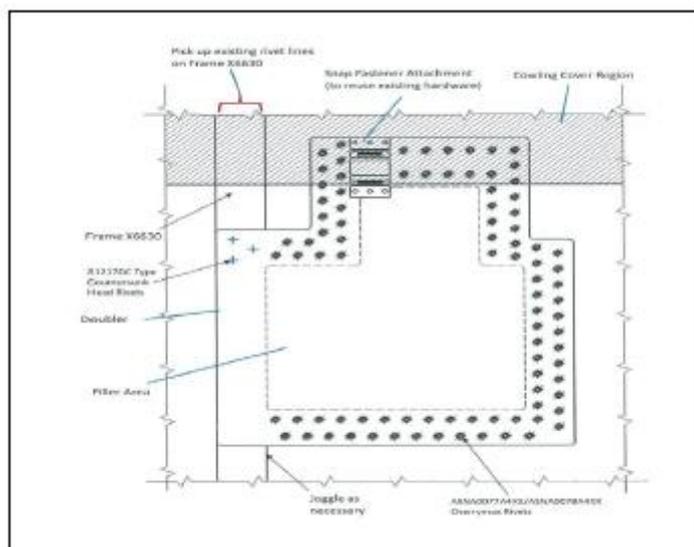


Gambar 20. *Debonding Area*
(Sumber: RADS PT. IAT)



Gambar 21. *Damage Area*
(Sumber: RADS PT. IAT)

2. Layout *Debonding Skin*



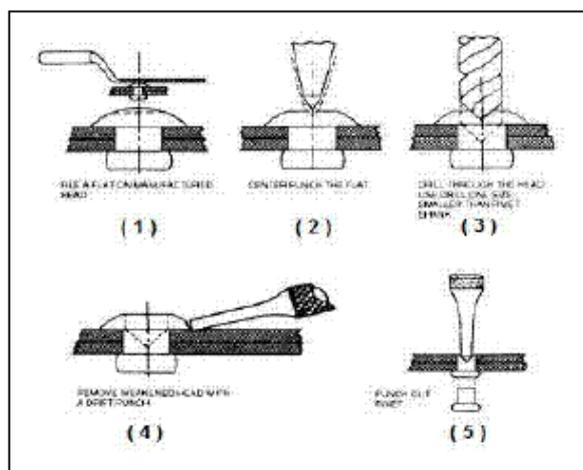
Gambar 22. *Layout Repair Damage*
(Sumber : RADS PT. IAT)

3. *Remove and Install*

1. Langkah Pertama:

- Melepas *cowling*, *snap fastener*, *part*, dan *accessories* yang terletak pada *damage area* untuk memudahkan akses dalam perbaikan;
- Tapping Test* digunakan untuk memeriksa area kerusakan;
- Menghapus cat pada *damage area* jika diperlukan dan menandai daerah *skin* yang mengalami kerusakan;
- Memotong area yang mengalami kerusakan kita harus berhati-hati dan menverifikasi keadaan *structure honeycom core* mengalami kerusakan atau tidak; dan
- Mepaskan *rivet*, dengan cara:
 - Mengikir kepala *rivet* sehingga menjadi *flat*/datar;

- 2) *Center punch* kepala *rivet* agar posisi *boring* tepat di tengah kepala *rivet*;
- 3) Kepala *rivet* harus di *boring* sampai bagian kepala *rivet* terlepas dari *skin*;
- 4) Lalu sisa dari badan *rivet* yang masih menempel di *skin* dicungkil dengan menggunakan *punch*.



Gambar 23. Prosedur *Replacing Rivet*
(Sumber : *Standar Practice Manual*)

2. Langkah Kedua

Jika *honeycom core* mengalami kerusakan, perbaikan kerusakan *core* tersebut merujuk pada *RADS/Repair Aircraft Data Sheet*, yaitu:

- a) *Filler* dibuat dengan bahan yang sama dengan ketebalan *skin*, potong sebesar 5mm;
- b) Melepas atau buang *core* dengan menggunakan *router* dan *bit* yang sesuai dengan ukuran;
- c) *Fabricate core* dibuat dengan jenis dan arah yang sama dengan *core* yang akan diganti;
- d) Membersihkan *damage area* dengan benar dan tepat;
- e) Menambal atau pasang *core* dengan cara *wet lay-up*:
 - 1) Meletakkan 2 lapisan *fabric* yang telah dipregnasi dengan resin pada lubang atau rongga *core*;
 - 2) Menggunakan campuran resin dengan *microballons* atau *foam adhesive* untuk melapisi sisi-sisi *core* dan *core* yang akan dipasang pada rongga *core*;
 - 3) Memasang atau meletakkan *core* yang baru sesuai dengan arah *ribbon core* yang telah dilepas sebelumnya;
 - 4) *Core* harus dikeringkan terlebih dahulu;
 - 5) Menambal lapisan pertama;
 - 6) *Vacum bag* disiapkan sesuai dengan *manufacture*;
 - 7) Jenis material yang digunakan harus dikeringkan sesuai dengan prosedur yang berlaku/*manufacture procedur*;
 - 8) Melepaskan *vacum bag*;
 - 9) Sisa-sisa resin dihaluskan agar permukaan yang berlebihan tidak terlihat dan ratakan permukaan komposit; dan
 - 10) Melapisi permukaan dengan resin anti air lalu keringkan.

3. Langkah Ketiga

- a) Boring lubang baru untuk *rivet* dan *snap-fastener*;
- b) Menempelkan *doubler* dengan menggunakan HYSOL 9303-3 NA;

- c) *Rivet doubler* dengan menggunakan *countersunk head rivet* dan *cherrymax rivet*. Pilih panjang *rivet* yang sesuai dengan *Standard Practice Manual*, ganti *coat compound* antarpermukaan *skin* dan *doubler*;
- d) *Snap-fastener* dilepaskan; dan
- e) *Rivet* seluruh bagian yang telah dilubangi sebelumnya agar *doubler* menempel sempurna pada *skin*.

4. Langkah Keempat

Memasang kembali *cowling* dan semua *part, accessories*, dan lain-lain setelah proses *repair* selesai.

Monitoring Setelah Repair

Airbus Helicopter merekomendasikan untuk melakukan *visual inspection* pada *repair area 50FH* setelah dilaksanakan *T inspection* mengikuti jadwal *maintenance* dari MSM.

Kesimpulan

Material komposit merupakan bahan yang banyak digunakan pada komponen-komponen pesawat terbang saat ini. Meskipun demikian material komposit masih memiliki kekurangan. Dari kajian ini menyimpulkan beberapa hal, sebagai berikut:

1. *Repair Material* adalah suatu proser perbaikan atau penangulangan bagian-bagian yang mengalami kerusakan/cacat agar kekuatan bagian memenuhi standar yang telah ditetapkan oleh perancang.
2. Identifikasi kerusakan *structure* dapat dilakukan dengan berbagai cara atau berbagai macam pengetasan material ,seperti: *Non Destructive Test* (NDT) dan *Destructive Test* (DT).
3. Limitasi kerusakan *skin* dapat dilihat pada dokumen RADS PT. Indonesia Air Transport dimana dijelaskan bahwa kerusakan *debonding skin* berada pada frame x6630.
4. Proses *removing* dan *installing* dilakukan dengan beberapa langkah dimana langkah pertama adalah melepas akses, *cowling*, dan bagian lain dari *part* yang mengalami *damage*, langkah kedua adalah melepas *rivet* dan memotong area *damage skin*, dilanjutkan dengan langkah ketiga yaitu perbaikan area kerusakan apabila *core* mengalami kerusakan, dan langkah terakhir adalah memasang kembali seluruh akses yang dilepas pada langkah pertama.
5. Monitoring dilakukan oleh EuroCopter Airbus Indonesia, dimana monitoring ini dilakukan secara visual selama 50 Fh dan dilanjutkan dengan *T Maintenance* sesuai dengan MSM.

Daftar Pustaka

- [1] Matthew, *Composite Materials: Engineering and Science*, Chapman & Hall, London, 1993.
- [2] Kroschwitz, *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*, John Wiley & Sons Inc., New York, 1993.
- [3] Van Vlaak, *Elements of Materials*, John Wiley and Sons Inc., New York, 1994.
- [4] Dimatia Rosato, *Designing with Plastic and Composite: A Handbook*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1995.
- [5] Hanafi, "Composite Repair," Tugas Akhir, STTKD Yogyakarta, 2009.
- [6] Permana, "Penangulangan Kerusakan Material Komposit," Tugas Akhir STTKD Yogyakarta, 2011.
- [7] Sudrajat, "Inpeksi Dye Penetrant Testing Pada Komponen Pesawat Terbang," Tugas Akhir STTKD Yogyakarta, 2013.
- [8] FAA-Airframe. *Material Repair Book. Aviation Maintenance Technician Handbook - Airframe Volume 1*. U.S Department of Transportation.
- [9] B.C. Hoskkin, A.A. Baker, *Composite Material For Aircraft Structure*. American Institute of Aeronautica. Broadway, New York, 1986.
- [10] Robert. M. Jones, *Mechanic of Composite Material*. McGraw-Hill Book Company, New York, 1964.
- [11] Fakultas Teknik UGM, Modul Praktek Material, Fak. Teknik UGM Yogyakarta, 2015.
- [12] RADS PT IAT. *Repair Aircraft Design Structure*. Airbus Helicopter. Marignane, France.
- [13] Siahaan, "Tinjauan Penggunaan Material Komposit Fiber Glass," Tugas Akhir STTKD Yogyakarta, 2011.
- [14] *Standard Practice Manual*, EuroCopter Airbus Indonesia, 2015.
- [15] *Structure Repair Manual. Repair Aircraft Design Structure*. Airbus Helicopter, Marignane, France.
- [16] www.aircraftstructure.com