

# ANALISIS KEGAGALAN NOSE WHEEL STEERING SYSTEM PADA PESAWAT BOEING DENGAN MENGGUNAKAN METODE FAILURE MODE AND EFFECT ANALISYS

Dwi Anggawaty<sup>1</sup>, Sri Mulyani<sup>2</sup>, Fajar Khanif R<sup>3</sup>

<sup>123</sup>Teknik Dirgantara, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto, Yogyakarta  
dwianggawaty@gmail.com, srimulyani042@gmail.com, fajar.khanif@gmail.com

## Abstract

*Aircraft use nose wheel steering system when landing, take off and landing. In the research discusses the problem of nose wheel steering system B737 – 800 to minimize problems in nose wheel steering system. The stage of this research are to study the work system of nose wheel steering. Then look for the cause of the problem using the FMEA analysis method. This research is based on data from AFML (aircraft Flight and Manual Log) of the B737 – 800 Aircraft from January 2020 to Junu 2021 at Lion Airline. The results showed that the problem of nose wheel steering system in the failure mode analysis process using FMEA method data in the highest RPN ( Risk priority Number) value is 175 with the case steering collar dan torQ link need lubrication and case Tire pressure that caused by the lack of lubrication on the component and different pressure in tire. Then it is necessary to do inspection before flight.*

*Keywords : FMEA, Nose Wheel Steering, failure*

## 1. Pendahuluan

Secara umum pesawat terbang terdiri dari 5 grup atau bagian utama yaitu *fuselage*, sayap, *empenage*, *landing gear* dan *power plant*. *Landing gear* merupakan bagian penting dari sebuah pesawat terbang yang berfungsi untuk menopang pesawat ketika berada di darat. *Landing gear* menopang pesawat ketika *landing* ( mendarat ), *take off* (lepas landas), *parking*, *taxiing* (bergerak didarat).

Salah satu sistem penunjang *landing gear* yaitu *nose wheel steering*, sistem ini biasanya dikendalikan oleh *hidraulik actuator* yang dikontrol oleh *rudder pedal* ketika pesawat berada di *ground* (darat) saat *high speed* dan hanya mampu berbelok 7° ke kiri atau ke kanan dari *center*. atau oleh *steering mechanism* yang terpisah.

*Steering input* yang berasal dari *steering wheel* atau *rudder pedals* menuju ke *metering valve* sepanjang *cable loop*. *Steering metering valve* menyuplai tekanan ke arah kanan atau kiri pada *steering actuators*.

*Nose Wheel steering system* ketika dikontrol melalui *Nose wheels* dapat berbelok maksimum 78° ke arah kanan atau kiri dan Ketika *Nose wheel* dioperasikan oleh *rudder pedal* dapat bergerak maksimum 7° ke arah kanan atau kiri.

Komponen dari *Nose Wheels Steering System* pada *Flight compartment* terdiri dari *Alternate Nose Wheel Steering Switch*, *2 Steering Wheel*, *Control Cables*, *Rudder Pedal*, sedangkan pada *Nose Landing Gear* terdiri dari *Control Cable*, *Rudder Pedal Steering Mechanism*, *Rudder Pedal Steering Rotary Actuator*, *Summing Mechanism*, *Steering Metering Valve Module*, *2 Steering Actuator*, *Nose Wheel Steering Collar*, *Towing Shutoff Valve*.

*Nose wheel steering system* akan membuat pesawat lebih leluasa dalam melakukan pergerakan selama didarat. karena begitu pentingnya sistem ini pada pesawat, maka diharapkan tidak ada kegagalan yang terjadi pada sistem ini. Maka dari itu dalam jurnal ini dilakukan analisis kegagalan dari *landing gear steering sistem* untuk mengetahui apa yang menyebabkan kegagalan terjadi dan bagaimana mengatasi kegagalan dari sistem ini.

## 2. Metode Penelitian.

Proses penelitian yang dilakukan dengan pengambilan data dari dokumen AFML (*Aircraft Flight and Maintenance Log*) yaitu data kerusakan yang terjadi pada nose wheel steering system. Dari data tersebut diolah dengan menggunakan metode *failure mode and effect analysis* (FMEA), dalam penilaian FMEA terdapat indikator *severity*, *occurrence*, dan *detection* dimana masing – masing indikator memiliki rentang nilai 1 – 10 . metode FMEA dapat dilihat pada gambar 1.

Gambar 1. FMEA worksheet  
 Sumber: SAE J – 1739, 1995

- Setelah dilakukan penilaian, maka analisa dengan merujuk pada AFML (*Aircraft Flight and Maintenance Log*) pesawat Boeing 737-800
- Menetapkan hasil dari analisa yang dilakukan dari penyebab kegagalan pada *nose wheel steering system*.

Data yang digunakan yaitu data kerusakan pada *nose wheel steering system* pada pesawat boeing 737-800 berdasarkan data AFML periode januari 2020 – juni 2021. Berdasarkan data kerusakan terdapat 3 penyebab utama kerusakan pada *nose wheel steering system* , yaitu *nose wheel tendency steer to the left/right*, *nose wheel gear vibrate*, *rudder pedal do not steer straight*. Data yang diperoleh adalah sebagaimana pada tabel 1.

Tabel 1. Masalah yang terjadi pada pesawat boeing 737 - 800

No.	Masalah yang terjadi pada pesawat Boeing 737 - 800	Jumlah
1.	<i>Nose Wheel tendency steer to the left/right</i>	8
2.	<i>Nose Wheel Gear Vibrate</i>	1
3.	<i>Rudder pedal Do not steer straight</i>	1

Sumber : AFML (*Aircraft Flight and Manual Log*) bulan Januari 2020 – 2021

Data yang diperoleh selanjutnya dilakukan pengolahan data dengan menggunakan metode FMEA dengan tahap – tahap sebagai berikut:

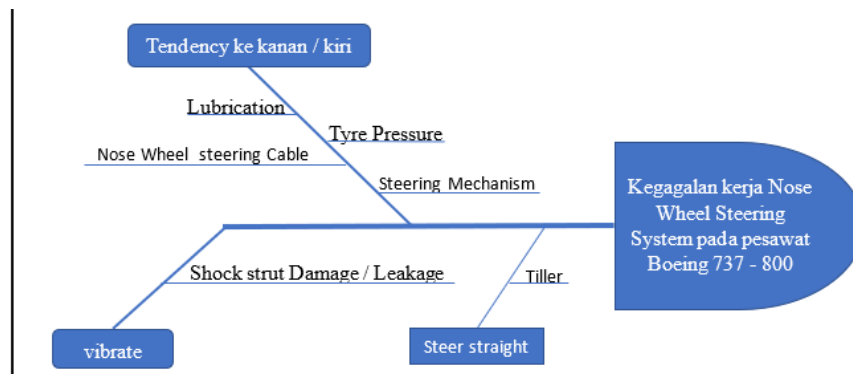
- Mengidentifikasi Tujuan FMEA  
 Tujuan FMEA diungkapkan dalam bentuk kegagalan komponen yang akan dianalisis.

- b. Mengidentifikasi penyebab kegagalan  
Penyebab kegagalan dari komponen diperoleh dari data AFML periode januari 2020 – juni 2021.
- c. Risk Assesment  
Kegagalan dari komponen di berikan rangking 1 – 10 dengan indikator severity, occurrence, dan detection, sehingga dapat diketahui tingkat kerusakan dari komponen.
- d. Menghitung RPN  
RPN dapat dihitung setelah setelah kegagalan dinilai kedalam indikatro *severity*, *occurance* dan *detection*.
- e. Assesing Risk  
Penilaian seberapa besar pengaruh dari kegagalan *Nose Wheel Steering System* terhadap kinerja dari system

### 3. Hasil dan Analisis

- a. Penyebab kegagalan pada nose wheel steering system

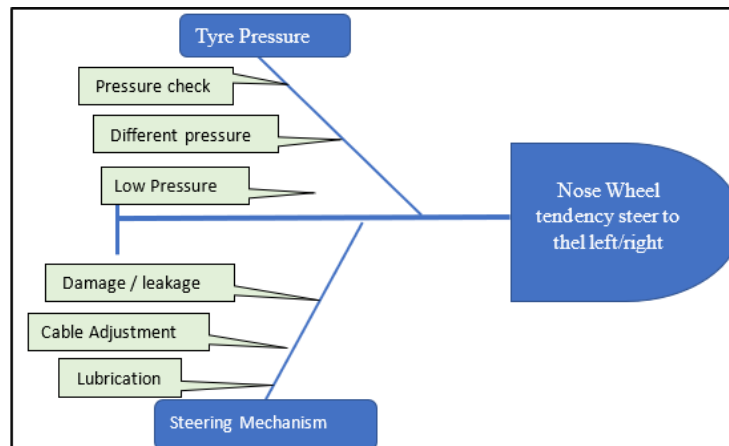
Data yang telah diperoleh selanjutnya dilakukan pengolahan dengan membuat fishbone kegagalan nose wheel steering system, fishbone digunakan untuk mengetahui penyebab kegagalan yang paling banyak terjadi pada nose wheel steering system.



Gambar 1. fishbone penyebab kegagalan yang terjadi pada Nose Wheel steering System

Dari gambar 2. di atas yaitu fishbone penyebab kegagalan *Nose Wheel Steering System*, dapat diketahui bahwa ada 3 masalah yang terjadi pada kegagalan *Nose Wheel Steering System* pada tahun 2020/2021 yaitu *Tendency*, *vibrate*, *steer straight*. Pada setiap masalah tersebut memiliki penyebab yang berbeda – beda. Pada *Tendency* memiliki beberapa penyebab seperti *lubrication*, *Nose Wheel Steering Cable*, *Steering Mechanism* dan *Tyre Pressure*. Pada *vibrate* disebabkan oleh *damage / leakage* pada *shock strut*. Pada *steer straight* dapat disebabkan oleh adanya gangguan atau ketidak normalan pada *tiller*.

Dari masalah yang terjadi dilapangan pada tahun 2020/2021 dapat dikerucutkan pada masalah yang paling sering terjadi yaitu *Nose Wheel tendency steer to the left/right* sebanyak 8 kasus. Untuk penjelasan lebih rinci dapat di lihat pada fishbone dibawah ini



Gambar 2. fishbone Nose wheel tendency to the left/right

Berdasarkan fishbone *Nose wheel tendency to the left/right* menunjukkan bahwa terdapat 2 penyebab masalah pada *nose wheel steer to the left/right* yaitu *tire pressure* dan *steering mechanism*. Dari 2 penyebab masalah ini memiliki factor penyebabnya masing – masing, seperti pada *tire pressure* dapat di sebabkan oleh *different pressure*, *pressure check*, ataupun *low pressure*. Sedangkan pada *steering mechanism* dapat di pengaruhi oleh *damage/leakage*, *cable adjustment*, dan *lubrication*.

b. Menghitung nilai RPN

Pada kasus 1 yaitu pada kasus *Steering collar dan torQ link need lubrication*

$$S = 5, O = 7, D = 5$$

$$S \times O \times D = RPN$$

$$5 \times 7 \times 5 = 175$$

Pada kasus 2 yaitu pada kasus *Nose wheel steering cable tidak pada posisinya*

$$S = 5, O = 6, D = 4$$

$$S \times O \times D = RPN$$

$$5 \times 6 \times 4 = 120$$

Pada kasus 3 yaitu pada kasus Dapat terjadi jika ada *damage Shock strut* pada *nose landing gear* atau terjadi kebocoran pada *shock strut*

$$S = 5, O = 6, D = 2$$

$$S \times O \times D = RPN$$

$$5 \times 6 \times 2 = 60$$

Pada kasus 4 yaitu pada kasus Dapat di sebabkan karena kurangnya tekanan pada *tyre*

$$S = 2, O = 7, D = 5$$

$$S \times O \times D = RPN$$

$$2 \times 7 \times 5 = 70$$

Pada kasus 5 yaitu pada kasus Dapat di sebabkan oleh *damage* pada *summing mechanism*, *cable control*, *system*, *steering actuator* atau kurangnya *lubrikasi* pada *nose wheel*

$$S = 2, O = 6, D = 4$$

$$S \times O \times D = RPN$$

$$2 \times 6 \times 4 = 48$$

Pada kasus 6 yaitu pada kasus Dapat disebabkan oleh *Steering tiller* tidak normal

$$S = 5, O = 5, D = 5$$

$$S \times O \times D = RPN$$

$$5 \times 5 \times 5 = 125$$

Pada kasus 7 yaitu pada kasus *tire low pressure*

$$S = 5, O = 7, D = 5$$

$$S \times O \times D = RPN$$

$$5 \times 7 \times 5 = 175$$

Pada kasus 8 yaitu pada kasus dapat disebabkan oleh *low pressure* pada *tire*

$$S = 2, O = 7, D = 5$$

$$S \times O \times D = RPN$$

$$2 \times 7 \times 5 = 70$$

Pada kasus 9 yaitu pada kasus Disebabkan oleh *Nose Wheel low pressure*

$$S = 4, O = 6, D = 4$$

$$S \times O \times D = RPN$$

$$4 \times 6 \times 4 = 96$$

Pada kasus 10 yaitu pada kasus dapat disebabkan adanya *damage* pada *Nose Landing Gear* atau pada *steering mechanism*

$$S = 5, O = 5, D = 4$$

$$S \times O \times D = RPN$$

$$5 \times 5 \times 4 = 100$$

c. Tabel FMEA

Tabel FMEA di bawah ini berisikan kegagalan yang terjadi pada nose wheel steering system beserta action atau Tindakan perbaikan yang dilakukan. Dari tabel 2 di yaitu tabel FMEA kegagalan *Nose Wheel Steering System* diperoleh nilai RPN tertinggi ada 2 yaitu 175 yaitu pada kasus *Steering collar dan torQ link need lubrication* dan pada kasus *Tire pressure*. Sedangkan nilai RPN terendah yaitu 48 pada kasus *Nose wheel friction*. Penyelesaian atau tindakan yang diambil dapat dilihat pada Tabel 4.1. table FMEA kegagalan pada *nose wheel steering system*.

Tabel 2. Tabel FMEA kegagalan nose wheel steering system

S U B S Y S T E M	SECT ION	S U B S E C T I O N	Potenti al Failure Mode ( potensi kegagal an)	Potential Effect of Failure	S E V E R E T Y	Potential Cause of Failure	O C C U R R E N C E	Current Control Prevention	Current Control Detection	D E T E C T I O N	R E P A R T I O N	ACTION
N.W steering	actua tor	Steeri ng collor	Steerin g collar dan torQ link need lubricat ion	Pesawat Tendeng mengarah ke kanan Ketika taxi	5	Pergerakan steering collar dan torq link terhambat	7	Dengan melakukan pelumasan pada steering collar dan torq link	Visua l Chec k	5	1 7 5	Dilakukan pelumasan pada steering collar dan torq link

N.W steering	N.W steering	Control cable	posisi nose wheel steering cable	Nose wheel steering tendency mengarah kekiri Ketika taxiing	5	Posisi nose wheel steering cable tidak pada posisinya	6	General check and adjustment of nose wheel steering cable R16 P/N	Visual check	4	1 2 0	Melakukan pengecekan dan penyetelan pada cable nose wheel steering dan mengubah posisi tengah Check tension cable found as LBS 32 °C ops test steering menghasilkan baik
N.W steering	Nose wheel	Gear retraction	Gear retraction vibrate	Nose wheel vibrate pada gear retraction	5	Dapat terjadi jika ada damage Shock strut pada nose landing gear atau terjadi kebocoran pada shock strut	6	Pengecekan dimensi shock strut pada nose landing gear dan shock strut leakage	Report pilot	2	6 0	Berdasarkan FIM 32-51 TASK 801 hasil pengecekan dimensi shock strut pada nose landing gear normal dan no leakage pada shock strut
Nose Wheel steering System	Nose landing gear	Tyre	Tyre Pressure	Selama bergerak di darat pesawat tendency kekanan	2	Dapat di sebabkan karena kurangnya tekanan pada tyre	7	Dengan pengecekan pada tyre dan tyre wheel	Report pilot	5	7 0	Berdasarkan FIM 32-51 TASK 804 pengecekan tyre pressure hasilnya bagus dan pengecekan pada tyre wheel ditemukan normal
N.W steering	Steering system	Rudder pedal	Nose wheel friction	Rudder pedal steering memiliki tendensi bergerak ke kiri	2	Dapat di sebabkan oleh damage pada summing mechanism, cable control, system, steering actuator atau kurangnya lubrikasi pada nose wheel	6	Dengan melakukan inspeksi pada summing mechanism, cable control, system, steering actuator	Report pilot	4	4 8	Berdasarkan FIM 32 – 51 task 810 inspeksi pada summing mechanism, cable control, system, steering actuator tidak di temukan kerusakan( normal ) kemudian melakukan lubrikasi pada nose wheel
N.W steering	Steering system	Rudder pedal	Tiller check	Rudder pedal steering tidak dapat dikemudikan lurus	5	Dapat disebabkan oleh Steering tiller tidak normal	5	Melakukan pengecekan pada steering tiller dengan mengemudikan nose wheel ke kanan dan ke kiri	Report pilot	5	1 2 5	Berdasarkan FIM 32 – 51 task 810 steer straight normally
N.W steering	Nose Landing Gear	Nose wheel	Tyre pressure	Selama taxi nose wheel tendency mengarah ke kiri lebih dari 7°	5	Tyre low pressure	7	Dengan melakukan inspeksi pada tyre dengan referensi FIM 32-42 Task 820 tyre inspection	Report pilot	5	1 7 5	Penggantian nose wheel Assy berdasarkan AMM task 32-45-21-000-801 dan task 32-45-21-400-801 Dan melakukan rotational and torque check result normal
N.W steering	Nose Landing Gear	Nose wheel	Tyre pressure check	Ketika taxi pesawat tendency ke kiri	2	Dapat disebabkan oleh low pressure pada tyre	7	Dengan melakukan tyre pressure pada kedua nose wheel dan visual check pada torque link dan nose gear steering cylinder	Report Pilot	5	7 0	Berdasarkan FIM 32-51 804 check tyre pressure both nose wheel memiliki pressure sama 200 psi
N.W steering	Nose Landing Gear	Nose wheel	Tyre pressure	Rudder steering memiliki tendency belok ke kanan	4	Disebabkan oleh Nose Wheel low pressure	6	Dilakukan penggantian nose wheel	Report Pilot	4	9 6	Berdasarkan FIM 32-51 task 810. Replace nose wheel #2 low pressure Referensi AMM task 32-45-21-000/400-801
N.W steering	Nose wheel Steering system	Steering system	Steering mechanism	Selama taxi Nose Wheel tendensi ke kiri lebih dari 7°	5	Dapat disebabkan adanya damage pada Nose Landing Gear atau pada steering mechanism	5	Melakukan inspeksi pada Nose Landing Gear atau pada steering mechanism	Report Pilot	4	1 0 0	Referensi AMM 32-21-00-200-801 Tidak ditemukan damage pada Nose Landing Gear atau pada steering mechanism

Sumber: Data AFML (Aircraft Flight and Maintenance Log) (Januari - desember) 2020/ 2021 (januari – juni)

Pada lubrikasi dapat di lihat pada AMM 12 – 21 – 21 *Nose Landing Gear – servicing*. Dalam AMM tersebut di jelaskan bagian – bagian yang memerlukan *lubrikasi pada nose wheel steering system* yaitu *nose landing gear Upper End components lubrication* dan *Nose landing gear Lower End Components lubrication*.

#### Nose Landing Gear Upper End components Lubrication

- a. Menggunakan sarung tangan *neoprene* atau *nitrille* dan pelindung mata
- b. Menggunakan *grease gun* untuk *melubrikasi nose landing gear* dengan *grease*
- c. *Nose Landing gear Upper End components lubrication*

Tabel 4. *Nose Landing gear Upper End components lubrication*

No	Nomenclature	Lubricant	Method of Application	Number of Locations
1	Actuator Support	BMS 3-33	Zerk	1
2	Retract Actuator	BMS 3-33	Zerk	3
3	Upper Drag Strut	BMS 3-33	Zerk	6
4	Lower Drag Strut	BMS 3-33	Zerk	2
5	Outer Cylinder	BMS 3-33	Zerk	2
6	Trunnion Bushing	BMS 3-33	Zerk	2

Sumber : *Boeing 737-600/700/800/900 Aircraft Maintenance Manual*

#### Nose Landing Gear Lower End Components Lubrication.

- a. Menggunakan sarung tangan *neoprene* atau *nitrille* dan pelindung mata
- b. Menggunakan *grease gun* untuk *melubrikasi nose landing gear* dengan *grease*  
*Nose Landing gear Lower End components lubrication*

Tabel 5. *Nose Landing gear Lower End components lubrication*

No.	Nomenclature	Lubricant	Method of Application	Number of Locations
1	Upper Torsion Link	BMS 3-33	Zerk	3
2	Steering Collar	BMS 3-33	Zerk	10
3	Tow Fitting Assembly	BMS 3-33	Zerk	2
4	Lower Torsion Link	BMS 3-33	Zerk	4
5	Inner Cylinder	BMS 3-33	Zerk	1
SJA ALL; Airplanes with 275A1106-5 Steering Actuator OD END				
6	Steering Actuator	BMS 3-33	Zerk	4
SJA ALL				

Sumber : *Boeing 737-600/700/800/900 Aircraft Maintenance Manual*

#### d. Tire Pressure

Referensi perbaikan untuk kasus *Tire Pressure* yaitu berpedoman pada *Aircraft Manual Maintenance* (AMM). Pada *tire pressure referensi* perbaikan dapat dilihat pada AMM Task 12-15-51

Untuk memastikan keamanan personel dan tidak adanya *damage* pada *equipment*, maka sebelum melakukan pengecekan pada *tire pressure* pastikan telah memasang *downlock pins* pada *landing gear* dan *tail skid*. Tanpa *Downlock pins*, *landing gear* akan mengalami *retrack* dan *tail skid* dapat mengalami *extend*.

Landing gear tire pressure check dengan menggunakan *standardized* pada *nose* dan *main gear tie pressure*

- a. Memastikan *tire* sudah dalam keadaan dingin sebelum menghitung tekanan pada *tire*
- b. Pada *nose landing gear* membuka tutup lubang angin (*cap*)
- c. Memastikan bacaan dari alat pengukur (*gage*) sudah terkalibrasi. Pastikan bahwa alat pengukur memiliki nilai yang telah disetujui. Jika alat ukur tidak akurat dapat menyebabkan kesalahan pada saat pengisian tekanan, hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada *tire*.
- d. Gunakan pengukur tekanan 0 – 300 psig (0-2069 kpa), STD – 1132 untuk mengukur tekanan.
- e. Jika pada *tire* terpasang kombinasi antara *tire pressure fill valve* dan *tie pressure transmitter* terpasang pada *tire / wheel*, gunakan *hand held device* yaitu *tire pressure sensor reader*, SPL-12301 untuk menghitung tekanan
- f. Lakukan pengecekan tekanan pada *tire*
  - a. Biarkan *tire* dingin minimum untuk 2 jam setelah terbang
  - b. Lakukan pengecekan tekanan pada *tire* dengan menggunakan alat ukur yang akurat
- c. Melakukan pencocokan hasil dari pengukuran tekanan dengan standar tekanan *tire* yang seharusnya.
- g. Jika *tire* memerlukan pengisian, maka sambungkan *tire inflator*, SPL-1527 pada katub gas, pompa *tire* dengan gas nitrogen sesuai dengan kebutuhan. Dalam melakukan pengisian tekanan pada *tire* gunakan sumber tekanan yang telah diatur sehingga tidak melukai orang dan merusak alat.
- h. Mengisi *main* dan *nose gear tire* pada  $205 \pm 5$  psig ( $1413 \pm 34$  kPa untuk pesawat 737-600/ -700/ -800/ -900 tetapi tidak untuk 737-900ER.

Tabel 6. *main and nose gear standardized tire pressure*

<b><i>Measured Tire Pressure Main and Nose Gear Tire (Tire cold)</i></b>	<b><i>Maintenance action</i></b>
<i>Greater than 210 psig</i>	<i>Adjust to correct pressure</i>
<i>Between 200 psig and 210 psig</i>	<i>No action required</i>
<b><i>Measured Tire Pressure Main and Nose Gear Tire (Tire cold)</i></b>	<b><i>Maintenance action</i></b>
<i>Between 195 psig and 199 psig</i>	<i>Inflate the tire to the correct pressure</i>
<i>Between 185 psig and 194 psig</i>	<i>Inflate the tire to the correct pressure. It is recommended to check pressure again in 24 hours. If the tire pressure is found low again, replace the tire</i>
<i>Between 165 psig and 184 psig</i>	<i>Replace wheel and tire assembly</i>
<i>Below 165 psig</i>	<i>Replace wheel and tire assembly. If the wheel and tire assembly has turned with the airplane weight on it after the pressure decrease, replace the wheel and tire assembly installed on the opposite side of the axle.</i>

Sumber : Boeing 737-600/700/800/900 Aircraft Maintenance Manual



#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan Analisis FMEA (*failure Mode and Effect Annalysis*) pada kegagalan *nose wheel steering system* pesawat boeing 737 – 800 pada januari 2020 – juni 2021, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Kegagalan / kerusakan yang terjadi pada *Nose Wheel Steering System* dapat disebabkan oleh *lubrication, tyre pressure, nose wheel steering cable* dan juga terdapat *leakage* atau *damage* pada *shock strut*.
- b. Penyebab kegagalan diatas dapat di atasi dengan melakukan perawatan pada *nose wheel steering system*, dan pada kasus yang memiliki nilai RPN tertinggi yaitu 175 yaitu pada kasus *Steering collar dan torQ link need lubrication* dan pada kasus *Tire pressure* dapat dilakukan *visual inspection* pada *Steering collar dan torQ link* dan *tire* sebelum pesawat melakukan penerbangan sehingga tidak ada gangguan Ketika pesawat digunakan. Sedangkan nilai RPN terendah yaitu 48 pada kasus *Nose wheel friction* dapat dilakukan dengan melakukan pengecekan pada *summing mechanism, cable control, system, steering actuator* untuk melihat apakah ada kerusakan dari komponen tersebut

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Boeing,2020,*Aircraft Maintenance Manual 737 NG Chapter 12*, Boeing
- [2] Boeing,2020,*Aircraft Maintenance Manual 737 NG Chapter 32*, Boeing
- [3] Boeing,2020,*Fault Isolation Manual 737 NG Chapter 32*, Boeing
- [4] SAEJ-1739,Failure Mode and Effect Analysis,AIAG,&ASQC,USA
- [5] Minda Mora,2012,Literatur Review On Aircraft Maintenance Program,
- [6] Cara menentukan nilai RPN FMEA <http://www.fmea-fmea.com-rpn.html> (diakses pada 10 februari 2021)