

RANCANGAN ALAT PELEPAS *RETAINING BOLT KEYWASHER* SEBAGAI ALAT BANTU PELEPASAN GAS *GENERATOR TURBINE DISK* PADA MOTOR TURBIN PT6A-20A DI HANGAR 01 PROGRAM STUDI TEKNIK PESAWAT UDARA

Mario Mabilehi⁽¹⁾, Ego Widoro⁽²⁾, Zulina Kurniawati⁽³⁾

Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia

ABSTRAK: Tidak adanya alat bantu khusus melepas *retaining bolt keywasher* pada praktik motor turbin PT6A-20A mengakibatkan tidak dapat dilaksanakannya pelepasan *retaining bolt keywasher* sehingga perlu perancangan alat tersebut. Langkah awal untuk merancang alat pelepas *retaining bolt keywasher* sebagai alat bantu pelepasan *gas generator turbine disk* pada motor turbin PT6A-20A ini yaitu dengan mencari berat, dimensi, dan gaya pada bagian alat tersebut digunakan. Setelah itu dilanjutkan dengan proses perhitungan dan pengukuran sehingga dapat menentukan bentuk, dimensi dan material yang tepat untuk alat ini. Selanjutnya penulis mulai merancang alat yang sesuai dengan hasil perhitungan dan pengukuran yang telah didapatkan sebelumnya dengan menggunakan teori teori yang berhubungan dengan perancangan ini. Kemudian dilanjutkan dengan proses pembuatan alat yang sesuai dengan hasil rancangan yang telah dibuat. Alat selesai dibuat, dengan diameter alat pelepas sebesar 24,6 dan mempunyai tinggi 7,2 mm dan lebar 2,2 mm. Alat pelindung mempunyai diameter luar 38 mm dan diameter dalam 26 mm.. Dari hasil uji coba alat pelepas *retaining bolt keywasher* telah berhasil untuk melepas *retaining bolt keywasher* dengan momen sebesar 76.843,28 N-mm. Alat pelindung telah berhasil untuk melindungi poros dengan momen akibat gesekan sebesar 23.055 N-mm. Selanjutnya siap digunakan dalam praktik taruna untuk memenuhi silabus motor turbin karena tidak tersedianya alat pelindung lubang pada poros *gas generator turbine disk* dan alat pelepas *retaining bolt keywasher* pada *gas generator turbine disk* pada motor turbin PT6A-20A di Hangar 01 Program Studi Teknik Pesawat Udara.

Kata Kunci: Alat pelepas *Retaining Bolt Keywasher*; alat bantu khusus; Motor Turbin PT6A-20A

ABSTRACT : *Special tools for retaining bolt key-washer removal are not available, it cause retaining bolt key-washer cannot be removed at PT6A-20A engine practical, so that need to design these special tools. First step to design retaining bolt key-washer detachment tool as gas generator turbine disk aiding detacher tool for motor turbine PT6A-20A is to define weight, dimension, and force in which the tool is used. Then followed by the calculation and measuring process so that the shape, dimension and material for this tool can be determined. Next the writer start to design based on the available calculation and measurements by using theories related to this particular design. Then followed by the manufacturing of the tool based on the design being made. The tool is manufactured with 24,6 mm of detachment tool diameter and have 7,2 mm of high and 2,2 mm of thick. Protector tool have 38 mm outside diameter and 26 inner diameter. From the result of testing process, the retaining bolt keywasher detachment tool has successfully removed the retaining bolt keywasher with the moment 78.056,60 N-mm and the protector toll has succesfully to protect hole of gas generator turbine disk shaft with moment 23.416,05 N-mm. And is set to use on cadet's practice to fulfill motor turbine syllabus due to the unavailability of protective tool on the axle of gas generator turbine disk and retaining bolt key-washer detachment tool on gas generator turbine disk on motor turbine PT6A-20A in Hangar 01 Aircraft Engineering.*

Keyword: *Retaining Bolt Key-washer removal tools; special tools; PT6A-20A Engine*

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sebagai sumber gaya dorong pada pesawat, motor turbin merupakan salah satu mata pelajaran yang diberikan kepada Taruna di Program Studi Teknik Pesawat Udara (Prodi TPU). Salah satu jenis motor turbin yang dipelajari taruna di Prodi TPU adalah motor turbin PT6A-20A. Motor turbin PT6A-20A adalah sebuah motor turbin yang proses pembakarannya dilakukan secara internal dan menggunakan *free turbine* yang diproduksi oleh Pratt and Whitney Company di Kanada. Motor turbin PT6A-20A tersusun dari beberapa komponen utama yang terdiri dari *accessory gearbox*, *inlet screen*, kompresor aksial, kompresor sentrifugal, ruang pembakaran, *power turbine*, *reduction gearbox*, *propeller shaft*.

Proses pembelajaran motor turbin PT6A-20A bagi taruna di Prodi TPU yaitu melakukan kegiatan praktik sesuai dengan silabus yang telah ditebitkan oleh *Aircraft Maintenance Training Organisation* (AMTO). Salah satu silabus praktik motor turbin nomor ENG.02.04 yang terdapat pada lampiran 1 menyatakan pelepasan dan pemasangan *compressor*, *accessories gearbox*, *turbine*, *exhaust*, *accessories pipelines*. Silabus yang telah diterbitkan AMTO ini harus dilaksanakan sesuai dengan *Civil Aviation Safety Regulation* (CASR) part 147.31.

Berdasarkan pada silabus nomor ENG.02.04 Pelepasan *gas generator turbine disk* pada mesin PT6A-20A merupakan salah satu praktik yang harus dilakukan taruna di Prodi TPU. Salah satu langkah untuk melepas *gas generator turbine disk* adalah melepas *retaining bolt keywasher* pada *gas generator turbine disk* di motor turbin PT6A-20A. Namun praktik ini tidak dapat dilakukan karena tidak tersedianya alat pelindung lubang pada poros *gas generator turbine disk* dan alat pelepas *retaining bolt keywasher* pada *gas generator turbine disk* motor turbin PT6A-20A di Hangar 01 Prodi TPU.

Alat untuk melepas *retaining bolt keywasher* pada *gas generator turbine disk* di motor turbin PT6A-20A sangat penting untuk dibuat sehingga taruna di Prodi TPU dapat melakukan praktik sesuai dengan silabus yang

telah diterbitkan. Untuk itu perlu dilakukan perancangan alat tersebut.

B. Pembatasan Masalah

Dari beberapa identifikasi masalah di atas, maka dibatasi permasalahan yaitu cara merancang alat pelepas *retaining bolt keywasher* sebagai alat bantu pelepasan *gas generator turbine disk* pada motor turbin PT6-20A di Hangar 01 Program Studi Teknik Pesawat Udara.

C. Perumusan Masalah

Dari pembatasan masalah di atas dapat dirumuskan beberapa masalah yang timbul dalam rancangan alat ini :

1. Bagaimana menentukan perhitungan beban pada rancangan alat pelindung dan alat pelepas *retaining bolt keywasher*?
2. Bagaimana merancang alat pelepas *retaining bolt keywasher* agar dapat melepas *retaining bolt keywasher*?
3. Bagaimana merancang alat pelindung sehingga dapat melindungi poros *gas generator turbine disk* pada proses pelepasan *gas generator turbine disk*?

II. KERANGKA BERFIKIR DAN GAMBARAN KEADAAN

A. Kerangka Berfikir

Dalam perancangan alat pelindung dan alat pelepas *retaining bolt keywasher* pada *gas generator turbine disk* motor turbin PT6A-20A di Hangar 01 Teknik Pesawat Udara, Terlebih dahulu mengumpulkan data yang berhubungan dalam perancangan ini dari sumber-sumber yang ada baik dari *Maintenance Manual*, *Illustrated Parts Catalog*, buku, internet, dan melakukan konsultasi dengan pihak yang terlibat dalam perancangan. Kemudian mengidentifikasi, membatasi dan merumuskan masalah.

Dari data yang terkumpul akan digunakan untuk menghitung beban yang diterima dan menentukan konstruksi dari alat pelindung dan alat pelepas *retaining bolt keywasher*. Setelah beban telah didapat, dilanjutkan dengan pemilihan bahan yang kuat dan sesuai dengan perhitungan beban yang ditanggung oleh rancangan alat tersebut.

Setelah menentukan konstruksi, perhitungan beban dan jenis material yang akan digunakan

untuk alat pelindung dan alat pelepas *retaining bolt keywasher*. Selanjutnya adalah proses pembuatan alat dengan tepat samapi alat tersebut selesai dibuat.

Maka dapat dilanjutkan dengan proses pengujian alat untuk mengetahui apakah alat tersebut berfungsi dengan tepat. Jika alat tersebut tidak berfungsi dengan tepat, maka dapat dilakukan analisis kembali dari proses membuat konsep perancangan. Apabila alat tersebut bekerja dengan tepat maka dapat dilanjutkan langkah berikutnya yaitu proses pembuatan panduan penggunaan alat. Alat berhasil dibuat dan berguna dengan tepat. Selanjutnya alat siap digunakan dalam praktik taruna untuk memenuhi silabus motor turbin karena tidak tersedianya alat pelindung dan alat pelepas *retaining bolt keywasher* pada *gas generator turbine disk* motor turbin PT6A-20A di Hangar 01 Program Studi Teknik Pesawat Udara.

B. Gambaran Keadaan

1. Kondisi Saat Ini

Taruna Prodi TPU tidak dapat melakukan praktik pelepasan *gas generator turbine disk* pada motor turbin PT6A-20A di Hangar 01 Prodi TPU. Hal ini tidak dapat dilakukan karena tidak tersedianya alat pelepas *retaining bolt keywasher* dan alat pelindung pada poros *gas generator turbine disk*. Hal ini menyebabkan silabus praktik motor turbin nomor ENG.02.04 tentang pemasangan dan pelepasan turbin tidak dapat dilakukan.

2. Kondisi Yang Diinginkan

Perlu untuk membuat rancangan yang tepat sehingga *retaining bolt keywasher* dapat di lepaskan. Dengan merancang alat ini maka dapat melepas *retaining bolt keywasher* dengan tepat, sehingga taruna Program Studi Teknik Pesawat Udara dapat melakukan praktik pelepasan *gas generator turbine disk* pada motor turbin PT6A-20A di Hangar 01 Program Studi Teknik Pesawat Udara. Selain itu silabus praktik motor turbin nomor ENG.02.04 tentang pemasangan dan pelepasan turbin dapat dilakukan.

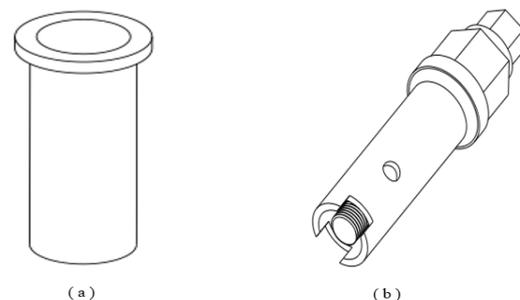
Perancangan alat pelepas *retaining bolt keywasher* dan alat pelindung pada poros *gas generator turbine disk* disesuaikan dengan panduan pada panduan perawatan sehingga tidak membahayakan apabila digunakan

dalam praktik motor turbin. Perancangan alat ini dibagi ke dalam dua bentuk rancangan yaitu rancangan alat pelindung sebagai pelindung lubang *gas generator turbine disk* dan alat pelepas *retaining bolt keywasher* untuk melepas *retaining bolt keywasher*. Rancangan ini terdiri dari empat bagian utama yaitu, Menghitung beban, menentukan material, merancang kontruksi alat dan menentukan sistem pengoperasian.

III. PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum Rancangan

Rancangan alat pelindung dan alat pelepas *retaining bolt keywasher* dibagi menjadi dua bagian yaitu alat pelindung dan alat pelepas *retaining bolt keywasher* yang ditunjukkan pada gambar 1 di bawah ini:



Gambar 1 Rancangan alat pelindung (a) dan Rancangan alat pelepas *retaining bolt keywasher* (b)

Rancangan alat pelindung berfungsi melindungi Bagian dalam dari lubang pada poros *gas generator turbine engine* pada proses pelepasan *retaining bolt keywasher*. Sedangkan alat pelepas *retaining bolt keywasher* berfungsi untuk melepas *retaining bolt keywasher*. Rancangan alat pelepas *retaining bolt keywasher* harus memiliki konstruksi yang sesuai dengan *retaining bolt keywasher* yang akan dilepas sehingga *retaining bolt keywasher* tersebut dapat dilepas. *Retaining bolt keywasher* tersebut dapat dilihat pada gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Pratt and Whitney *keywasher*

Dalam merancang alat ini dimulai dengan menganalisis kebutuhan alat berdasarkan pada perumusan masalah. Dari hasil analisis ini kemudian dibuat konsep rancangan tentang komponen-komponen yang dibutuhkan untuk rancangan alat ini.

Konsep rancangan yang telah dibuat akan dilanjutkan dengan perhitungan untuk memastikan konstruksi yang cocok untuk rancangan alat ini. Konstruksi alat yang telah ditentukan ini kemudian di rangkai sesuai dengan rancangan yang diinginkan. Setelah itu alat diuji untuk melepas *retaining bolt keywasher* dengan tepat dan mudah untuk digunakan.

B. Tahapan Perancangan

Pada tahapan perancangan ini, dibahas tentang perhitungan yang mendasari rancangan alat pelepas *retaining bolt keywasher* dan faktor-faktor yang mempengaruhi perancangan ini sesuai dengan landasan teori yang melandasi perancangan ini.

1. Menentukan perhitungan beban yang akan di terima alat pelepas *retaining bolt keywasher*

Dengan baja AMS 5510 yang mempunyai young modulus 193×10^3 MPA dan *yield strength* 241 MPA atau 241 N/mm². Maka perhitungan akan dimulai dengan:

a. Mengukur defleksi maksimum (y_{max}) yang terjadi pada *retaining bolt keywasher*.

Berdasarkan pengukuran didapatkan ukuran sebagai berikut:

- Tinggi *retaining bolt keywasher* yang mengalami defleksi adalah 5.9 mm.
- Diameter dalam dari *retaining bolt keywasher* adalah 24,7 mm.
- Diameter luar *retaining bolt keywasher* 25,9 mm.
- Tebal *retaining bolt keywasher* 0,64 mm.
- Defleksi maksimum (y_{max}) adalah 1,81 mm.

b. Menghitung momen bengkok yang membuat *retaining bolt keywasher* mengalami defleksi maksimum (y_{max})

Sebelum menghitung momen bengkok yang dapat membuat defleksi maksimum pada *retaining bolt keywasher* perlu untuk ditentukan momen inersia yang bekerja. Diketahui bahwa tebal plat *retaining bolt*

keywasher adalah 0,64 mm. Sedangkan tinggi dari plat adalah 5,9 mm, maka momen inersia pada *retaining bolt keywasher* adalah

$$I = \frac{b \times h^3}{12}$$

$$= \frac{0,64 \times 5,9^3}{12} = 10,95 \text{ mm}^4$$

Selanjutnya menghitung momen bengkok yang mampu membuat defleksi maksimum pada *retaining bolt keywasher* karena momen inersia telah diketahui.

Material yang digunakan pada *retaining bolt keywasher* adalah AMS 5510 maka dapat diketahui *young modulus* dari plat ini adalah 193×10^3 Mpa dan berdasarkan pengukuran didapatkan panjang plat adalah 9,9 mm, Maka dapat ditentukan momen bengkok yang mampu menyebabkan defleksi maksimum pada plat *retaining bolt keywasher*

$$y_{max} = \frac{M_B \times L^2}{2 \times E \times I}$$

$$M_B = \frac{y_{max} \times 2 \times E \times I}{L^2}$$

$$M_B = \frac{1,81 \times 2 \times 193 \times 10^3 \times 10,95}{9,9^2}$$

$$= \frac{7.650.327}{98,01}$$

$$M_B = 78.056,26 \text{ N} - \text{mm}$$

Jadi momen bengkok yang diperlukan untuk defleksi maksimum pada *retaining bolt keywasher* adalah 78.056,60 N-mm.

c. Menentukan tegangan yang terjadi pada *retaining bolt keywasher*.

Material dari *retaining bolt keywasher* adalah baja AMS 5510 yang memiliki *yield strength* 241 Mpa atau 241 N/mm². Sehingga untuk membuat *retaining bolt keywasher* dapat defleksi secara plastis harus dengan tegangan yang lebih besar dari pada *yield strength* material AMS 5510. Karena penampang *retaining bolt keywasher* berbentuk lingkaran sehingga dapat dicari modulus penampangnya

$$S = \frac{\Pi}{32} \times \left(\frac{d^4 - d_1^4}{d} \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{3,14}{32} \times \left(\frac{25,9^4 - 24,7^4}{25,9} \right) \\
 &= \frac{3,14}{32} \times 3.002,94 \\
 &= 294,66 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

Selanjutnya karena modulus penampangnya telah diketahui yaitu sebesar 294,66 mm, maka dapat ditentukan tegangan yang terjadi pada *retaining bolt keywasher*

$$\begin{aligned}
 S_b &= \frac{M}{S} \\
 &= \frac{78.056,60}{294,66} \\
 &= 264,90 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Jadi tegangan yang diterima adalah 264,90 N/mm² ini mampu untuk membuat defleksi maksimum pada *retaining bolt keywasher* karena lebih besar dari *yield strength* material yaitu 241 N/mm².

d. Menentukan gaya yang mampu membuat defleksi maksimum pada alat pelepas *retaining bolt keywasher*.

Panjang lengan yang dipakai adalah 435 mm yang dapat dilihat pada lampiran 18. Maka dapat dicari gaya yang diperlukan untuk membuat defleksi maksimum

$$\begin{aligned}
 M &= F \times D \\
 F &= \frac{M}{D} \\
 &= \frac{78.056,60}{435} = 179,44 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Karena alat pelepas *retaining bolt keywasher* bergesekan dengan *retaining bolt keywasher* pada proses pelepasannya. Maka gaya yang telah didapatkan perlu untuk ditambah dengan gaya gesek yang dihasilkan

$$\begin{aligned}
 f_{\text{tot}} &= (\mu_s \times P) + (\mu_k \times P) \\
 &= (0,7 \times 179,44) + (0,6 \times 179,44) \\
 &= 233,27 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Jadi total gaya yang diperlukan untuk membuat defleksi maksimum pada *retaining bolt keywasher* adalah 233,27 N.

2. Menentukan tegangan, dimensi dan kekuatan dari alat pelepas *retaining bolt keywasher*.

a. Menentukan tegangan yang diterima oleh alat pelepas *retaining bolt keywasher*.

Tegangan yang diterima dapat ditentukan bila mengetahui momen bengkok yang akan diterima dan modulus penampang dari alat pelepas *retaining bolt keywasher*. Diameter luar dari alat pelepas *retaining bolt keywasher* (d) adalah 24,6 dan diameter dalamnya (d₁) adalah 20,4 maka modulus penampang dapat ditentukan

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{\Pi}{32} \times \left(\frac{d^4 - d_1^4}{d} \right) \\
 &= \frac{3,14}{32} \times \left(\frac{24,6^4 - 20,4^4}{24,6} \right) \\
 &= 1021,32 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

Sehingga tegangan yang diterima alat dapat dihitung

$$\begin{aligned}
 S_b &= \frac{M}{S} \\
 &= \frac{78.056,60}{1021,32} \\
 &= 76,43 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Jadi tegangan yang diterima 76,43 N/mm² sesuai karena lebih kecil dari pada tegangan yang diizinkan yaitu sebesar 85,75 N/mm²

b. Menentukan tegangan yang diizinkan oleh material alat pelepas *retaining bolt keywasher*.

Material yang di gunakan pada poros adalah baja S45C yang mempunyai *yield strength* 343 dan faktor keamanan 4 maka tegangan yang diizinkan adalah

$$\begin{aligned}
 \text{Factor of safety} &= \frac{\text{yield point stress}}{\text{Working or design stress}} \\
 \text{Working or design stress} (\sigma_a) &= \frac{\text{yield point stress}}{\text{Factor of safety}} \\
 &= \frac{343}{4} = 85,75 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Jadi tegangan yang diizinkan material S45C ini adalah 85,75 N/mm².

c. Menentukan diameter poros yang mampu menahan momen bengkok.

Material yang di gunakan pada poros alat pelepas *retaining bolt keywasher* ini adalah

baja S45C yang mempunyai tegangan yang diizinkan 85,75 N/mm². Poros dalam rancangan ini merupakan poros dengan beban lentur murni sebesar 78.056,60 N-mm, maka dapat ditentukan diameter minimal yang diperlukan

$$d_s = \left(\frac{10,2}{\sigma_a} \times M \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= \left(\frac{10,2}{85,75} \times 78.056,60 \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= (9284,87)^{\frac{1}{3}} = 21,02 \text{ mm}$$

Jadi diameter poros terpenuhi karena penyusun memilih ukuran diameter poros dengan ukuran 24,6 mm yang lebih besar dari diameter minimal yang diizinkan yaitu 20,91 mm dan untuk panjang poros mengikuti kedalaman pada lubang poros *gas generator turbine disk*.

Menghitung momen yang diizinkan poros dengan diameter 24,6 mm

$$d_s = \left(\frac{10,2}{\sigma_a} \times M \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$24,6 = \left(\frac{10,2}{85,75} \times M \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$24,6^3 = \frac{10,2}{85,75} \times M$$

$$M = \frac{14.886,936 \times 85,75}{10,2}$$

$$M = 125.152 \text{ N} - \text{mm}$$

Total momen yang diizinkan oleh poros adalah 125.152 N-mm. Hal ini membuktikan bahwa poros mampu menahan momen yang diterima sebesar 78.056,60 N-mm.

d. Menentukan dimensi coakan dan momen bengkok yang dapat diterima alat pelepas *keywasher*.

Material yang digunakan oleh alat pelepas *retaining bolt keywasher* adalah S45C yang spesifikasinya dapat dilihat pada lampiran 4. Maka diketahui *young modulus* dari material rancangan alat adalah 210×10^3 Mpa atau 210×10^3 N/mm². Lebar plat yang saling bersentuhan adalah 0,64 mm sehingga dapat diasumsikan bahwa lebar alat adalah 0,64 mm

dan panjang menyesuaikan pada *retaining bolt keywasher* yaitu 9,9 mm, maka dapat dihitung tinggi minimum yang dibutuhkan untuk membuat defleksi pada *retaining bolt keywasher*

$$y_{\max} = \frac{M_B \times L^2}{2 \times E \times I}$$

$$M_B = \frac{2 \times E \times I}{L \times y_{\max}^2}$$

$$M_B = \frac{2 \times E \times \frac{b \times h^3}{12}}{L^2 \times y_{\max}}$$

$$h^3 = \frac{M_B \times L^2 \times y_{\max} \times 12}{2 \times E \times b}$$

$$h^3 = \frac{78.056,60 \times 9,9^2 \times 1 \times 12}{2 \times 210.000 \times 0,64}$$

$$h^3 = 341,53$$

$$h = \sqrt[3]{341,53} = 6,99$$

Tinggi coakan alat pelepas *retaining bolt keywasher* yang dipilih penyusun adalah 7,2 mm ini mampu untuk membuat defleksi pada *retaining bolt keywasher* karena tinggi minimalnya adalah 6,95 mm.

Tinggi alat pelepas *retaining bolt keywasher* telah didapatkan maka tebal minimum yang diperlukan adalah:

$$y_{\max} = \frac{M_B \times L^2}{2 \times E \times I}$$

$$M_B = \frac{2 \times E \times I}{y_{\max} L^2}$$

$$M_B = \frac{2 \times E \times \frac{b \times h^3}{12}}{y_{\max} L^2}$$

$$b = \frac{M_B \times L^2 \times 12 \times 1}{2 \times E \times h^3}$$

$$b = \frac{78.056,60 \times 9,9^2 \times 12}{2 \times 210 \times 10^3 \times 7,2^3}$$

$$b = 0,59 \text{ mm}$$

Lebar alat pelepas *retaining bolt keywasher* yang dipilih penyusun adalah 2,2 mm ini mampu untuk membuat defleksi pada

retaining bolt keywasher karena lebar minimalnya adalah 0,58 mm.

Setelah mendapatkan tebal dan tinggi dari coakan yang dipakai maka Selanjutnya dapat dihitung momen bengkok yang dapat izinkan oleh alat pelepas *retaining bolt keywasher*

$$y_{\max} = \frac{M_B \times L^2}{2 \times E \times I}$$

$$M_B = \frac{2 \times E \times I}{L^2 \times y_{\max}}$$

$$M_B = \frac{2 \times E \times \left(\frac{b \times h^3}{12} \right)}{L^2 \times y_{\max}}$$

$$M_B = \frac{2 \times 210.000 \times \left(\frac{2,2 \times 7,2^3}{12} \right)}{9,9^2 \times 1}$$

$$M_B = \frac{28.740.096}{98,01}$$

$$M_B = 293.236,336N - mm$$

jadi alat pelepas *retaining bolt keywasher* dapat melepas *retaining bolt keywasher* karena memiliki momen bengkok yang lebih besar yaitu 293.236,336N – mm dari momen untuk membuat defleksi maksimum pada *retaining bolt keywasher* yaitu 76.843,28 N-mm.

e. Merancang ulir pengikat

Dalam perancangan ini batang poros akan mengikat lubang berulir pada kepala *retaining bolt* pada proses pelepasan *retaining bolt keywasher*. Berdasarkan pada perhitungan beban yang telah dibahas sebelumnya, batang poros akan menerima gaya sebesar 233,27 N.

1) Faktor koreksi (f_c)

Nilai faktor koreksi yang digunakan dalam perancangan ini adalah 1,2 karena nilai ini adalah faktor koreksi yang diperlukan untuk daya rata-rata yang digunakan.

2) Beban Rencana (W_a)

Untuk menghitung beban rencana dapat menggunakan persamaan (10) :

$$W_a = f_c \times W$$

$$W_a = 1,2 \times 233,27$$

$$W_a = 279,92 N$$

3) Kekuatan Tarik Bahan

Bahan yang digunakan adalah S45C memiliki tegangan tarik sebesar 343 N/mm², maka dapat ditentukan tegangan yang di izinkan yang sudah dibahas sebelumnya sebesar 85,75 N/mm²

4) Faktor Keamanan (f_s)

Pada perancangan ini faktor kewanaman yang digunakan adalah 4, karena material yang digunakan merupakan jenis baja. Beban yang diizinkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1):

$$\text{Maximum Stress} = \text{Factor Safety} \times \text{Design Stress}$$

$$\text{Maximum Stress} = 4 \times 279,92$$

$$\text{Maximum Stress} = 1119,68 N$$

5) Tegangan geser yang diizinkan

Menentukan tegangan geser yang diizinkan

$$\tau_a = ,5 \times 85,75$$

$$\tau_a = 0,5 \times 85,75 N/mm^2$$

$$\tau_a = 42,88 N/mm^2$$

6) Menentukan Diameter Inti (d_i)

Diameter inti (d_i) yang diperlukan untuk membuat alat pelepas ini menyesuaikan dengan diameter kepala *retaining bolt* yaitu sebesar 9 mm sehingga kekuatan beban yang dapat diterima diameter inti ulir

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4 \times W}{\Pi \times \sigma_a \times 0,64}}$$

$$d_1 \times \Pi \times \sigma_a \times 0,64 \geq 4 \times W$$

$$9 \times 3,14 \times 85,75 \times 0,64 \geq 4 \times 1119,68$$

$$9 \times 3,14 \times 85,75 \times 0,64 \geq 4 \times W$$

$$13958,1792 \geq 4 \times W$$

$$W \leq \frac{13958,1792}{4}$$

$$W \leq 3849,54 N$$

Hasil perhitungan yang didapatkan ini mampu untuk menahan beban sebesar 3849,54 N. Hal ini membuat ulir mampu menahan beban yang diterima karena beban yang diterima lebih kecil yaitu sebesar 1119,68 N.

Ukuran standar ulir kasar metris (JIS B 0205), penulis memilih ulir M 9 dengan diameter inti (d_i) 9 mm. Maka dapat ditentukan jarak bagi ulir (p) = 1,25 mm, tinggi kaitan (H_1) = 0,677

mm, , diameter luar (d) = 7,647 mm dan diameter efektif (d_2) = 8,188 mm.

7) Bahan Batang Berulir Dalam

Pada perancangan ini batang berulir dalam terbuat dari baja S45C dengan tegangan tarik material yang diizinkan (σ_a) 85,75 N/mm².

8) Menghitung Jumlah Keseluruhan Ulir (z)

Penulis menentukan panjang batang yang dijadikan ulir sepanjang 12,6 mm, karena penulis telah menentukan panjang dari rancangan batang berulir dalam adalah 12,6 mm. Maka Untuk menghitung jumlah keseluruhan ulir (z)

$$z = \frac{H}{P}$$

$$z = \frac{12,6}{2}$$

$$z = 6,3$$

9) Tegangan geser pada ulir luar (τ_b) dan tegangan geser pada ulir dalam (τ_n)

Tegangan geser pada ulir luar (τ_b) dan tegangan geser pada ulir dalam (τ_n) harus lebih rendah dari tegangan geser yang diizinkan (τ_a). Ketetapan harga $k \approx 0,84$ dan $j \approx 0,75$.

10) Menghitung tegangan geser pada ulir luar (τ_b) menggunakan persamaan (14):

$$\tau_b = \frac{w}{\pi d_1 k p z} \leq \tau_a$$

$$\tau_b = \frac{1119,68}{3,14 \times 7,647 \times 0,84 \times 1,25 \times 4} \leq 42,88 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_b = \frac{1119,68}{100,85} \leq 42,88 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_b = 11,10 \text{ N/mm}^2 \leq 42,88 \text{ N/mm}^2$$

11) Menghitung tegangan geser pada ulir dalam (τ_n)

$$\tau_n = \frac{w}{\pi D j p z} \leq \tau_a$$

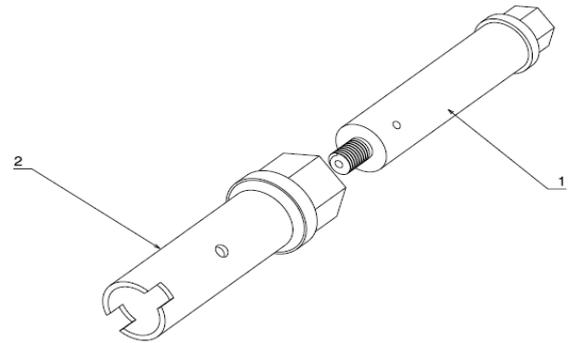
$$\tau_n = \frac{1119,68}{3,14 \times 9 \times 0,75 \times 1,25 \times 4} \leq 42,88 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_n = \frac{1119,68}{105,98} \leq 42,88 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_n = 10,57 \text{ N/mm}^2 \leq 42,88 \text{ N/mm}^2$$

Dari hasil perhitungan tegangan geser pada ulir, nilai tegangan geser pada ulir luar dan ulir dalam dapat diterima karena memiliki nilai tegangan geser yang lebih rendah dari tegangan geser yang diizinkan.

Rancangan alat pelepas *retaining bolt key washer* dapat dilihat pada gambar 3



Gambar 3 Rancangan alat pelepas *retaining bolt key washer* (b)

3. Merancang alat pelindung.

a. Menentukan beban yang diterima

Alat pelindung yang akan di rancang berfungsi untuk melindungi bagian lubang dari poros pada *gas generator turbine disk* sehingga beban yang akan diterima adalah besar gaya gesek dari momen yang dihasilkan alat pelepas *retaining bolt key washer*. Seperti yang telah dibahas pada pembahasan sebelumnya, maka besar gaya gesek yang bekerja adalah $233,27 - 179,44 = 53,83$ N. Selanjutnya mencari momen bengkok yang diterima

$$M = F \times D$$

$$M = 53,83 \times 435$$

$$M = 23.416,05 \text{ N-mm}$$

Jadi momen yang diterima oleh alat pelindung adalah sebesar 23.416,05 N-mm

b. Menentukan tegangan yang diterima kepala dari alat penghubung.

Diameter dalam dari kepala alat penghubung yang menjadi penampang untuk gaya gesek yang diterima adalah adalah 26 mm dan diameter luar adalah 38 mm karena menyesuaikan dengan diameter dari lubang pada poros *gas generator turbine disk* dan diameter dari alat pelepas *retaining bolt key washer*. Sehingga dapat ditentukan modulus penampangnya

$$S = \frac{\Pi}{32} \times \left(\frac{d^4 - d_1^4}{d} \right)$$

$$= \frac{3,14}{32} \times \left(\frac{38^4 - 26^4}{38} \right)$$

$$= 4992,6 \text{ mm}^3$$

Modulus penampang yang didapat adalah 4993,6 mm. Sehingga tegangan yang diterima alat pelindung adalah

$$S_b = \frac{M}{S}$$

$$= \frac{23.416,05}{4993,6}$$

$$= 4,69 \text{ N/mm}^2$$

Jadi tegangan yang terjadi pada alat pelindung adalah 4,69 N/mm².

c. Menentukan tegangan izin material

Material yang digunakan untuk pembuatan alat pelindung adalah *nylon 66*, dengan *yield streng* 90 Mpa atau 90 N/mm²

$$Factor\ of\ safety = \frac{yield\ point\ stress}{Working\ or\ design\ stress}$$

$$Working\ or\ design\ stress (\sigma_a) = \frac{yield\ point\ stress}{Factor\ of\ safety}$$

$$= \frac{90}{6} = 15 \text{ N/mm}^2$$

Jadi dapat diketahui tegangan yang diizinkan material Nylon 66 ini adalah 15 N/mm². Hal ini membuat alat pelindung mampu melindungi lubang pada poros *gas generator turbine disk* karena menerima tegangan yang lebih kecil yaitu sebesar 4,69 N/mm².

d. Menentukan momen maksimum yang dapat diterima kepala alat pelindung

$$S_b = \frac{M}{S}$$

$$22,5 = \frac{M}{4995,6}$$

$$M = 15 \times 4993,6$$

$$= 74.904 \text{ N-mm}$$

Jadi momen yang yang diizinkan alat pelindung adalah 74.904 N-mm ini mampu menerima beban yang ada karena beban yang diterima adalah 23.416,5 N-mm.

C. Uji Coba Rancangan

Setelah tahapan perancangan selesai dilakukan maka dilanjutkan dengan proses uji coba rancangan untuk memastikan bahwa rancangan tersebut dapat beroperasi sesuai dengan fungsi yang diharapkan. Alat pelepas *retaining bolt keywasher* dan alat pelindung

yang dirancang diuji dengan cara melepas *retaining bolt keywasher* pada motor turbin PT6A-20A

1. Hasil pengujian alat pelindung

Pengujian dilakukan dengan cara memasukan alat pelindung kedalam lubang pada poros *gas generator turbine disk* berhasil masuk dengan tepat sesuai keinginan. Kemudian alat pelindung diberikan beban dengan cara memasukan alat pelepas *retaining bolt keywasher* kedalam alat penghubung untuk membuka *retaining bolt keywasher* sehingga alat penghubung menerima beban akibat gesekan dari alat pelepas dan alat pelindung mampu untuk menerima beban dan berhasil untuk melindungi lubang pada poros *gas generator turbine disk* sesuai dengan fungsinya.

2. Hasil pengujian alat pelepas retaining bolt keywasher

Pengujian dilakukan dengan cara memasukan alat pelepas kedalam alat pelindung yang terpasang pada lubang poros *gas generator turbine disk*.

Kemudian bagian ulir pengikat dari alat pelepas *retaining bolt keywasher* dimasukan kedalam kepala *retaining bolt* yang berulir sebagai pengunci agar alat tidak bergerak kekiri atau kekanan waktu diberikan beban.

Ketika melepas *retaining bolt keywasher*, alat pelepas *retaining bolt keywasher* akan mendapatkan momen bengkok hasil dari reaksi terhadap momen yang diberikan alat untuk membengkokkan *retaining bolt keywasher* dan alat pelepas *retaining bolt keywasher* ini mampu untuk membuka *retaining bolt keywasher* sehingga mampu untuk menanggung beban yang ada dan ulir pengikat juga dapat menanggung beban yang ada sehingga *retaining bolt keywasher* dapat dibuka dengan tepat dengan cara diputar menggunakan lengan pemutar mampu untuk melepas *keywasher retaining bolt* dengan tepat sesuai dengan yang diinginkan.

D. Interpretasi Hasil Uji Coba

Uji coba pada rancangan ini dikatakan berhasil, karena *retaining bolt keywasher* dapat terlepas tanpa merusak bagian dari motor turbin dan dapat dilanjutkan untuk melepas *gas generator turbine disk*.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Besar momen yang diterima alat pelepas *retaining bolt keywasher* adalah besarnya momen yang dibutuhkan untuk membuat defleksi maksimum pada *retaining bolt keywasher* yaitu sebesar 76.843,28 N-mm dan alat pelindung akan menerima momen karena gesekan alat pelepas sebesar 23.055 N-mm.
2. Alat pelepas *retaining bolt keywasher* dibuat dengan menyesuaikan konstruksi dari *retaining bolt keywasher* dengan diameter poros 24,6 mm, tinggi coakan 7,2 mm, lebar coakan 2,2 mm dan menggunakan material S45C yang mempunyai tegangan yang diizinkan sebesar 85,75 N/mm² mampu menerima momen bengkok sebesar 293.236 ,36 N-mm. Sehingga pada uji coba yang telah dilakukan, alat pelepas *retaining bolt keywasher* mampu melepas *retaining bolt keywasher* dengan momen sebesar 78.056,60 N-mm.
3. Alat pelindung yang dirancang menyesuaikan diameter lubang pada poros *gas generator turbine disk* dan diameter dari alat pelepas *retaining bolt keywasher* sehingga memiliki diameter dalam sebesar 26 mm dan diameter luar kepala yang mendapat momen akibat gesekan sebesar 38 mm. Alat pelindung ini mampu menahan momen akibat gesekan dari alat pelepas *retaining bolt keywasher* sampai dengan 74,904 N-mm. Sehingga pada waktu uji coba yang telah dilakukan, alat pelindung mampu menahan beban yang dihasilkan oleh gesekan alat pelepas *retaining bolt keywasher* sebesar 23.416,05 N-mm. Hal ini membuktikan bahwa alat pelindung mampu untuk melindungi lubang pada poros *gas generator turbine disk*.

B. Saran

1. Rancangan alat akan lebih baik lagi jika menggunakan material yang lebih kuat dan tahan korosi sehingga dapat mempertahankan kualitas dari rancangan alat yang telah dibuat.
2. Akan lebih baik jika kedepannya para taruna membuat lengan pemutar pada alat pelepas *retaining bolt keywasher* sehingga penggunaan alat ini bisa lebih maksimal.
3. Alat pelindung dapat digabungkan dengan alat pelepas *retaining bolt keywasher*

sehingga tidak perlu menggunakan dua alat yang berbeda dalam praktek taruna di waktu yang akan datang.

DAFTAR PUSTAKA

1. *Air Service Training (Engineering) Limited, B02 PHYSICS*
2. A.S Corder, Teknik Manajemen Pemeliharaan
3. Boy Isma Putra,Alfan Hidayat Jaka Purnama , Elemen mesin untuk Teknik Industri, Yogyakarta, Graha Ilmu, 2008.
4. Civil Aviation Safety Regulations (CASR) (2006).: Part 01. *Definition and Abrivations*, Jakarta, DGCA.
5. Dale Crane, *Aviation Maintainance Technician Series – Powerplant*, Washington: Aviation Supplies & Academycs.
6. FAA-H-8083-32 (2012). *Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant* Vol-1,U.S. Department of Transportation
7. Khurmi, R., S. (1995). *Machine Design*. New Delhi : S. Eurasia Publishing House LTD.
8. *Maintenanc Manual Turboprop Gas Turbine Engine Model(s) PT6A-6A series and PT6A-20 series*.
9. Mott, R., L. (2009). Elemen-elemen Mesin dalam Perancangan Mekanis Perancangan Elemen Mesin Terpadu. Jilid 1. Indonesia (Yogyakarta) : Penerbit Andi.
- 10.Sularso & Kiyokatsu Suga. (2002), *Dasar Pencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- 11.Tata Surdia, &. Shinroku (1999) , *Pengetahuan Bahan Teknik*, Jakarta, Pradnya Paramita,
- 12.V B Bhandari. 2010. *Design of Machine Elements*. New Delhi:Tata
- 13.Zainuri, A. (2008). *Kekuatan Bahan*. Indonesia (Yogyakarta) : Penerbit Andi
- 14.[https://en.m.Wikipedia.org/3iki/washerwasher \(hardware\)](https://en.m.wikipedia.org/3iki/washerwasher (hardware))
- 15.<http://sains2day.blogspot.co.id/2014/09/sifat-bahan-pemanfaatannya-dlm.html>
- 16.chaparalparts.aero/30009022-cup-washer-PWC-PT6A-p/3009022.htm
- 17.www.aksteel.com