

TUGAS AKHIR - TF 181801

**IMPLEMENTASI MANAJEMEN PERAWATAN PADA
HELIKOPTER MENGGUNAKAN METODE *FAILURE
MODE AND EFFECT ANALYSIS* (FMEA) UNTUK
ANALISIS RISIKO**

ADNINTYA RAHMININGSIH

NRP 02311840000088

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.

NIP 195711261984032002

Program Studi S1 Teknik Fisika

Departemen Teknik Fisika

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



TUGAS AKHIR - TF 181801

**IMPLEMENTASI MANAJEMEN PERAWATAN PADA
HELIKOPTER MENGGUNAKAN METODE *FAILURE
MODE AND EFFECT ANALYSIS* (FMEA) UNTUK
ANALISIS RISIKO**

ADNINTYA RAHMININGSIH

NRP 02311840000088

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.

NIP 195711261984032002

Program Studi S1 Teknik Fisika

Departemen Teknik Fisika

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF 181801

**IMPLEMENTATION OF MAINTENANCE
MANAGEMENT ON HELICOPTER USING FAILURE
MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) METHOD
FOR RISK ANALYSIS**

ADNINTYA RAHMININGSIH

NRP 02311840000088

Advisor

Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.

NIP 195711261984032002

Study Program Bachelor Degree of Engineering Physics

Department of Engineering Physics

Faculty of Industrial Technology and System Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama : Adnintya Rahminingsih
NRP : 0231184000088
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FTIRS)
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “IMPLEMENTASI MANAJEMEN PERAWATAN PADA HELIKOPTER MENGGUNAKAN METODE *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS* (FMEA) UNTUK ANALISIS RISIKO” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya-benarnya.

Surabaya, 13 Juli 2022

Yang membuat pernyataan,



Adnintya Rahminingsih

NRP. 0231184000088

Halaman ini sengaja dikosongkan

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**IMPLEMENTASI MANAJEMEN PERAWATAN PADA HELIKOPTER
MENGUNAKAN METODE *FAILURE MODE AND EFFECT
ANALYSIS* (FMEA) UNTUK ANALISIS RISIKO**

Oleh:

Adintya Rahminingsih

NRP. 0231184000088

Surabaya, 13 Juli 2022

Menyetujui,

Pembimbing



Dr. Ir. Ronny Dwi Norivati, M. Kes.

NIP. 195711261984032002

Mengetahui,



Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

IMPLEMENTASI MANAJEMEN PERAWATAN PADA HELIKOPTER MENGUNAKAN METODE *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS* (FMEA) UNTUK ANALISIS RISIKO

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FT-IRS)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ADNINTYA RAHMININGSIH

NRP. 02311840000088

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati. M.Kes.

 (Pembimbing I)

2. Ir. Harsono Hadi, M.T., Ph.D.

 (Ketua Penguji)

3. Muhammad Khamim Asy'ari S.T., M.T.

 (Penguji 1)

SURABAYA

2022

Halaman ini sengaja dikosongkan

IMPLEMENTASI MANAJEMEN PERAWATAN PADA HELIKOPTER MENGGUNAKAN METODE *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS* (FMEA) UNTUK ANALISIS RISIKO

Nama : Adnintya Rahminingsih
NRP : 0231184000088
Departemen : Teknik Fisika FTIRS - ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.

ABSTRAK

Helikopter merupakan salah satu alat transportasi udara yang paling banyak digunakan karena berbagai keunggulannya. Untuk menjaga helikopter dalam kondisi baik dan laik terbang, perlu diperhatikan faktor perawatan (*maintenance*) dimana risiko mungkin terjadi. Untuk mencegah risiko kegagalan dapat dilakukan manajemen risiko, salah satunya adalah metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Berdasarkan hasil analisis FMEA, terdapat 14 mode kegagalan yang berpotensi terjadi pada sistem *tail rotor hub and blade* helikopter Bell 407 yaitu *over stake, spherical bearing play, bearing play, pitting, crumbling, bolt pitting, extruding, sheeting, bushing wornout, delamination, blade delamination, voids, cracks*, dan korosi dengan nilai RPN secara berturut-turut adalah 500, 168, 168, 81, 54, 54, 42, 42, 36, 27, 20, 10, 10, dan 4. Berdasarkan nilai RPN tersebut, dibuat diagram pareto untuk menentukan prioritas risiko yang perlu dimitigasi dan lima mode kegagalan yang diidentifikasi sebagai prioritas yaitu *over stake, spherical bearing play, bearing play, pitting*, dan *crumbling*.

Kata Kunci: FMEA, *maintenance*, mitigasi, Pareto, risiko, RPN

Halaman ini sengaja dikosongkan

**IMPLEMENTATION OF MAINTENANCE MANAGEMENT ON
HELIKOPTER USING FAILURE MODE AND EFFECT
ANALYSIS (FMEA) METHOD FOR RISK ANALYSIS**

Name : Adnintya Rahminingsih
NRP : 02311840000088
Department : Engineering Physics FTIRS - ITS
Supervisors : Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.

ABSTRACT

Helicopters are one of the most widely used air transportation because of their various advantages. To keep the helicopter in good condition and airworthy, it is necessary to pay attention to the maintenance factor where the risk may occur. To prevent the risk of failure, risk management can be carried out, one of which is the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method. Based on the results of FMEA analysis, there are 14 failure modes that have the potential to occur in the Bell 407 helicopter tail rotor hub and blade system, namely over stake, spherical bearing play, bearing play, pitting, crumbling, bolt pitting, extruding, sheeting, bushing worn out, delamination, blade delamination, voids, cracks, and corrosion with RPN values of 500, 168, 168, 81, 54, 54, 42, 42, 36, 27, 20, 10, 10, and 4. Pareto diagrams are made to determine the priority of risks that need to be mitigated and five failure modes are identified as priorities, namely over stake, spherical bearing play, bearing play, pitting, and crumbling.

Keywords: *FMEA, maintenance, mitigation, Pareto, risk, RPN*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kepada Allah SWT karena dengan rahmat dan ridhonya sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan, dan kelancaran dalam menyusun laporan tugas akhir ini yang berjudul “IMPLEMENTASI MANAJEMEN PERAWATAN PADA HELIKOPTER MENGGUNAKAN METODE *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS* (FMEA) UNTUK ANALISIS RISIKO” Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik yang harus dipenuhi dalam Program Studi S-1 Teknik Fisika FTIRS ITS. Penulis menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Suyanto, S.T., M.T. selaku Kepala Departemen Teknik Fisika ITS yang telah memberikan bimbingan selama menempuh Pendidikan di Teknik Fisika.
2. Ibu Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes. selaku pembimbing tugas akhir ini yang selalu memberikan doa, semangat, saran, dan masukan. Kedua orang tua serta adik dan nenek penulis yang telah memberikan dukungan penuh, doa, dan motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. PT. Kalimasada Pusaka yang telah mewadahi saya dalam mencari ilmu dan mengambil data serta memberikan saran dan masukan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc. selaku dosen wali penulis.
5. Kedua orang tua serta adik dan nenek penulis yang telah memberikan dukungan penuh, doa, dan motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di Departemen Teknik Fisika ITS.
7. Segenap karyawan TU di jurusan Teknik Fisika ITS.
8. Keluarga besar Warga HMTF-ITS yang senantiasa memberikan motivasi.
9. Teman-teman angkatan 2018, kakak-kakak angkatan 2016 dan 2017, serta adik-adik angkatan 2019.
10. Teman pengurus Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengondisian Lingkungan
11. Rekan-rekan seperjuangan TA yang telah mendukung secara mental batin dan memberikan bantuan dalam penyelesaian tugas akhir.

12. Ibu Tjipto selaku Ibu Kos penulis yang telah memberikan tempat tinggal kepada penulis selama empat tahun kuliah.
13. Dan diri saya sendiri atas segala usaha dan doa serta perjuangannya dalam proses menyelesaikan tugas akhir ini.

Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu. Semoga laporan tugas akhir ini dapat dipergunakan dengan sebaik-baiknya. Penulis menyadari bahwa mungkin masih ada kekurangan dalam laporan ini, sehingga kritik dan saran penulis terima.

Surabaya, 13 Juli 2022

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| COVER PAGE..... | iii |
| PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI | v |
| LEMBAR PENGESAHAN | vii |
| LEMBAR PENGESAHAN | ix |
| ABSTRAK | xi |
| ABSTRACT | xiii |
| KATA PENGANTAR | xv |
| DAFTAR ISI..... | xvii |
| DAFTAR GAMBAR | xix |
| DAFTAR TABEL..... | xxi |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan..... | 3 |
| 1.4 Batasan Masalah..... | 4 |
| 1.5 Sistematika Laporan | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI..... | 7 |
| 2.1 Bell 407 | 7 |
| 2.2 <i>Tail Rotor System</i> | 8 |
| 2.3 Risiko..... | 9 |
| 2.4 Identifikasi Risiko | 11 |
| 2.5 <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i> | 13 |

| | | |
|-------------------------------------|---|----|
| 2.6 | <i>Risk Priority Number (RPN)</i> | 15 |
| 2.7 | Diagram Pareto | 16 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | | 17 |
| 3.1 | Studi literatur | 17 |
| 3.2 | Studi Lapangan dan Pengumpulan Data | 18 |
| 3.3 | Identifikasi Kegagalan | 21 |
| 3.4 | Evaluasi Risiko Dengan Metode FMEA | 22 |
| 3.5 | Pemetaan Risiko | 22 |
| 3.6 | Penentuan Langkah Mitigasi Risiko | 22 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... | | 23 |
| 4.1 | Identifikasi Kegagalan | 23 |
| 4.2 | Analisis Risiko | 25 |
| 4.3 | Perhitungan RPN dan Pemetaan Risiko..... | 27 |
| 4.4 | Penentuan Langkah Mitigasi Risiko | 29 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | | 31 |
| 5.1 | Kesimpulan | 31 |
| 5.2 | Saran | 32 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | | 33 |
| LAMPIRAN | | 35 |
| BIODATA PENULIS | | 39 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Spesifikasi Bell 407 (Textron, Bell 407 - Public Safety and Utility Helicopter Elevating Technology, 2022) | 7 |
| Gambar 2.2 Efek anti-torsi dari <i>tail rotor</i> (Tarsi, 2021)..... | 9 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian..... | 17 |
| Gambar 3.2 Ilustrasi Rincian Bagian Sistem <i>Tail Rotor Hub and Blade</i> Bell 407 (Bell Helikopter, 2021) | 19 |
| Gambar 4.1 Diagram Pareto Mode Kegagalan Sistem <i>Tail Rotor Hub and Blade</i> Bell 407 | 28 |
| Gambar B.1 <i>Cover Maintenance Manual</i> Bell 407 | 36 |
| Gambar C.1 <i>Alert ervice Bulletin Tail Rotor Blade</i> Bell 407 | 37 |
| Gambar D.1 Lembar Validasi Data PT. Kalimasada Pusaka | 38 |

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Skala nilai <i>severity</i> (S), <i>occurance</i> (O), dan <i>detection</i> (D) | 14 |
| Tabel 3.1 Parameter <i>Tail Rotor</i> Bell 407..... | 18 |
| Tabel 3.2 Daftar Komponen Sistem <i>Tail Rotor Hub and Blade</i> Bell 407..... | 20 |
| Tabel 3.3 Jadwal Inspeksi <i>Tail Rotor Hub and Blade</i> Bell 407 | 21 |
| Tabel 4.1 Mode Kegagalan Pada Sistem <i>Tail Rotor Hub and Blade</i> Bell 407 | 24 |
| Tabel 4.2 Analisis Kegagalan Pada Sistem <i>Tail Rotor Hub and Blade</i> Bell 407. | 25 |
| Tabel 4.3 Perhitungan RPN..... | 27 |
| Tabel 4.4 Persen Kumulatif Mode Kegagalan | 29 |
| Tabel 4.5 Langkah Mitigasi Risiko | 30 |
| Tabel A.1 FMEA <i>Worksheet</i> | 35 |

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan manusia akan moda transportasi yang cepat dan aman semakin meningkat seiring dengan meningkatnya mobilitas manusia. Transportasi udara menjadi alternatif yang paling baik dalam menjawab kebutuhan tersebut. Terdapat banyak jenis transportasi udara yang dapat kita temui seperti pesawat, helikopter, dan balon udara. Tidak dapat dipungkiri bahwa transportasi udara saat ini sedang berkembang pesat yang dapat dilihat dengan munculnya UAV, *drone*, *glider*, dan lain lain. Bahkan saat ini telah berkembang menjadi hobi dan wisata. Namun hingga saat ini eksistensi pesawat dan helikopter masih belum dapat digantikan sebagai moda transportasi udara yang paling banyak digunakan.

Helikopter menjadi moda transportasi udara yang paling banyak digunakan setelah pesawat. Helikopter memiliki ciri khusus yaitu baling-baling yang digunakan untuk dapat terbang dan mendarat. Karena adanya baling-baling ini membuat helikopter memiliki keunggulan yaitu dapat terbang dan mendarat secara vertikal. Keunggulan ini membuat helikopter tidak membutuhkan landasan pacu yang panjang dan luas seperti yang digunakan pesawat. Hal ini menjadikan helikopter sangat fleksibel dan lebih mudah menjangkau lokasi-lokasi yang sulit dijangkau seperti kepulauan kecil dan terpencil, puncak gunung, *plant* lepas pantai, dan tempat-tempat terpencil lainnya.

Pada umumnya helikopter memiliki dua baling-baling yang digunakan dalam pengoperasiannya yaitu baling-baling utama atau *main rotor* dan baling-baling yang digunakan sebagai sistem anti torsi. Terdapat beberapa konfigurasi baling-baling atau *rotor* yang digunakan oleh helikopter. Konfigurasi yang paling umum digunakan adalah *single main rotor* dimana pada konfigurasi ini terdapat sebuah *main rotor* dan dibutuhkan sebuah sistem anti torsi berupa *tail rotor* untuk meng-*counter* momentum putar yang dihasilkan oleh *main rotor*. Beberapa contoh helikopter yang menggunakan konfigurasi ini adalah Airbus H130, Sikorsky S-92, dan Bell 407 yang menjadi objek penelitian ini. Selain konfigurasi *single main*

rotor, terdapat beberapa konfigurasi lainnya yang dapat digunakan pada model helikopter lain seperti konfigurasi *tandem rotor* atau *dual rotor* seperti yang digunakan pada helikopter tipe CH47 Chinook milik Boeing atau konfigurasi *coaxial* seperti yang digunakan helikopter tipe KAMOV Ka-50 Black Shark. Selain itu masih terdapat beberapa konfigurasi lainnya yang digunakan pada helikopter.

Bell Helikopter adalah salah satu produsen helikopter terbesar di dunia yang berasal dari Amerika. Salah satu produknya adalah Helikopter Bell 407. Untuk menjaga helikopter selalu dalam keadaan yang baik dan laik terbang, salah satu faktor yang penting untuk diperhatikan adalah perawatan (*maintenance*). Di dalam proses *maintenance* tidak terlepas dari risiko yang mungkin terjadi, salah satu cara yang dapat dilakukan adalah mencegah terjadinya risiko kegagalan adalah menggunakan manajemen risiko. Manajemen risiko merupakan proses yang ditujukan untuk mengidentifikasi, menganalisis, mengevaluasi, mengawasi, memantau dan memitigasi risiko yang ada pada suatu sistem (AS/NZS 4360, 2004). *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) merupakan salah satu metode mengevaluasi risiko pada sistem. FMEA dapat mengevaluasi dan menganalisis komponen pada sistem sehingga dapat meminimalkan risiko atau efek dari suatu tingkat kegagalan sebagai metode pendukung penilaian performansi pada suatu sistem (Imanuell, 2019). Peranan metode FMEA sendiri dapat digunakan untuk mengetahui risiko kecelakaan pada sistem (Sukwandi, 2017), risiko kegagalan produksi komponen (Hasbullah, 2017), risiko sistem rantai pasok (Liu, 2018), dan lain sebagainya. Pemetaan risiko dilakukan dengan menggunakan diagram Pareto dan ditentukan prioritas risiko yang perlu untuk dilakukan tindak pencegahan atau *preventive*. Dengan melakukan analisis Pareto dapat diketahui masalah yang sangat penting untuk diperbaiki terlebih dahulu. Analisis ini dilakukan dengan cara membuat peringkat masalah dari yang tertinggi sampai dengan terendah. Kemudian prosentase kumulatif di plot pada sumbu vertikal grafik (Devi, 2016). Berdasarkan hasil analisis dengan prinsip Pareto maka dapat ditentukan langkah mitigasi yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya kegagalan pada operasi sistem.

PT. Kalimasada Pusaka adalah perusahaan yang bergerak di bidang *maintenance, repair, and overhaul* untuk helikopter Bell di Indonesia. Berdiri sejak tahun 1989, PT. kalimasada Pusaka mendapatkan lisensi untuk menjadi distributor

sparepart resmi Bell serja sebagai *independent representative* yang artinya dapat menjual helikopter Bell secara mandiri. Hingga saat ini PT. Kalimasada Pusaka merupakan satu-satunya *customer service facility Bell Flight* resmi di Indonesia yang berlokasi di Lapangan Terbang Wiladatika Cibubur, Jakarta Timur. Sebagai satu-satunya *customer service facility Bell Flight* resmi di Indonesia, PT. Kalimasada Pusaka menjadi tempat terbaik bagi para pengguna helikopter Bell untuk melakukan perawatan terhadap helikopter yang dioperasikan. Hal ini menjadikan PT. Kalimasada Pusaka menjadi tempat terbaik yang dapat menunjang penelitian mengenai perawatan pada helikopter khususnya helikopter Bell 407.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

- a) Bagaimana potensi risiko yang dapat terjadi pada sistem *tail rotor hub and blade* helikopter Bell 407?
- b) Bagaimana analisis penilaian risiko pada sistem *tail rotor hub and blade* helikopter Bell 407 menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)?
- c) Bagaimana menentukan langkah mitigasi pada risiko yang berpotensi mengganggu fungsi pada operasional sistem *tail rotor hub and blade* helikopter Bell 407?

1.3 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

- a) Mengidentifikasi risiko yang berpotensi terjadi pada sistem *tail rotor hub and blade* helikopter Bell 407.
- b) Mengetahui hasil analisis penilaian risiko pada sistem *tail rotor hub and blade* helikopter Bell 407 menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA).

- c) Menentukan langkah mitigasi pada risiko yang berpotensi mengganggu fungsi pada operasional sistem *tail rotor hub and blade* helikopter Bell 407

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

- a) Analisa hanya difokuskan pada sistem *tail rotor hub and blade* pada helikopter Bell 407.
- b) Pengambilan data analisa dilakukan dengan studi kasus di PT. Kalimasada Pusaka selaku *Customer Service Facility* Bell Helikopter di Indonesia.
- c) Metode analisis yang digunakan adalah *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA).
- d) Tidak dilakukan analisa pada *engine* yang digunakan pada helikopter Bell 407 yaitu Rolls-Royce Model 250-C47E/4 *turboshaft engine*.

1.5 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan pada laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Pada Bab I ini terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika laporan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab II akan dibahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan, yaitu mengenai *overview plant* yang ditinjau, risiko, identifikasi risiko, *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), *Risk Priority Number* (RPN), dan diagram Pareto.

BAB III Metodologi

Bab III akan dibahas mengenai rancangan dari penelitian yang akan dilakukan, metode, dan langkah-langkah dalam penelitian.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Bab IV berisi tentang data hasil identifikasi mode kegagalan, evaluasi risiko dengan FMEA, pemetaan risiko dengan RPN dan diagram Pareto, dan penentuan tindakan pencegahan atau mitigasi.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Pada Bab V akan diberikan kesimpulan mengenai tugas akhir ini dan saran sebagai penunjang maupun pengembangan tugas akhir selanjutnya.

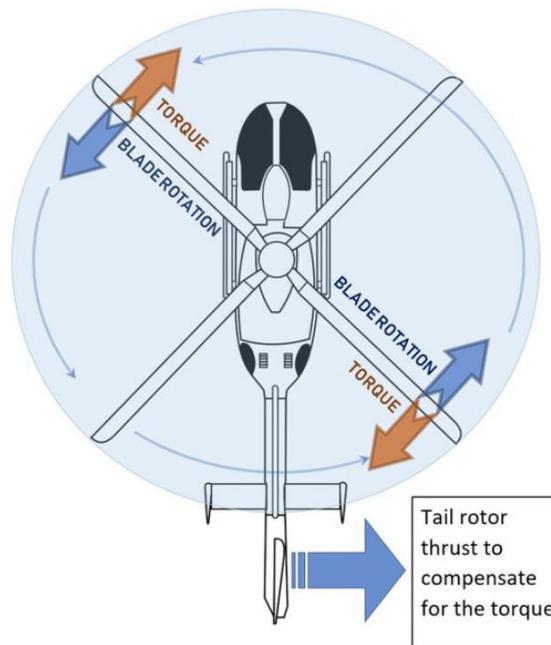
Halaman ini sengaja dikosongkan

2.2 *Tail Rotor System*

Tail rotor adalah rotor yang lebih kecil yang diposisikan secara vertikal atau hampir vertikal di bagian ekor helikopter. Rotor ini berputar untuk memberikan dorongan horizontal ke arah yang sama dengan rotor utama. Karena lokasi dan jaraknya dari pusat massa helikopter, *tail rotor* dapat memberikan daya dorong yang cukup untuk mengimbangi torsi reaksi yang dihasilkan pada badan pesawat oleh putaran rotor utama. Helikopter akan terus berputar ke arah yang berlawanan dengan rotor utama jika tidak memiliki *tail rotor* atau sistem anti torsi lainnya.

Tail rotor lebih sederhana daripada rotor utama karena hanya memerlukan perubahan kolektif dalam *pitch* untuk memvariasikan daya dorong. *Pitch* bilah rotor ekor dapat disesuaikan oleh pilot melalui pedal anti-torsi, yang juga memberikan kontrol arah dengan memungkinkan pilot memutar helikopter di sekitar sumbu vertikalnya. Sistem penggerakannya terdiri dari poros yang ditenagai dari transmisi utama dan *gearbox* yang dipasang di ujung *tail boom*. Poros penggerak dapat terdiri dari satu poros panjang atau serangkaian poros pendek yang dihubungkan di kedua ujungnya dengan kopling fleksibel, yang memungkinkan poros penggerak melentur dengan *tail boom*. Sekitar 10% tenaga mesin disalurkan ke *tail rotor* (Jackson, 2013).

Tail rotor dan sistem yang menyediakan daya dan kontrol untuk itu dianggap sangat penting untuk penerbangan yang aman. Seperti banyak suku cadang pada helikopter, *tail rotor*, transmisinya, dan banyak suku cadang dalam sistem penggerak sering kali memiliki masa pakai terbatas, artinya suku cadang tersebut harus diganti setelah sejumlah jam terbang tertentu, apa pun kondisinya. Oleh sebab itu penting untuk dilakukannya analisis risiko dan manajemen perawatan pada komponen *tail rotor hub and blade* karena perannya yang sangat penting dalam keselamatan penerbangan. Di antara penggantian, suku cadang harus sering diperiksa dengan menggunakan metode visual dan kimia seperti inspeksi penetran *fluoresen* untuk mendeteksi suku cadang yang lemah sebelum rusak sepenuhnya. *Tail rotor* berbahaya bagi kru darat yang bekerja di dekat helikopter yang sedang berjalan. Untuk alasan ini, *tail rotor* dicat dengan garis-garis warna bergantian untuk meningkatkan visibilitas mereka ke kru darat saat *tail rotor* berputar (Jackson, 2013).



Gambar 2.2 Efek anti-torsi dari *tail rotor* (Tarsi, 2021)

2.3 Risiko

Definisi risiko adalah suatu peristiwa atau kondisi yang tidak pasti, jika terjadi, memiliki efek positif atau negatif pada tujuan. Risiko seringkali dipandang memiliki makna yang negatif seperti kehilangan, bahaya, dan konsekuensi lainnya. Seperti yang diungkapkan (Frosdick, 1997). Padahal, risiko memiliki makna ganda yaitu risiko dengan efek positif yang disebut kesempatan atau *opportunity*, dan risiko yang membawa efek negatif yang disebut ancaman atau *threat*. Efek tersebut merupakan bentuk ketidak pastian yang seharusnya dipahami dan dikelola secara efektif oleh organisasi sebagai bagian dari strategi sehingga dapat menjadi nilai positif dan mendukung pencapaian tujuan organisasi. Oleh sebab itu dibutuhkan manajemen risiko kecelakaan yang baik agar kerugian dari risiko kecelakaan dapat dikurangi atau dihindari.

Kuantitatif risiko dapat dinyatakan sebagai hasil perkalian dari *likelihood* dan *consequences*. *Likelihood* merupakan penjelasan kualitatif mengenai probabilitas dan frekuensi, biasanya digunakan data historis untuk mengestimasi. Sedangkan *consequences* adalah akibat yang ditimbulkan dari terjadinya suatu *event* yang biasanya diekspresikan dengan kerugian. *Consequences* juga dapat diartikan

sebagai *range* dari kemungkinan hasil sebagai akibat terjadinya *event* (AS/NZS 4360, 2004).

Buku *Risk Assesment and Management Handbook: For Environmental, Health, and Safety Profesional*, membagi risiko menjadi 5 (lima) macam, antara lain:

1. Risiko Keselamatan (*Safety Risk*)

Risiko ini secara umum memiliki ciri-ciri antara lain probabilitas rendah (*low probability*), tingkat paparan yang tinggi (*high-level exposure*), tingkat konsekuensi kecelakaan yang tinggi (*high-consequence accident*), bersifat akut, dan menimbulkan efek secara langsung. Tindakan pengendalian yang harus dilakukan dalam respon tanggap darurat adalah dengan mengetahui penyebabnya secara jelas dan lebih fokus pada keselamatan manusia dan pencegahan timbulnya kerugian terutama pada area tempat kerja.

2. Risiko Kesehatan (*Health Risk*)

Risiko ini memiliki ciri-ciri antara lain memiliki probabilitas yang tinggi (*high probability*), tingkat paparan yang rendah (*low level exposure*), konsekuensi yang rendah (*low-consequence*), memiliki masa laten yang panjang (*long-latency*), *delayed effect* (efek tidak langsung terlihat) dan bersifat kronik. Hubungan sebab akibatnya tidak mudah ditentukan. Risiko ini fokus pada kesehatan manusia terutama yang berada di luar tempat kerja atau fasilitas.

3. Risiko Lingkungan dan Ekologi (*Environmental and Ecological Risk*)

Risiko ini memiliki ciri-ciri antara lain melibatkan interaksi yang beragam antara populasi dan komunitas ekosistem pada tingkat mikro maupun makro, ada ketidakpastian yang tinggi antara sebab dan akibat, risiko ini fokus pada habitat dan dampak ekosistem yang mungkin bisa bermanifestasi jauh dari sumber risiko.

4. Risiko Kesejahteraan Masyarakat (*Public Welfare/Goodwill Risk*)

Ciri dari risiko ini lebih berkaitan dengan persepsi kelompok atau umum tentang *performance* sebuah organisasi atau produk, nilai

property, estetika, dan penggunaan sumber daya yang terbatas. Fokusnya pada nilai-nilai yang terdapat dalam masyarakat dan persepsinya.

5. Risiko Keuangan (*Financial Risk*)

Ciri-ciri dari risiko ini antara lain memiliki risiko yang jangka panjang dan jangka pendek dari kerugian *property*, yang terkait dengan perhitungan asuransi, pengembalian investasi. Fokusnya diarahkan pada kemudahan pengoperasian dan aspek finansial. Risiko ini pada umumnya menjadi pertimbangan utama, khususnya bagi *stakeholder* seperti para pemilik perusahaan/pemegang saham dalam setiap pengambilan keputusan dan kebijakan organisasi, dimana setiap pertimbangan akan selalu berkaitan dengan finansial dan mengacu pada tingkat efektivitas dan efisiensi.

2.4 Identifikasi Risiko

Identifikasi risiko adalah suatu proses yang sifatnya berulang, sebab risiko–risiko baru kemungkinan baru diketahui ketika proyek sedang berlangsung selama siklus proyek. Frekuensi pengulangan dan siapa personel yang terlibat dalam setiap siklus akan sangat bervariasi dari satu kasus ke kasus yang lain. Identifikasi harus mencakup semua risiko, baik yang ada atau tidak dalam organisasi, tujuannya untuk menghasilkan daftar risiko yang komprehensif dari suatu peristiwa yang dapat memberikan pengaruh terhadap setiap struktur elemen (Pasaribu, 2004). Proses identifikasi yang biasa dilakukan dapat berupa (Diberandinis, 1999):

1. *Cheklis safety*

Cheklis safety biasa digunakan sebagai langkah awal atau tinjauan dari aspek keselamatan dalam suatu situasi. *Cheklis* dapat diterapkan setiap melakukan tinjauan. Dapat digunakan selama evaluasi setiap bagian peralatan.

2. *Job Safety Analysis (JSA)*

Job Safety Analysis (JSA) adalah sebuah teknik analisis bahaya yang digunakan untuk mengidentifikasi bahaya yang ada pada pekerjaan seseorang dan untuk mengembangkan pengendalian yang tepat untuk

mengurangi risiko. JSA umumnya tidak digunakan untuk melakukan peninjauan desain atau memahami bahaya dari suatu proses kompleks. JSA merupakan suatu analisis yang menghasilkan sebuah rekomendasi dari tinjauan proses *hazard* yang lebih detail. Hasil dari JSA ini harus dituliskan dalam bentuk formal yaitu berupa prosedur untuk setiap pekerjaan.

3. *What if*

What if merupakan teknik analisis dengan metode *brainstorming* untuk menentukan hal-hal apa saja yang mungkin salah dan risiko dari setiap situasi. Tujuan teknik ini adalah mengidentifikasi kemungkinan adanya kejadian yang tidak diinginkan dan menimbulkan suatu konsekuensi serius. Melalui teknik ini dapat dilakukan penilaian terhadap kemungkinan terjadinya penyimpangan rancang bangun, konstruksi atau modifikasi dari yang diinginkan.

4. *Hazard and Operability Analysis* (HAZOP)

Hazard and Operability Analysis (HAZOP) merupakan teknik identifikasi bahaya yang digunakan untuk industri proses seperti industri kimia, petrokimia dan kilang minyak. Metode ini sebaiknya dilakukan oleh orang yang tepat. Penilaian dilakukan dengan menggunakan kata-kata kunci. Teknik HAZOP merupakan sistem yang sangat terstruktur dan sistematis sehingga dapat menghasilkan kajian yang komprehensif. Kajian HAZOP juga bersifat multidisiplin sehingga hasil kajian akan lebih mendalam dan rinci karena telah ditinjau dari berbagai latar belakang, disiplin dan keahlian.

5. *Event Tree Analysis* (ETA)

Event Tree Analysis (ETA) menunjukkan dampak yang mungkin terjadi diawali dengan mengidentifikasi pemicu kejadian dan proses dalam setiap tahapan yang menimbulkan terjadinya kecelakaan. Sehingga dalam ETA perlu diketahui pemicu dari kejadian dan fungsi sistem keselamatan atau prosedur kegawatdaruratan yang tersedia untuk menentukan langkah perbaikan yang ditimbulkan oleh pemicu kejadian

6. *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) ditunjukkan untuk menilai potensi kegagalan dalam proses. Metode ini digunakan untuk manajemen risiko. FMEA adalah suatu tabulasi dari sistem, peralatan pabrik dan pola kegagalan serta efek terhadap operasi. FMEA adalah uraian mengenai bagaimana suatu peralatan dapat mengalami kegagalan. FMEA sangat bermanfaat untuk memberikan gambaran mengenai tingkat kerawanan dari suatu komponen atau sub sistem atau dapat membantu dalam menentukan skala prioritas dalam program pemeliharaan, penyediaan komponen dan pengoperasian suatu alat, menekan biaya operasi dan pemeliharaan fasilitas.

7. *Fault Tree Analysis (FTA)*

Fault Tree Analysis (FTA) menggunakan analisis yang bersifat deduktif. Dimulai dengan menetapkan kejadian yang dapat menimbulkan akibat dari kejadian puncak diidentifikasi dalam bentuk pohon logika kearah bawah. FTA merupakan metode yang dapat digunakan untuk mengetahui bagaimana suatu kecelakaan spesifik dapat terjadi.

2.5 *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan salah satu metode mengevaluasi risiko pada sistem. FMEA dapat mengevaluasi dan menganalisis komponen pada sistem sehingga dapat meminimalkan risiko atau efek dari suatu tingkat kegagalan sebagai metode pendukung penilaian performansi pada suatu sistem (Imanuell, 2019). *Failure mode* bertujuan untuk menentukan akar permasalahan dari kegagalan yang terjadi, sedangkan *failure effect* menjelaskan dampak yang diakibatkan apabila *failure mode* telah terjadi. Proses identifikasi terhadap fungsi, *failure mode*, dan *failure effect* sangat penting untuk dilakukan karena dapat menentukan perbaikan performansi suatu aset.

Penilaian risiko dengan metode FMEA dapat menggunakan skala nilai kualitatif dengan mengidentifikasi beberapa kriteria yang sudah ditentukan. Penilaian tersebut dapat mengoptimalkan rencana perawatan (Arabian-

Hoseynabadi, 2010). parameter yang ada pada FMEA, antara lain (Prihantoro, 2017):

1. Tingkat keparahan bahaya yang ditunjukkan pada *severity* (S) yaitu bagaimana keseriusan bahaya ketika sistem bekerja. Severity menganalisis risiko yaitu menghitung seberapa besar dampak/intensitas kejadian mempengaruhi output proses. Dampak tersebut dijabarkan mulai skala 1 sampai 10, di mana 10 merupakan dampak terburuk.
2. Frekuensi terjadi yang ditunjukkan pada *occurrence* (O) yaitu seberapa banyak kejadian gangguan pada komponen sehingga menyebabkan sistem terjadi kegagalan atau dapat disebut adanya peluang terjadinya munculnya gangguan.
3. Tingkat deteksi yang ditunjukkan pada *detection* (D) yaitu bagaimana kegagalan dapat diidentifikasi sebelum/tepat sebelum kejadian terjadi. Penilaian sangat subjektif dan tergantung pengalaman dari narasumber lapangan.

Skala yang digunakan untuk menentukan nilai dari *severity* (S), *occurrence* (O), dan *detection* (D) mengacu pada standar SAE—J 1739 dapat dilihat pada Tabel 2.1 (SAE, 2002).

Tabel 2.1 Skala nilai *severity* (S), *occurrence* (O), dan *detection* (D)

| <i>Severity (S)</i> | <i>Occurrence (O)</i> | <i>Detection (D)</i> | <i>Rating</i> |
|----------------------------------|---|-----------------------------|---------------|
| <i>Hazardous without warning</i> | <i>Very high failure is almost inevitable</i> | <i>Absolute uncertainty</i> | 10 |
| <i>Hazardous with warning</i> | <i>Very high failure is almost inevitable</i> | <i>Very remote</i> | 9 |
| <i>Very high</i> | <i>High repeated failures</i> | <i>Remote</i> | 8 |
| <i>High</i> | <i>High repeated failures</i> | <i>Very low</i> | 7 |
| <i>Moderate</i> | <i>Moderate occasional failures</i> | <i>Low</i> | 6 |
| <i>Low</i> | <i>Moderate occasional failures</i> | <i>Moderate</i> | 5 |

Tabel 2.1 Skala nilai *severity* (S), *occurrence* (O), dan *detection* (D)
(Lanjutan)

| <i>Severity (S)</i> | <i>Occurrence (O)</i> | <i>Detection (D)</i> | <i>Rating</i> |
|---------------------|-------------------------------------|------------------------|---------------|
| <i>Very low</i> | <i>Moderate occasional failures</i> | <i>Moderately high</i> | 4 |
| <i>Minor</i> | <i>Low relatively few failures</i> | <i>High</i> | 3 |
| <i>Very minor</i> | <i>Low relatively few failures</i> | <i>Very high</i> | 2 |
| <i>None</i> | <i>Remote failure is unlikely</i> | <i>Almost certain</i> | 1 |

2.6 Risk Priority Number (RPN)

RPN (*Risk Priority Number*) merupakan hasil gabungan dari tiga variabel yang meliputi *severity* (S), *occurrence* (O), dan *detection* (D) atau dapat menggunakan persamaan:

$$RPN = S \times O \times D \quad (2.1)$$

Dimana:

S = Tingkat keparahan (*severity*)

O = Frekuensi kejadian (*occurrence*)

D = Tingkat deteksi (*detection*)

Struktur umum parameter indeks resiko dan matriks RPN digunakan untuk pengumpulan data dari hasil dari penilaian (Balaraju, 2019). Penilaian RPN ditetapkan dengan skala kuantitatif dari hasil penafsiran skala kualitatif. RPN memberikan informasi untuk menentukan prioritas potensi kegagalan pada komponen.

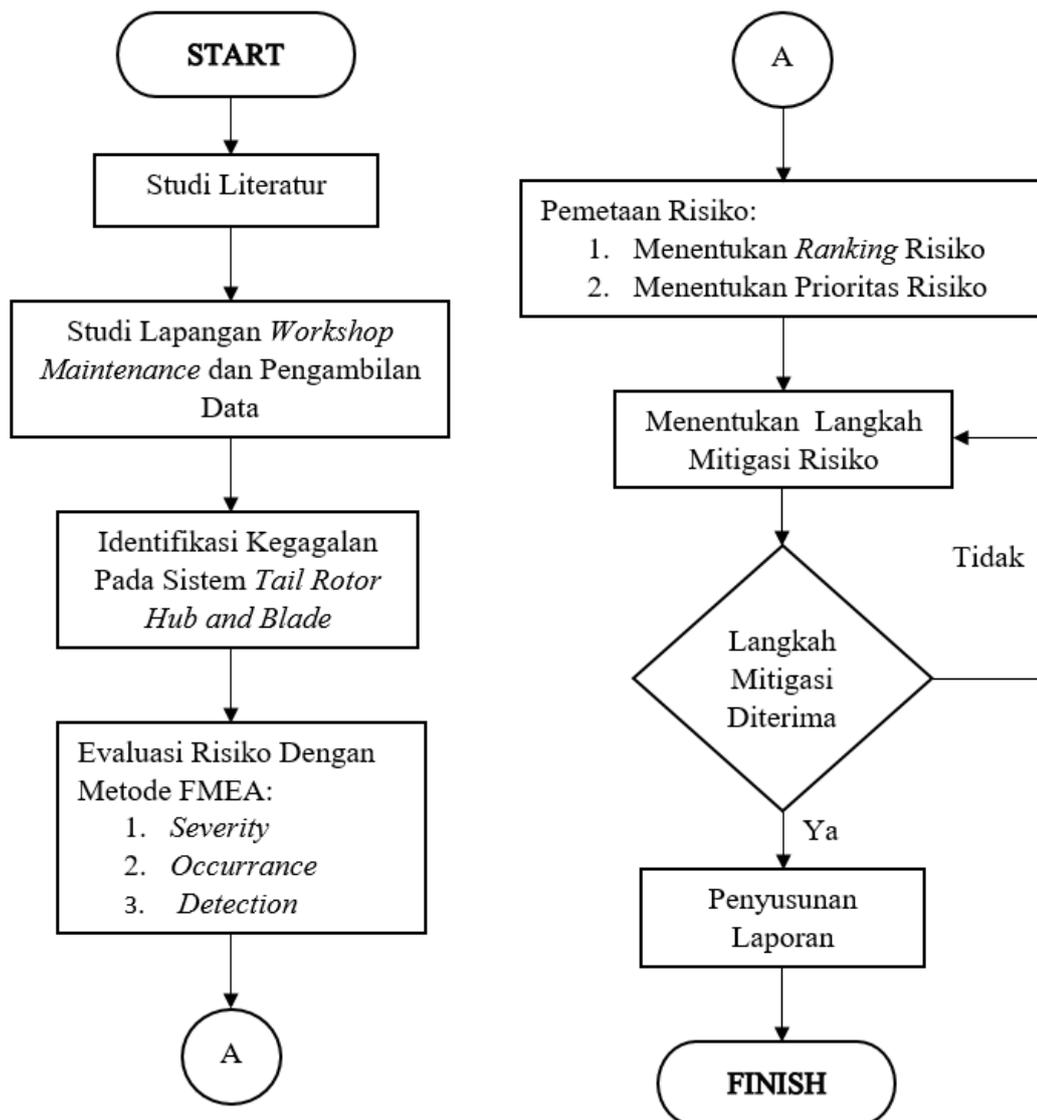
2.7 Diagram Pareto

Diagram Pareto adalah sebuah pendekatan logis dari tahap awal pada sebuah proses perbaikan suatu situasi yang digambarkan dalam bentuk histogram untuk mendapatkan penyebab utama yang dikenalkan oleh ahli ekonomi dari Italia bernama Vilfredo Frederigo Damaso Pareto pada tahun 1897. Prinsip ini diketahui banyak orang sebagai aturan 80/20 yang berarti bahwa sekitar 80% efeknya disebabkan oleh 20% dari penyebabnya (Utomo, 2020). Hal tersebut membantu untuk menemukan masalah yang harus segera diselesaikan ketika dilihat dari peringkat tertinggi sampai masalah yang tidak harus segera diselesaikan atau peringkat terendah (Ariani, 2004). Beberapa kegunaan diagram Pareto adalah sebagai berikut (Wingjoesobroto, 2006):

1. Menunjukkan persoalan utama yang dominan dan segera perlu diatasi.
2. Menyatakan perbandingan masing – masing persoalan yang ada dan kumulatif secara keseluruhan.
3. Menunjukkan tingkat perbaikan setelah tindakan koreksi dilakukan pada daerah yang terbatas.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Diagram alir pada tugas akhir dengan judul “Implementasi Manajemen Perawatan Pada Helikopter Menggunakan Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) Untuk Analisis Risiko” ini sebagaimana pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.1 Studi literatur

Studi literatur merupakan kegiatan yang dilakukan untuk menunjang keberhasilan penelitian yang akan dilakukan. Literatur yang digunakan antara

lain buku, jurnal, artikel ilmiah, dan penelitian sebelumnya mengenai *Safety*, Proteksi dan Pengamanan, Manajemen Risiko, dan FMEA.

3.2 Studi Lapangan dan Pengumpulan Data

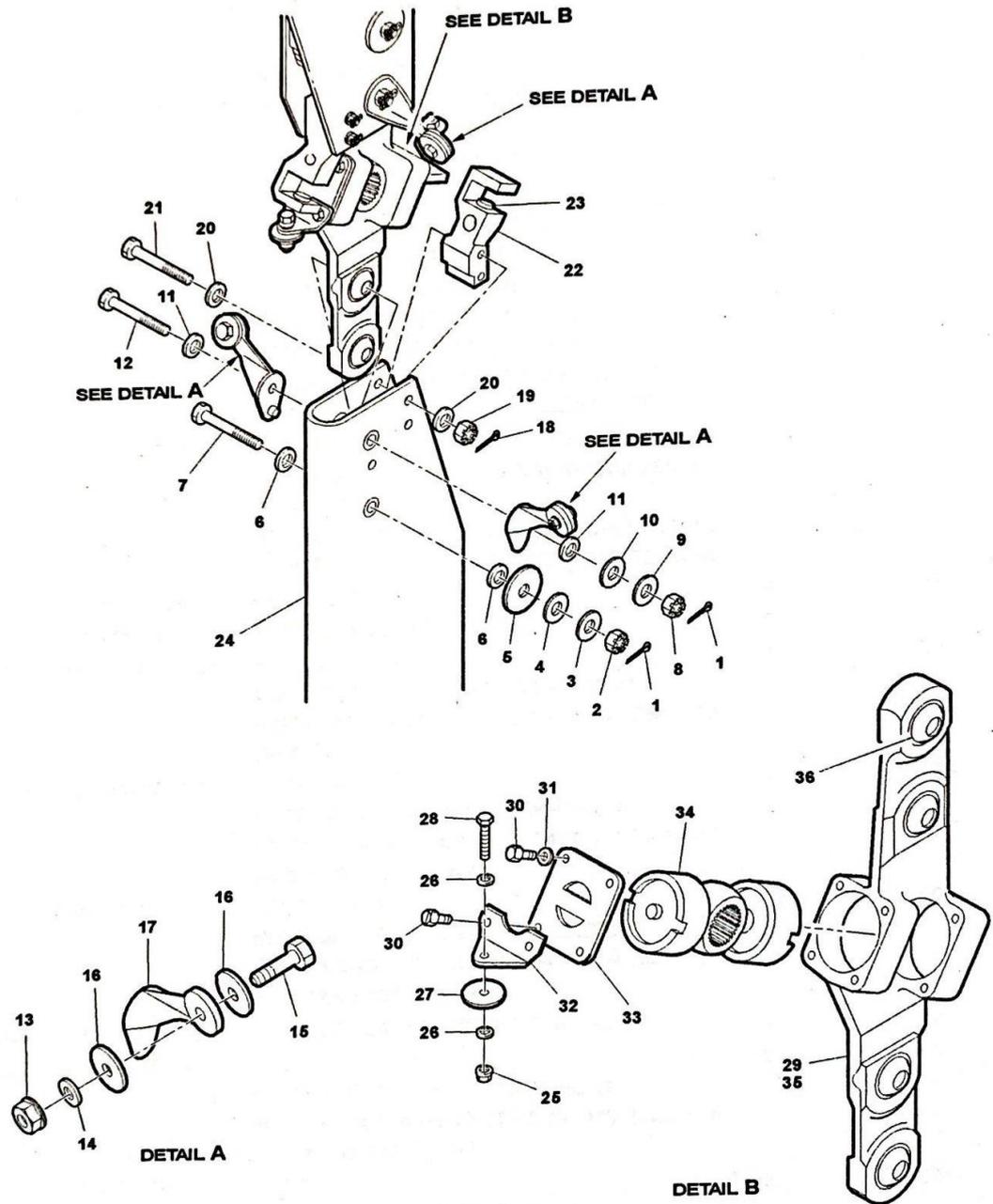
Studi lapangan dilakukan dengan pengamatan langsung pada proses *maintenance* sistem *tail rotor hub and blade* helikopter Bell 407. Selain itu dilakukan juga pengumpulan data yaitu *Maintenance Manual* Bell 407, *Alert Service Bulletin*, *Illustrated Part Breakdown* dari *tail rotor hub and blade system* pada helikopter Bell 407, dan juga pengambilan data wawancara dengan pihak terkait yaitu mekanik yang menangani proses *maintenance* untuk sistem *tail rotor hub and blade* di *dynamic workshop* PT. Kalimasada Pusaka selaku *Customer Service Facility* Bell Helikopter di Indonesia. Data *Maintenance Manual* dapat dilihat pada **Lampiran B *Maintenance Manual* Bell 407** dan *Alert Service Bulletin* dapat dilihat pada **Lampiran C *Alert Service Bulletin* No. 407-10-92**. Dari data tersebut, *plant* yang digunakan untuk pengolahan data selanjutnya adalah *tail rotor hub and blade system* dari helikopter Bell 407 dengan spesifikasi seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Parameter *Tail Rotor* Bell 407

| <i>Parameters</i> | <i>Value</i> |
|----------------------------|--------------|
| <i>Tail Rotor Diameter</i> | 1,65 m |
| <i>Number of Blades</i> | 2 |
| <i>Blade Chord</i> | 0,15 m |
| <i>Blade Twist (deg)</i> | -13 |
| <i>Rotor Speed</i> | 2500 rpm |
| <i>Rotor Vibration</i> | 0,2 IPS |

3.2.1 Ilustrasi Rincian Bagian Sistem *Tail Rotor Hub and Blade* Bell 407

Ilustrasi rincian bagian dari sistem *tail rotor hub and blade* pada helikopter Bell 407 sebagaimana pada Gambar 3.2 dengan penjabaran daftar komponen pada Tabel 3.2



407_IPB_64_0002_c01

Gambar 3.2 Ilustrasi Rincian Bagian Sistem *Tail Rotor Hub and Blade Bell* 407
 (Textron, Illustrated Parts Breakdown BHT-407-IPB, 2022)

Tabel 3.2 Daftar Komponen Sistem *Tail Rotor Hub and Blade* Bell 407

| <i>Item</i> | <i>Part Number</i> | <i>Part Name</i> |
|-------------|--------------------|------------------------|
| 1 | MS24665-285 | <i>Pin</i> |
| 2 | MS14144L6 | <i>Nut</i> |
| 3 | NAS1148F0663P | <i>Washer</i> |
| 4 | NAS1149F0632P | <i>Washer</i> |
| 5 | AN970-6 | <i>Washer</i> |
| 6 | 140-007-25-22C4 | <i>Washer</i> |
| 7 | NAS6606D38 | <i>Bolt</i> |
| 8 | MS14144L6 | <i>Nut</i> |
| 9 | NAS1149F0663P | <i>Washer</i> |
| 10 | NAS1149F0632P | <i>Washer</i> |
| 11 | 140-007-25-22C4 | <i>Washer</i> |
| 12 | NAS6606D39 | <i>Bolt</i> |
| 13 | NAS9926-5L | <i>Nut</i> |
| 14 | NAS1149C0532R | <i>Washer</i> |
| 15 | NAS6605-10 | <i>Bolt</i> |
| 16 | 212-010-710-113 | <i>Weight</i> |
| 17 | 206-011-750-103 | <i>Support</i> |
| 18 | MS24665-132 | <i>Pin</i> |
| 19 | MS14144L4 | <i>Nut</i> |
| 20 | NAS1149F0463P | <i>Washer</i> |
| 21 | NAS6204-29D | <i>Bolt</i> |
| 22 | 406-012-108-107 | <i>Pitch Horn Assy</i> |
| 23 | 407-012-108-101 | <i>Bushing</i> |
| 24 | 406-016-100-119 | <i>Blade Assy</i> |
| 25 | NAS9926-4L | <i>Nut</i> |
| 26 | NAS1149F0463P | <i>Washer</i> |
| 27 | AN970-4 | <i>Washer</i> |
| 28 | NAS6204-9 | <i>Bolt</i> |

Tabel 3.2 Daftar Komponen Sistem *Tail Rotor Hub and Blade* Bell 407
(Lanjutan)

| <i>Item</i> | <i>Part Number</i> | <i>Part Name</i> |
|-------------|--------------------|----------------------------|
| 29 | 407-012-101-113 | <i>Hub Assy</i> |
| 30 | NAS6204-1H | <i>Bolt</i> |
| 31 | NAS1149F0463P | <i>Washer</i> |
| 32 | 406-012-107-101 | <i>Support</i> |
| 33 | 427-012-106-101 | <i>Cap-Trunnion</i> |
| 34 | 407-312-100-101 | <i>Elastomeric Bearing</i> |
| 35 | 406-012-102-109 | <i>Yoke Assy</i> |
| 36 | 406-312-100-101 | <i>Spherical Bearing</i> |

Sistem *tail rotor hub and blade* dari helikopter Bell 407 memiliki jadwal inspeksi atau *scheduled maintenance* sebagai berikut (Textron, Bell Model 407 Maintenance Manual, 2021):

Tabel 3.3 Jadwal Inspeksi *Tail Rotor Hub and Blade* Bell 407

| <i>Component</i> | <i>Hours Operation Time</i> |
|---|-----------------------------|
| <i>Tail Rotor Flapping Bearing</i> | 25 |
| <i>Tail Rotor Spherical Bearing</i> | 25 |
| <i>Tail Rotor Blade</i> | 300 |
| <i>Tail Rotor Hub Assy</i> | 100 |
| <i>Tail Rotor Gearbox Torque Check</i> | 25 |
| <i>All Tail Rotor Driveshaft Disc Pack Couplings Torque Check</i> | 25 |
| <i>Tail Rotor Hub Mast Nut Torque Check</i> | 5 |

3.3 Identifikasi Kegagalan

Identifikasi kegagalan pada setiap komponen dari sistem *tail rotor hub and blade* pada helikopter Bell 407 dilakukan dengan wawancara kepada pakar yaitu mekanik yang menangani proses *maintenance* untuk sistem *tail rotor hub and blade* di *dynamic workshop* PT. Kalimasada Pusaka dengan mengacu pada pengalaman,

Maintenance Manual dari helikopter Bell 407, dan *Alert Service Bulletin* no.407-10-92 untuk *tail rotor hub and blade*. Kegagalan yang teridentifikasi selanjutnya dimasukkan ke dalam daftar mode kegagalan untuk analisis FMEA.

3.4 Evaluasi Risiko Dengan Metode FMEA

Evaluasi risiko pada tiap kegagalan pada proses *maintenace* menggunakan metode analisis FMEA dengan melakukan penentuan nilai *severity* (S), *occurance* (O), dan *detection* (D) berdasarkan tabel acuan. Penentuan nilai *severity* (S), *occurrence* (O), dan *detectability* (D) ditentukan oleh pakar dengan cara wawancara dan mengacu pada *Maintenance Manual* dari helikopter Bell 407, dan *Alert Service Bulletin* no.407-10-92 untuk *tail rotor hub and blade Blades*.

3.5 Pemetaan Risiko

Pemetaan tingkat risiko dilakukan dengan menentukan *ranking* risiko dan menentukan prioritas risiko melalui perhitungan nilai *Risk Priority Number* (RPN) dengan cara mengalikan nilai nilai *severity* (S), *occurrence* (O), dan *detectability* (D) sebagaimana pada Persamaan 2.1. Selanjutnya nilai RPN diurutkan dari nilai terbesar hingga terkecil untuk mengetahui mode kegagalan dengan prioritas tertinggi. Kemudian dari nilai RPN dibuat diagram pareto untuk menentukan prioritas kegagalan yang harus dilakukan tindak mitigasi sesuai dengan prinsip pareto.

3.6 Penentuan Langkah Mitigasi Risiko

Didapatkan prioritas mode kegagalan yang menyebabkan 80% permasalahan pada sistem berdasarkan hasil analisis RPN dan diagram pareto, maka ditentukan langkah mitigasi risiko untuk tiap mode kegagalan tersebut dengan mengacu pada *Maintenance Manual* dari helikopter Bell 407, dan *Alert Service Bulletin* no.407-10-92 untuk *tail rotor hub and blade Blades*.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Identifikasi Kegagalan

Penelitian kali ini dilakukan identifikasi mode kegagalan yang mungkin terjadi di setiap komponen pada sistem *tail rotor hub and blade* helikopter Bell 407. Pada sistem tersebut terdapat dua komponen besar utama yaitu *hub* dan *blade* serta lima komponen penunjang lainnya yang memungkinkan sistem *tail rotor hub and blade* dapat bekerja sesuai fungsinya. Proses identifikasi mode kegagalan pada setiap komponen sistem *tail rotor hub and blade* dilakukan dengan cara wawancara kepada para mekanik yang menangani proses *maintenance* untuk sistem *tail rotor hub and blade* di *dynamic workshop* PT. Kalimasada Pusaka dengan mengacu pada pengalaman, *Maintenance Manual* dari helikopter Bell 407, dan *Alert Service Bulletin* no.407-10-92 untuk *tail rotor hub and blade*. Dari proses identifikasi tersebut diperoleh 14 mode kegagalan dari tujuh komponen pada sistem *tail rotor hub and blade* helikopter Bell 407 dengan daftar mode kegagalan sebagaimana yang tertera pada Tabel 4.1.

Pada komponen *blade* terdapat tiga mode kegagalan yaitu *delamination*, *void*, dan *crack*. *Blade delamination* adalah terjadinya pemisahan antar lapisan pada komposit yang pada umumnya terjadi pada *trailing edge* dari *blade*. *Void* adalah terjadinya perubahan bentuk pada *airfoil* yang diakibatkan oleh adanya udara yang masuk ke dalam struktur *airfoil*. Sedangkan *Crack* adalah terjadinya retakan baik di permukaan maupun di dalam permukaan *airfoil*. Mode kegagalan yang mungkin terjadi pada komponen *hub* adalah *bearing play*. *Bearing play* adalah terjadinya pergerakan *bearing* yang tidak semestinya baik pada sumbu aksial ataupun radial. Pada komponen *flapping bearing* terdapat lima mode kegagalan yang mungkin terjadi yaitu *pitting*, *delamination*, *crumbling*, *extruding*, dan *sheeting*. *Pitting* pada *flapping bearing* adalah munculnya lubang atau lekukan pada *bearing*. *Delamitaion* pada *flapping bearing* adalah lepasnya perekat *bearing* ke *yoke* yang merupakan bagian dari *hub*. *Crumbling* adalah terpisahnya partikel-partikel kecil elastomer dari *bearing*. *Extruding* adalah munculnya lapisan karet yang lebih menonjol pada *bearing*, sedangkan *sheeting* adalah munculnya lapisan logam yang lebih menonjol

Tabel 4.1 Mode Kegagalan Pada Sistem *Tail Rotor Hub and Blade* Bell 407

| <i>Component</i> | <i>Function</i> | <i>Failure Mode</i> |
|--------------------------|--|---------------------------|
| <i>Blade</i> | Menciptakan anti torsi sebagai <i>counter</i> dari gaya yang dihasilkan oleh <i>main rotor</i> | <i>Blade delamination</i> |
| | | <i>Void</i> |
| | | <i>Crack</i> |
| <i>Hub</i> | Menghubungkan dua <i>blade</i> pada sistem | <i>Bearing play</i> |
| <i>Flapping Bearing</i> | Menggerakkan <i>blade</i> pada sumbu x (<i>Flapping</i>) | <i>Pitting</i> |
| | | <i>Delamination</i> |
| | | <i>Crumbling</i> |
| | | <i>Extruding</i> |
| | | <i>Sheeting</i> |
| <i>Spherical Bearing</i> | Menggerakkan <i>blade</i> pada sumbu y (<i>Feathering</i>) | <i>Bearing play</i> |
| | | <i>Over stake</i> |
| <i>Pitch Horn</i> | Mengubah sudut <i>blade</i> | <i>Bushing worn out</i> |
| <i>Bolt</i> | Menghubungkan <i>blade</i> dengan <i>hub</i> | <i>Pitting</i> |
| <i>Washer</i> | Mengikat dan mengunci <i>bolt</i> dengan <i>housing</i> | Korosi |

pada *bearing*. Pada komponen *spherical bearing* terdapat dua mode kegagalan yang mungkin terjadi yaitu *spherical bearing play* dan *over stake* dimana *over stake* adalah pemberian tekanan yang berlebihan saat pemasangan *bearing*. Pada komponen *pitch horn* mode kegagalan yang mungkin terjadi adalah *bushing worn out* yang berarti terjadi keausan pada *bushing*. Sedangkan pada komponen *bolt* mode kegagalan yang mungkin terjadi adalah *pitting* dan untuk komponen *washer* mode kegagalan yang mungkin terjadi adalah korosi.

4.2 Analisis Risiko

Dilakukan analisis risiko yang mungkin terjadi dari setiap mode kegagalan yang mungkin terjadi pada komponen dari sistem *tail rotor hub and blade* helikopter Bell 407. Analisis risiko dilakukan dengan menggunakan metode *failure mode and effect analysis* (FMEA) dimana untuk dapat melakukan analisis FMEA dilakukan wawancara kepada pakar yaitu teknisi yang menangani *maintenance* pada sistem *tail rotor hub and blade* helikopter Bell 407 berdasarkan pada pengalaman, *Maintenance Manual* Bell 407, dan *Alert Service Bulletin* (ASB) yang diterbitkan oleh Bell. Dari analisis risiko yang dilakukan didapatkan tabel FMEA sebagaimana pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Analisis Kegagalan Pada Sistem *Tail Rotor Hub and Blade* Bell 407

| <i>Component</i> | <i>Failure Mode</i> | <i>Failure Causes</i> | <i>Failure Effect</i> |
|-------------------------|---------------------------|---|--|
| <i>Blade</i> | <i>Blade Delamination</i> | <i>Bonded failure</i> | Terpisahnya lapisan komposit pada <i>trailing edge</i> |
| | <i>Void</i> | Adanya udara yang terjebak di dalam <i>blade</i> | Perubahan bentuk <i>airfoil</i> , <i>unbalance</i> , <i>over vibration</i> |
| | <i>Crack</i> | Benturan, <i>Foreign Object Debris</i> (FOD), vibrasi | Memungkinkan air masuk, <i>unbalance</i> |
| <i>Hub</i> | <i>Bearing play</i> | Pemakaian (Jam terbang) | <i>Over vibration</i> |
| <i>Flapping Bearing</i> | <i>Pitting</i> | <i>High corrosion, high compressive stress, metal to metal pounding</i> | <i>Surface breakdown</i> , munculnya lubang atau lekukan pada permukaan, <i>over vibration</i> |

Tabel 4.2 Analisis Kegagalan Pada Sistem *Tail Rotor Hub and Blade* Bell 407
(Lanjutan)

| <i>Component</i> | <i>Failure Mode</i> | <i>Failure Causes</i> | <i>Failure Effect</i> |
|--------------------------|-------------------------------|--|---|
| | <i>Delamination</i> | Perekat bearing ke <i>yoke</i> lepas | <i>Over vibration</i> |
| | <i>Crumbling</i> | Pemakaian (Jam terbang) | Partikel kecil elastomer terpisah dari bantalan, <i>over vibration</i> |
| | <i>Extruding</i> | <i>Overstress</i> | Lapisan karet pada elastomer menonjol dari bantalan |
| | <i>Sheeting</i> | <i>Overstress</i> | Lapisan logam pada elastomer menonjol dari bantalan |
| <i>Spherical Bearing</i> | <i>Spherical Bearing play</i> | Pemakaian (Jam terbang) | <i>Over vibration</i> |
| | <i>Over stake</i> | <i>Over Pressure</i> | Putusnya <i>bearing lip</i> , <i>bearing</i> lepas, helikopter <i>uncontrol</i> |
| <i>Pitch Horn</i> | <i>Bushing worn out</i> | <i>Not proper torque</i> pada <i>pitch link bolt</i> | <i>Over vibration</i> |
| <i>Bolt</i> | <i>Pitting</i> | High corrosion, high compressive stress, metal to metal pounding | <i>Surface breakdown</i> , munculnya lubang atau lekukan pada permukaan |
| <i>Washer</i> | Korosi | Kontak dengan udara, pengaplikasian <i>corrosion preventive compound</i> (CPC) kurang baik atau tidak merata | <i>Surface breakdown</i> |

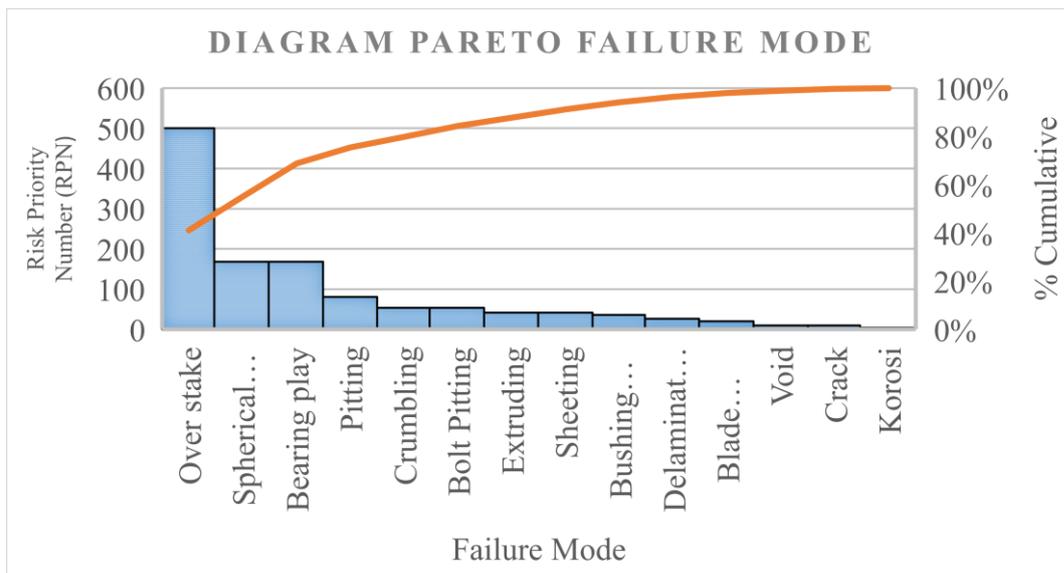
4.3 Perhitungan RPN dan Pemetaan Risiko

Perhitungan nilai *risk priority number* (RPN) dilakukan dengan mengalikan nilai *severity* (S), *occurrence* (O), dan *detectability* (D) dari setiap mode kegagalan. Nilai *severity* (S), *occurrence* (O), dan *detectability* (D) ditentukan oleh pakar dengan cara wawancara. Setelah dilakukan wawancara untuk menentukan nilai *severity* (S), *occurrence* (O), dan *detectability* (D) dengan mengacu pada Tabel 2.1. Selanjutnya nilai RPN diurutkan dari nilai tertinggi hingga nilai terendah untuk menentukan mode kegagalan yang menjadi prioritas. Dari proses perhitungan nilai RPN dan pemetaan risiko didapatkan prioritas kegagalan sebagaimana pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Perhitungan RPN

| <i>Failure Mode</i> | <i>Severity</i> (S) | <i>Occurrence</i> (O) | <i>Detectability</i> (D) | <i>Risk Priority Number</i> (RPN) |
|-------------------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| <i>Over stake</i> | 10 | 5 | 10 | 500 |
| <i>Spherical Bearing play</i> | 6 | 7 | 4 | 168 |
| <i>Bearing play</i> | 6 | 7 | 4 | 168 |
| <i>Pitting</i> | 9 | 9 | 1 | 81 |
| <i>Crumbling</i> | 6 | 9 | 1 | 54 |
| <i>Bolt Pitting</i> | 6 | 9 | 1 | 54 |
| <i>Extruding</i> | 7 | 6 | 1 | 42 |
| <i>Sheeting</i> | 7 | 6 | 1 | 42 |
| <i>Bushing worn out</i> | 6 | 6 | 1 | 36 |
| <i>Delamination</i> | 9 | 3 | 1 | 27 |
| <i>Blade Delamination</i> | 10 | 2 | 1 | 20 |
| <i>Void</i> | 10 | 1 | 1 | 10 |
| <i>Crack</i> | 10 | 1 | 1 | 10 |
| <i>Korosi</i> | 2 | 2 | 1 | 4 |

Didapatkan bahwa mode kegagalan dengan nilai RPN tertinggi adalah *over stake* dengan nilai RPN 500. Lalu selanjutnya diikuti oleh mode kegagalan *spherical bearing play* dan *bearing play* dengan nilai RPN yang sama yaitu 168. Berdasarkan nilai RPN kemudian dibuat diagram pareto untuk menentukan prioritas kegagalan yang harus ditangani dan dilakukan tindakan mitigasi agar kegagalan dapat dicegah. Berdasarkan Tabel. 4.3 didapatkan diagram pareto seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram Pareto Mode Kegagalan Sistem *Tail Rotor Hub and Blade* Bell 407

Menggunakan prinsip pareto maka ditentukan 20% mode kegagalan yang menyebabkan 80% permasalahan pada operasi sistem *tail rotor hub and blade* menjadi prioritas dan perlu untuk dilakukan tindak mitigasi. Berdasarkan diagram pareto pada Gambar 4.1 mode kegagalan yang menyumbangkan 80% permasalahan adalah *over stake*, *spherical bearing play*, *bearing play*, *pitting* dan *crumbling* pada *flapping bearing*. Tabel nilai % kumulatif untuk setiap mode kegagalan berdasarkan diagram pareto pada Gambar 4.1 tertera pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Persen Kumulatif Mode Kegagalan

| <i>Failure Mode</i> | <i>Risk Priority Number (RPN)</i> | <i>% Cumulative</i> |
|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| <i>Over stake</i> | 500 | 41% |
| <i>Spherical Bearing play</i> | 168 | 55% |
| <i>Bearing play</i> | 168 | 69% |
| <i>Pitting</i> | 81 | 76% |
| <i>Crumbling</i> | 54 | 80% |
| <i>Bolt Pitting</i> | 54 | 84% |
| <i>Extruding</i> | 42 | 88% |
| <i>Sheeting</i> | 42 | 91% |
| <i>Bushing worn out</i> | 36 | 94% |
| <i>Delamination</i> | 27 | 96% |
| <i>Blade Delamination</i> | 20 | 98% |
| <i>Void</i> | 10 | 99% |
| <i>Crack</i> | 10 | 100% |
| Korosi | 4 | 100% |

4.4 Penentuan Langkah Mitigasi Risiko

Penentuan langkah mitigasi diterapkan pada mode kegagalan yang menyumbang 80% permasalahan pada operasi sistem *tail rotor hub and blade* pada helikopter Bell 407 sebagaimana hasil analisis dengan nilai RPN dan diagram pareto. Terdapat lima mode kegagalan yang perlu diprioritaskan untuk dilakukan tindak mitigasi yaitu *over stake*, *spherical bearing play*, *bearing play*, *pitting* dan *crumbling*. Tindak mitigasi yang direkomendasikan dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Langkah Mitigasi Risiko

| <i>Failure Mode</i> | Langkah Mitigasi |
|-------------------------------|---|
| <i>Over stake</i> | Menggunakan <i>tools</i> dan <i>support</i> yang <i>proper</i> , memahami karakteristik <i>bearing</i> , mengikuti langkah yang telah ditetapkan pada <i>maintenance manual</i> . |
| <i>Spherical Bearing play</i> | <i>Daily check</i> dan pengecekan sesuai dengan <i>maintenance manual</i> , menghindari <i>overload</i> . |
| <i>Bearing play</i> | <i>Daily check</i> dan pengecekan sesuai dengan <i>maintenance manual</i> , menghindari <i>overload</i> . |
| <i>Pitting</i> | Pemberian <i>corrosion preventive compound</i> (CPC) secara berkala, dan pengecekan sesuai <i>maintenance manual</i> . |
| <i>Crumbling</i> | Pembersihan berkala, pemberian perlakuan pemeliharaan menggunakan cairan sesuai dengan aturan pada <i>maintenance manual</i> . |

Tindak mitigasi direkomendasikan berdasarkan wawancara dan didapatkan untuk *over stake* yang terjadi pada *spherical bearing* dimitigasi dengan cara menggunakan *tools* dan *support* yang *proper*, memahami karakteristik *bearing*, dan mengikuti langkah yang telah ditetapkan pada *maintenance manual*. *Spherical bearing play* dan *bearing play* dengan cara *daily check* dan pengecekan sesuai dengan *maintenance manual*, serta menghindari *overload*. *Pitting* dengan cara pemberian *corrosion preventive compound* (CPC) secara berkala yang dapat dilakukan pada pengecekan setiap setelah melakukan penerbangan dan pengecekan berkala setiap selesai melakukan penerbangan. Serta *crumbling* pada *flapping bearing* dengan cara pembersihan berkala yang dapat dilakukan pada pengecekan setiap setelah melakukan penerbangan dan pemberian perlakuan pemeliharaan menggunakan cairan sesuai dengan aturan pada *maintenance manual*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diberikan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- 14 mode kegagalan yang berpotensi terjadi pada sistem *tail rotor hub and blade* helikopter Bell 407 yaitu *delamination, void, crack, bearing play, pitting, blade delamination, crumbling, extruding, sheeting, spherical bearing play, over stake, bushing worn out, bolt pitting*, dan korosi.
- Hasil analisis risiko pada sistem *tail rotor hub and blade* helikopter Bell 407 menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) diperoleh nilai RPN untuk tiap mode kegagalan yaitu *over stake* dengan nilai 500, *spherical bearing play* dengan nilai 168, *bearing play* dengan nilai 168, *pitting* dengan nilai 81, *crumbling* dengan nilai 54, *bolt pitting* dengan nilai 54, *extruding* dengan nilai 42, *sheeting* dengan nilai 42, *bushing worn out* dengan nilai 36, *delamination* dengan nilai 27, *blade delamination* dengan nilai 20, *void* dengan nilai 10, *crack* dengan nilai 10, dan korosi dengan nilai 4.
- Menggunakan prinsip pareto maka didapatkan mode kegagalan yang menyebabkan 80% permasalahan pada operasi sistem *tail rotor hub and blade* helikopter Bell 407 yang menjadi prioritas dan perlu untuk dilakukan tindak mitigasi yaitu *over stake* dengan cara menggunakan *tools* dan *support* yang *proper*, memahami karakteristik *bearing*, dan mengikuti langkah yang telah ditetapkan pada *maintenance manual*. *Spherical bearing play* dan *bearing play* dengan cara *daily check*, dan pengecekan berkala sesuai dengan *maintenance manual*, serta menghindari *overload*. *Pitting* dengan cara pemberian *corrosion preventive compound* (CPC) secara berkala dan pengecekan berkala. Serta *crumbling* pada *flapping bearing* dengan cara pembersihan berkala dan pemberian perlakuan pemeliharaan menggunakan cairan sesuai dengan aturan pada *maintenance manual*.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- Dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya analisa mengenai penilaian keandalan secara kuantitatif dan perancangan manajemen perawatan pada sistem *tail rotor hub and blade* maupun sistem-sistem lain yang beroperasi pada helikopter.
- Dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya dengan menggunakan metode *Failure Mode, Effect, and Criticality Analysis (FMECA)*, *six sigma*, maupun metode pengembangan lainnya yang dapat diterapkan pada industri penerbangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anes, V. (2018). A new risk prioritization model for failure mode and effects analysis. *Quality and Reliability Engineering*.
- Arabian-Hoseynabadi, H. O. (2010). Failure Modes and Effect Analysis (FMEA) for Wind Turbines. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 817-824.
- Ariani, D. (2004). Pengendalian Kualitas Statistik (Pendekatan Kuantitatif Dalam Manajemen Kualitas).
- AS/NZS 4360, 4. (2004). Australian/New Zealand Risk Management. *Australian/New Zealand Standards 4360:2004*.
- Balaraju, J. R. (2019). Fuzzy-FMEA Risk Evaluation Approach for LHD Machine- A Case Study. *Journal of Sustainable Mining*, 257-268.
- Devi, R. S. (2016). Analisis Risiko Operasional PT. XYZ. *Tesis Magister Manajemen Teknologi*.
- Diberandinis, L. (1999). Handbook of Occupational Safety and Health 2nd Edition. *Environmental Health Services, Massachusetts Institute of Technology*.
- Frosdick, S. (1997). The Techniques of Risk Analysis Are Insufficient in Themselves. *Disaster Prevention Management An Int.*, 165-177.
- Hasbullah, H. K. (2017). Analisis Kegagalan Proses Insulasi Pada Produksi Automotive Dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) pada PT. JLC Sinergi.
- Imanuell, R. &. (2019). Analisa Perawatan Berbasis Keandalan Pada Sistem Bahan Bakar Mesin Utama KMP. Bontoharu. *Jurnal Sains Terapan*.
- Jackson, D. (2013). Flight Dynamics - Definitions & Algorithms at the Wayback Machine. *Unicopter*.
- Liu, Y. K. (2018). Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for the Security of Supply Chain System of the Gas Station in China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 325-330.
- Pasaribu, H. S. (2004). Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Untuk Mengidentifikasi Potensi dan Penyebab Kecelakaan Kerja Pada proyek

Gedung . *Program Magister Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta.*

Prihantoro, Y. L. (2017). Penilaian Risiko Pada Mesin Pendingin di Kapal Penangkap Ikan Dengan Pendekatan FMEA. *Jurnal Aihara*, 24-32.

SAE, S. (2002). SAE J 1739: Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA) and Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA) and Effects Analysis for Machinery (Machinery FMEA). *Warrendale, PA: SAE.*

Sukwandi, R. F. (2017). Pendekatan Fuzzy FMEA dalam Analisis Faktor Risiko Kecelakaan Kerja. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri.*

Tarsi, A. &. (2021). Lie-Group Modeling and Numerical Simulation of a Helicopter. *Mathematics*, 2682.

Textron, B. F. (2022). Bell 407 - Public Safety and Utility Helicopter Elevating Technology.

Textron, B. F. (2022). Illustrated Parts Breakdown BHT-407-IPB.

Utomo, A. (2020). Analisis Manajemen Risiko Pada Industri Traffic Light Dengan Pendekatan HOR (House of Risk) . *Tugas Akhir Teknik Industri.*

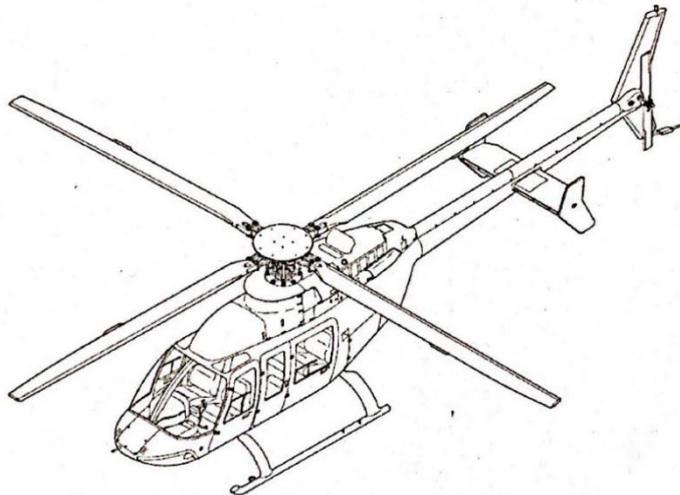
Wingjoesobroto, S. (2006). Pengantar Teknik dan Manajemen Industri.

LAMPIRAN

A. FMEA Worksheet

Tabel A.1 FMEA Worksheet

| FMEA Analysis Worksheet | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|--|---|--------------|----------------|-------------------|----------------------------|
| Component/Item | Failure Mode | Failure Causes | Failure Effect | Severity (S) | Occurrence (O) | Detectability (D) | Risk Priority Number (RPN) |
| Blade | Delamination | Bonded failure | Terpisahnya lapisan komposit pada trailing edge | 10 | 2 | 1 | 20 |
| | Void | Adanya udara yang terjebak di dalam blade | Perubahan bentuk airfoil, unbalance, over vibration | 10 | 1 | 1 | 10 |
| | Crack | Benturan, Foreign Object Debris (FOD), vibrasi | Memungkinkan air masuk, unbalance | 10 | 1 | 1 | 10 |
| Hub | Bearing play | Pemakaian (Jam terbang) | Over vibration | 6 | 7 | 4 | 168 |
| | Pitting | High corrosion, high compressive stress, metal to metal pounding | Surface breakdown, munculnya lubang atau lekukan pada permukaan, over vibration | 9 | 9 | 1 | 81 |
| Flapping Bearing | Delamination | Perekat bearing ke yoke lepas | Over vibration | 9 | 3 | 1 | 27 |
| | Crumbling | Pemakaian (Jam terbang) | Partikel kecil elastomer terpisah dari bantalan, over vibration | 6 | 9 | 1 | 54 |
| | Extruding | Overstress | Lapisan karet pada elastomer menonjol dari bantalan | 7 | 6 | 1 | 42 |
| | Sheeting | Overstress | Lapisan logam pada elastomer menonjol dari bantalan | 7 | 6 | 1 | 42 |
| Spherical Bearing | Bearing play | Pemakaian (Jam terbang) | Over vibration | 6 | 7 | 4 | 168 |
| | Over stake | Kesalahan pemasangan | Putusnya bearing lip, bearing lepas, helicopter uncontrol | 10 | 5 | 10 | 500 |
| Pitch Horn | Bushing worn out | Not proper torque pada pitch link bolt | Over vibration | 6 | 6 | 1 | 36 |
| Bolt | Pitting | High corrosion, high compressive stress, metal to metal pounding | Surface breakdown, munculnya lubang atau lekukan pada permukaan | 6 | 9 | 1 | 54 |
| Washer | Korosi | Pengaplikasian corrosion preventive compound (CPC) kurang baik atau tidak merata | Surface breakdown | 2 | 2 | 1 | 4 |

B. Maintenance Manual Bell 407**Bell**
MODEL **407****Maintenance Manual****PMC-407-97499-02000-00****Issue No. 003, 2021-10-26****Security: Export Classification C, ECCN EAR99****Destination control statement**

These commodities, technology, or software were exported from the United States in accordance with the Export Administration Regulations (EAR). Diversion contrary to U.S. law prohibited.

Notice

The instructions set forth in this manual, as supplemented or modified by Alert Service Bulletins (ASB) or other directions issued by Bell and Airworthiness Directives (AD) issued by the applicable regulatory agencies, shall be strictly followed.

Proprietary rights notice

These data are proprietary to Bell Helicopter, reproduction, or use of these data for any purposes other than helicopter operation and maintenance is forbidden without prior authorization from Bell

Copyright notice

Copyright © 2017 Bell and Bell Canada Ltd. All rights reserved

End of data module

Gambar B.1 *Cover Maintenance Manual Bell 407*

C. Alert Service Bulletin Tail Rotor Blade Bell 407

| ALERT SERVICE BULLETIN | | NO. 407-10-92 |
|---|--|-------------------|
| Bell Helicopter | | DATE APR 13, 2010 |
| A Textron Company | | PAGE 1 of 9 |
| DATE | Aug 31-2010 | |
| REV | B | |
| MODEL AFFECTED: | 407 | |
| SUBJECT: | TAIL ROTOR BLADES 406-016-100-119 AND 407-016-001-101, INSPECTION OF | |
| HELICOPTERS AFFECTED: | 407 Helicopters serial number 53000 through 53900 and 53911 through 54026. | |
| | [407 helicopters serial number 54027 and subsequent will have the intent of this Bulletin accomplished prior to delivery] | |
| COMPLIANCE: | <p>PART I. Within the next 50 flight hours or 30 days after receipt of the Bulletin whichever comes first and every 300 hours or Progressive Inspection event # 1 thereafter.</p> <p>PART II. Leak Check, as required.</p> <p>PART III. Blade Repair, as required.</p> | |
| DESCRIPTION: | <p>Bell Helicopter has received some reports of a significant increase in tail rotor vibration level recorded during scheduled tail rotor balance checks. It was found that the vibration increase was due to water entering one of the tail rotor blades. Subsequent investigation revealed bond line separation in the blade root end block at the trailing edge as well as delamination between the blade root end closure and either upper or lower blade skin. This situation, if not remedied, can degrade and result in severe vibration that may affect the tail rotor gearbox attachment integrity.</p> <p>This bulletin introduces tail rotor blade inspection particularly at the root end of the blade. In addition, specific maintenance procedures are provided should cracks or delamination be detected or excessive tail rotor vibrations are reported.</p> | |
| <small>AN APPROPRIATE ENTRY SHOULD BE MADE IN THE AIRCRAFT LOGBOOK UPON ACCOMPLISHMENT IF OWNERSHIP OF AIRCRAFT HAS CHANGED PLEASE FORWARD TO NEW OWNER</small> | | |

Gambar C.1 Alert ervice Bulletin Tail Rotor Blade Bell 407

D. Lembar Validasi Data



PT KALIMASADA PUSAKA

**LEMBAR VALIDASI DATA TUGAS AKHIR
PT KALIMASADA PUSAKA**

Dengan ini menyatakan bahwa data yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir di Divisi Produksi PT Kalimasada Pusaka;

Nama : Adnintya Rahminingsih
NRP : 0231184000088
Fakultas : Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Jurusan : Strata 1 Teknik Fisika
Judul Tugas Akhir : Implementasi Manajemen Perawatan Pada Helicopter Dengan Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Untuk Analisis Risiko

Merupakan data maintenance manual, illustrated part break down dan alert service bulletin yang bersumber dari divisi Produksi dan melalui wawancara kepada personil PT Kalimasada Pusaka.

Jakarta, 31 Mei 2022
PT Kalimasada Pusaka



Bustaman
HRGA Manager



PT KALIMASADA PUSAKA
Jalan Jambore Raya Blok B1 No. 13 Cibubur Ciracas Jakarta 13720, Indonesia
6221 84598585 | sales@kalimasadapusaka.com | www.kalimasadapusaka.com

Gambar D.1 Lembar Validasi Data PT. Kalimasada Pusaka

BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis adalah Adnintya Rahminingsih, lahir di Jakarta pada tanggal 2 April 2001. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Pada tahun 2012 penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar Islam Terpadu Al-Azhar, Jakarta. Pada tahun 2015 menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 41 Jakarta. Pada tahun 2018 menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMAN 34 Jakarta. Pada tahun yang sama penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Departemen Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis telah aktif dalam organisasi kemahasiswaan menjadi pengurus Himpunan Mahasiswa Departemen Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FTIRS) ITS serta sebagai asisten di Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengondisian Lingkungan. Konsentrasi tugas akhir yang didalami adalah bidang rekayasa instrumentasi dan kontrol. Pada bulan Juni 2022 penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Implementasi Manajemen Perawatan Pada Helikopter Menggunakan Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) Untuk Analisis Risiko. Apabila pembaca ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir, serta memberikan kritik dan saran maka dapat menghubungi penulis melalui email: adnintya.18023@mhs.its.ac.id.