

Analisis kegagalan dengan menggunakan metode FMEA dan FTA untuk menentukan perawatan *undercarriage* pada kendaraan listrik e-niaga geni biru tiga roda

Tony Hendratmoko*, Hadi Pranoto

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Indonesia

Article Info

Article history

Received August 8, 2023

Revised August 18, 2022

Accepted September 21, 2022

Keywords

Electric motorcycles;
Failure Mode and Effect;
Analysis (FMEA);
Fault Tree Analysis (FTA);
Risk Priority Number (RPN);
Bearing.

ABSTRACT

Electric motorcycles are growing transportation among the a people. There are components slightly different from the combustion motor in general. With a variety of components, of course, there is a potential for failure both in the production process and from the part components themselves. This study aims to find out and determine what critical components are in the 3-Wheel Geni Biru E-Commerce vehicle, as well as continuous innovation, and control of manufacturing defects or product failures. Control of production defects or product failures can also increase consumer confidence in the products being sold. By taking a gradual approach starting from identification, and data collection of damage, then using the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and Fault Tree Analysis (FTA) method, combined with direct testing of vehicles with overload to analyze the dominant causes. In the next stage of the dominant cause that has been obtained, a risk probability calculation (RPN) will be carried out, so that it can be further analyzed with the Pareto method to reduce the majority percentage to establish an effective improvement plan. From the analysis obtained, it tuTomponent of this vehicle with a value of RPN 18. Then using manual calculations, they searched for the life ability of the bearing. The result is that the back wheel bearings can last for approximately 15 months with a total load of 750 kg. Thus, it can be determined which components are critical components and become maintenance priorities on the 3-Wheel Geni Biru E-Commerce electric vehicle.

This is an open-access article under the [CC BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



*Corresponding Author

Tony Hendraatmoko,
Jurusan Teknik Mesin,
Fakultas Teknik,
Universitas Mercu Buana,
Jl. Meruya Selatan No. 1, Kembangan, Jakarta Barat 11650, Indonesia
Email: thonexv@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Tingkat ketergantungan energi fosil di Indonesia sangatlah tinggi. Hampir 95% kebutuhan energi Indonesia di dapat dari energi fosil terutama minyak bumi. Seiring menipisnya cadangan energi fosil di Indonesia maka penggunaan energi ter baharukan kini menjadi perhatian pemerintah. Salah satu yang menjadi sorotan pemerintah saat ini pada sektor transportasi [1].

Konsep kendaraan Low-Cost Green Car (LCGC) dan *zero emission* muncul menjadi salah satu solusi untuk mengurangi konsumsi energi fosil dan mengatasi kelangkaan bahan bakar yang sering terjadi [2]. Motor listrik menjadi pilihan terbaik untuk mengatasi permasalahan ini, di samping tidak memakai bahan bakar, motor listrik juga lebih ramah lingkungan. Proses perawatan untuk motor listrik cenderung lebih mudah dan tidak sulit seperti motor bakar pada umumnya. Meskipun mudah perawatan terhadap motor listrik serta komponen - komponen yang lain juga perlu dilakukan untuk menjaga performa selalu dalam kondisi terbaik [3].

Perencanaan perawatan merupakan hal yang wajib untuk setiap komponen, terutama yang memiliki risiko kerusakan terbesar [4]. Perawatan tidak hanya meliputi pada komponen motor listrik, dan kelistrikannya saja tetapi komponen pendukung juga memerlukan perawatan sesuai dengan kegunaannya. Dengan melakukan perawatan yang benar dapat meningkatkan keselamatan, meminimalkan biaya perbaikan serta dapat mengoptimalkan kinerja motor listrik. Dalam kasus motor listrik terutama yang diperuntukkan sebagai alat angkut, terdapat beberapa komponen yang wajib mendapat perhatian lebih, seperti motor utama, sistem kelistrikan, *bearing* roda, ban, komstir, kampas dan yang lainnya. Sering kali pergantian komponen dilakukan ketika kondisi sudah rusak parah, tentu saja ini akan memicu kerusakan komponen yang lainnya. Sehingga biaya perbaikan akan melambung tinggi [5].

Sehubungan dengan permasalahan di atas penulis melakukan penelitian dengan menggunakan pendekatan metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA) dijadikan pendekatan formal untuk menjabarkan hal utama yang menjadi pertimbangan. Dengan menggunakan metode pareto untuk menilai *Risk Probability Number* (RPN) yang menjadi pokok permasalahan yang terjadi, dengan harapan penentuan isu dapat tepat sasaran. Berdasarkan uraian tersebut dapat diketahui komponen kritis apa saja yang perlu diperhatikan pada kendaraan motor listrik E-Niaga Geni Biru Tiga Roda.

Motor listrik adalah mesin listrik yang berfungsi untuk merubah energi listrik menjadi energi gerak mekanik, energi tersebut berupa putaran dari motor. Motor listrik dapat ditemui pada alat elektronika seperti, kipas angin, pompa air, mesin cuci, mixer, penyedot debu dan lainnya [6].

Predictive Maintenance merupakan perawatan yang bersifat prediksi, dalam hal ini merupakan evaluasi dari perawatan berkala. Perawatan prediksi menggunakan pengamatan secara langsung dari kondisi mekanik, efisiensi sistem kerja, dan *indicator* lainnya [7].

Bearing yang dalam Bahasa Indonesia berarti bantalan, bantalan memiliki arti alat atau tempat yang digunakan untuk menumpu poros benda, berputar sedemikian rupa hingga perputaran poros itu berjalan lancar. Berdasarkan pengertian tersebut, bantalan digunakan untuk menahan beban yang terjadi akibat dari suatu gerak pada salah satu bagian mesin, dengan kata lain prinsip bantalan adalah menahan beban [8].

2. METODE DAN BAHAN

Dalam melakukan analisis kegagalan dalam kendaraan ini perlu di ketahui beberapa nilai parameter serta data-data pendukungnya. Baru setelah itu dapat mencari nilai RPN dari komponen tersebut dan dapat dicari kemampuan atau *lifetime* penggunaan dari komponen tersebut.

2.1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan meliputi dalam penelitian ada beberapa macam, yaitu:

- Thermometer Inframerah
- Kaliper
- Tabel FMEA
- FTA
- Pareto

Sedangkan untuk bahannya merupakan semua komponen yang ada pada motor Listrik Geni Biru Tiga Roda. Pada kendaraan listrik ini memiliki beberapa komponen utama yang akan di jadikan fokus pengamatan yaitu meliputi baterai, rangka, motor, *bearing* dan *join couple* nya. Data teknis yang ini akan digunakan sebagai parameter penentuan komponen kritis. Data teknis yang dikumpulkan penulis meliputi data dimensi, berat, spesifikasi kendaraan listrik E-Niaga, untuk jelasnya seperti tampak pada Tabel 1.

Tabel 1: Data berat dan ukuran kendaraan

Jenis Data	Keterangan
Berat Tanpa Pengemudi	250 kg
Panjang	3610 mm
Lebar	1458,5 mm
Tinggi	1898 mm
<i>Ground clearance</i>	190 mm
Jarak roda (<i>wheelbase</i>)	2400 mm

Jenis Data	Keterangan
Daya Angkut	300 kg
Motor	3 kW
Rotasi	4000 rpm
Kecepatan	Mak 50 km/jam
Tipe rem depan	Cakram
Tipe rem belakang	Tromol
Baterai	60 V, 31 Ah
Jarak tempuh	35-40m

2.2. Metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)

FMEA adalah sebuah teknik rekayasa yang digunakan untuk menetapkan, mengidentifikasi, dan untuk menghilangkan kegagalan yang diketahui, permasalahan, eror, dan sejenisnya dari sebuah sistem, desain, proses, dan atau jasa sebelum mencapai konsumen. FMEA merupakan sebuah metodologi yang digunakan untuk mengevaluasi kegagalan terjadi dalam sebuah sistem, desain, proses atau pelayanan (*service*). Identifikasi kegagalan potensial dilakukan dengan cara pemberian nilai atau skor masing-masing mode kegagalan berdasarkan atas tingkat kejadian (*occurrence*), tingkat keparahan (*severity*) dan tingkat deteksi (*detection*) [9]. Parameter yang di dapat untuk perhitungan RPN adalah sebagai berikut [10]:

2.2.1. Penentuan nilai *severity*

Penilaian terhadap keseriusan dalam terjadinya kegagalan (*severity*) dari efek yang ditimbulkan, pada Tabel 2 menunjukkan nilai *rating* keseriusan.

Tabel 2: Nilai *Severity*

Rating	Kemungkinan terjadi
1	<i>Negligible severity</i> (pengaruh yang dapat diabaikan) Dampak yang ditimbulkan tidak berpengaruh terhadap kendaraan.
2	<i>Mild severity</i> (pengaruh yang ditimbulkan ringan) Dampak yang ditimbulkan ringan dan berpengaruh kecil terhadap kendaraan.
3	<i>moderate severity</i> (pengaruh yang ditimbulkan moderat) Dampak yang ditimbulkan berpengaruh terhadap kendaraan tetapi dalam batas toleransi.
4	<i>High severity</i> (pengaruh yang di timbulkan sangat tinggi) Dampak yang ditimbulkan menyebabkan kendaraan berjalan dengan kehilangan fungsi.
5	<i>Potential severity</i> (pengaruh yang ditimbulkan sangat tinggi) Akibat yang ditimbulkan menyebabkan kendaraan tidak dapat digunakan.

2.2.2. Penentuan nilai *occurrence*

Penilaian yang disesuaikan berdasarkan frekuensi kejadian (*occurrence*) atau angka kumulatif dari kegagalan yang terjadi, pada Tabel 3 menunjukkan frekuensi terjadinya kegagalan.

Tabel 3: Nilai *occurrence*

Rating	Kemungkinan terjadi
1	Tidak ada sama sekali
2	Kurang dari 2kali per 1500 jam sejak barang jadi
3	2-3 kali per 1500 jam sejak barang jadi
4	4-5 kali per 1500 jam sejak barang jadi
5	Lebih dari 5 kali per 1500 jam sejak barang jadi

2.2.3. Penentuan nilai *detection*

Rating dalam mengendalikan/mengontrol frekuensi terjadinya kegagalan (*detection*), yang dijelaskan pada Tabel 4.

Tabel 4: Nilai *detection*

Rating	Kemungkinan terjadi
1	Pengecekan selalu dapat mendeteksi kegagalan
2	Pengecekan dapat mendeteksi kegagalan
3	Pengecekan berpeluang besar mendeteksi kegagalan
4	Pengecekan berpeluang kecil dapat mendeteksi kegagalan
5	Pengecekan gagal sehingga tidak mampu mendeteksi kegagalan

2.3. Penentuan nilai RPN dan Pareto

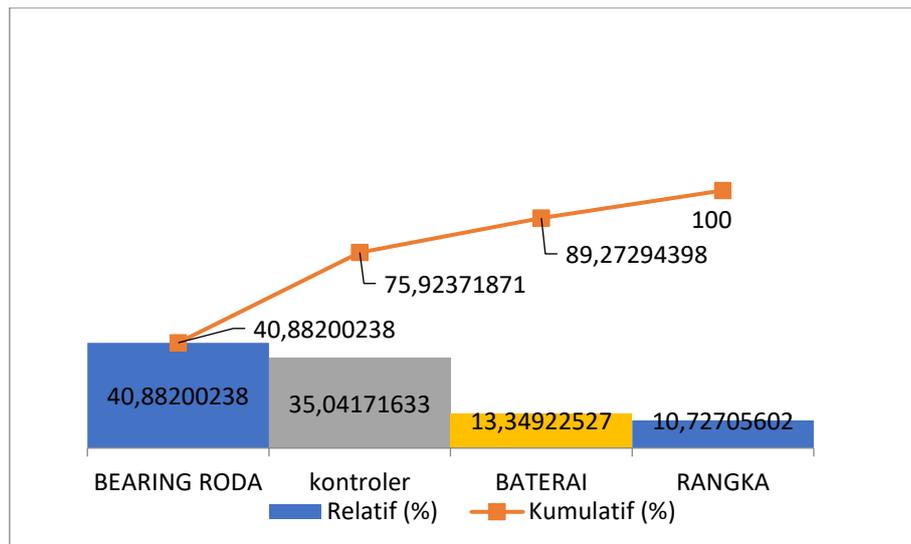
RPN (*Risk Priority Number*) atau angka prioritas risiko merupakan produk matematis dari keseriusan efek (*severity*), kemungkinan terjadinya kesalahan akan menimbulkan kegagalan yang berhubungan dengan efek (*occurrence*), dan kemampuan untuk mendeteksi kegagalan sebelum terjadi pada pelanggan (*detection*) [11]. Diagram Pareto adalah diagram batang yang dipadukan dengan diagram garis untuk menunjukkan suatu parameter yang diukur. Tabel FMEA ini digunakan untuk mencatat komponen yang berupa data properti dari komponen yang ada pada kendaraan E-Niaga [12].

Sebelum menentukan nilai RPN dan diagram pareto perlu di cari nilai setiap komponen dari parameter *severity*, *occurrence*, dan *detection* pada kendaraan listrik 3 Roda. Pada Tabel 5 di tentukan nilai RPN dari kegagalan tersebut.

Tabel 5: Penentuan nilai RPN

Kategori	Komponen	Kegagalan fungsi	Penyebab	Penyebab kegagalan	Sev	Occ	Det	RPN	Rank
Mekanik	Rem	Kemampuan pengereman berkurang	Kampas rem habis	Beban besar diakumulasikan dengan jam jalan	1	2	1	2	
	Suspensi	Oli bocor	Seal rusak	Debu jalan menempel di dinding as shock	3	2	1	6	
	Bearing Roda	Pergerakan roda kurang lancar	Ball bearing pecah	Pemberian beban berlebih dan kondisi jalan tidak rata	3	3	2	18	1
	Gardan	Oli bocor	Seal rusak	Pengencangan baut berlebihan menyebabkan ulir aus	2	2	1	4	
	Join Couple	Bunyi hantaman yang keras saat akselerasi awal	Bantalan join couple pecah	Pembebanan berlebih minim lubrikasi	4	2	2	16	2
Elektrikal	Baterai	Baterai tidak dapat menyimpan power	Kerusakan pada sel baterai	Terlalu lama di cas	4	2	2	16	2
	Kontroler	Tidak responsif	Konsleting arus	Kegagalan elektrik part	4	2	2	16	2
	Lampu	Mati	Bohlam putus	Kualitas barang jelek	2	2	1	4	
Casis	Bak Belakang	Penyok	Terbentur	Kecerobohan pengemudi	1	1	1	1	
	Kabin	Bodi pecah	Terbentur	Kecerobohan pengemudi	4	1	1	4	
	Rangka	Retak/patah pada sambungan	Kualitas las kurang baik	Kualitas las kurang baik	5	2	1	10	3

Dari Tabel 5 kemudian dibuat diagram paretonya seperti tampak pada Gambar 1, di mana yang menjadi komponen kritis adalah *bearing*.



Gambar 1: Diagram Pareto

Gambar 1 merupakan diagram pareto yang menjelaskan di mana *bearing* merupakan komponen kritis dengan nilai persentase 40,8%. Kemudian disusul kontroler dan baterai yang menjadi komponen kritis selanjutnya.

2.4. Metode FTA (*Fault Tree Analysis*)

FTA (*Fault Tree Analysis*) adalah suatu teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi risiko yang berperan terhadap terjadinya kegagalan. Metode ini dilakukan dengan pendekatan yang bersifat *top down* [11]. Langkah pertama adalah menentukan penyebab kerusakan dan mendata ke seringan penyebab itu terjadi. Tabel 6, merupakan tabel penyebab kerusakan *bearing* yang terjadi di kendaraan listrik E-Niaga Geni Biru 3 Roda selama kurang lebih 1500 jam.

Tabel 6: Data Penyebab Kerusakan

Faktor	Penyebab	Simbol	Nilai	Persentase %
Dari luar	Kehujan	A1	10	20,4
	Banjir	A2	1	2
Perawatan	Minim pelumasan	B1	6	12,2
	Kesalahan penggunaan	Tidak ada buku panduan	C11	0
Tidak membaca buku panduan		C12	2	4,1
Beban Berlebih	Tidak ada SWL	C2	0	0
	Kebutuhan operasional	C3	30	61,2
Total			49	99,9

Dari Tabel 6 kemudian dia buat diagram batang untuk kemudian di cari nilai persentase kerusakannya. Untuk mencari nilai persentase dapat menggunakan rumus 1 jika *logic gate* nya “OR” [13].

$$F_A = 1 - \{(1 - F_B)(1 - F_C)\} \quad (1)$$

Jika *logic gate* nya “AND” maka menggunakan rumus 2 [13].

$$F_A = F_B \times F_C \quad (2)$$

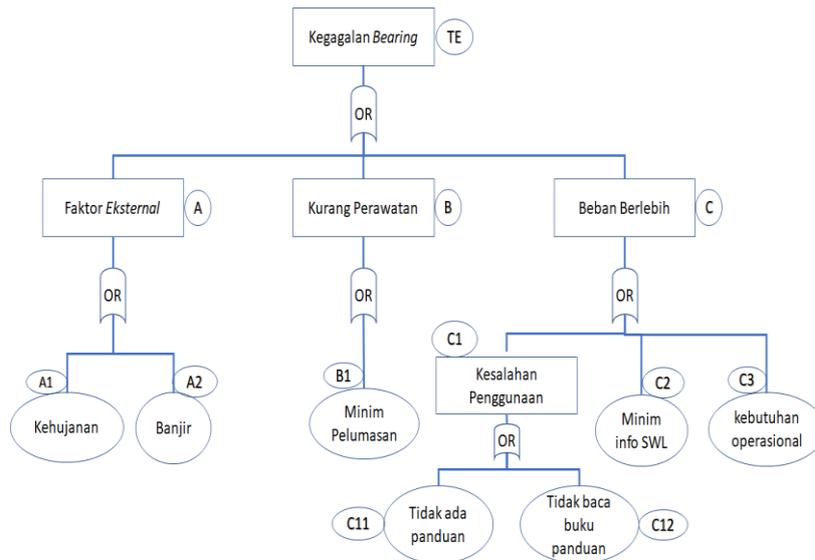
Keterangan:

F_A : Nilai *Event* yang akan dicari

F_B : Nilai dari kejadian / *basic event* setelah *logic gate*

F_C : Nilai dari kejadian / *basic event* setelah *logic gate*

Gambar 2 merupakan diagram FTA untuk mencari nilai persentase dan akar penyebab kerusakan.



Gambar 2: Diagram FTA

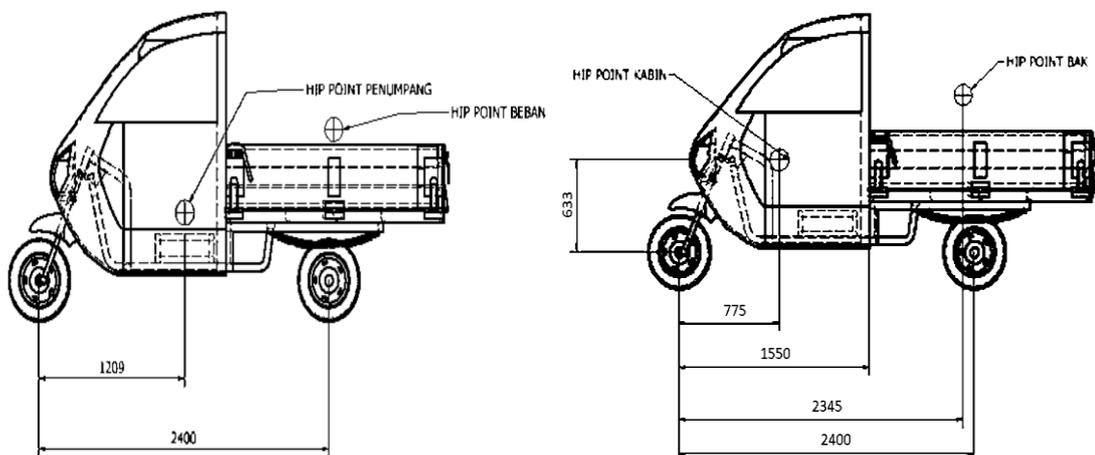
Dari Gambar 2 dijelaskan puncak permasalahan adalah kerusakan *bearing*, dimana terdapat beberapa penyebab utama dari kerusakan *bearing*, salah satu faktor terbesar adalah tingkat kebutuhan operasional yang tinggi sehingga memaksa untuk mengangkut beban melebihi kapasitas daya angkutnya.

2.5. Distribusi Beban

Pada kendaraan listrik E-Niaga Geni Biru Tiga Roda perlu di hitung distribusi beban yang diterima roda depan dan belakang secara manual, seperti pada Tabel 7 detail berberat dari tiap komponen. Perhitungan beban dihitung dengan cara sederhana dengan menggunakan *free body diagram* pembebanan [14]. Perhitungan terkait penentuan FBD jelaskan pada Gambar 3. dan Gambar 4.

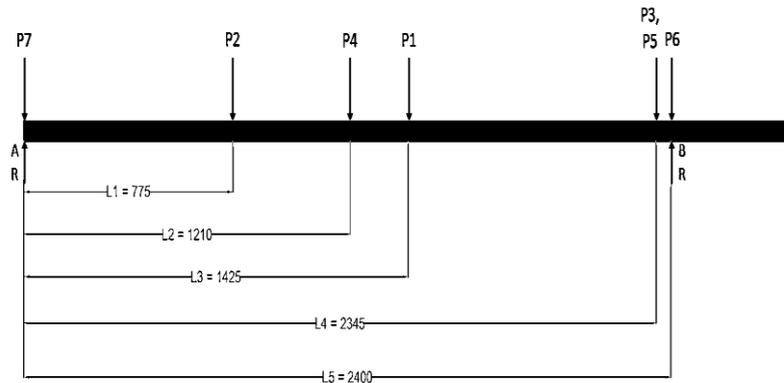
Tabel 7: Berat komponen kendaraan

Jenis	Berat (kg)
Rangka	75
Kabin	60
Bak belakang	35
Penumpang	100
Baterai	25
Gardan	21
Motor	12
Per daun	9
Rem	1,5
Shock depan	2,5
Beban angkut	300



Gambar 3: Gambar desain ukuran

Dari Gambar 3 digunakan untuk mencari nilai jarak dan posisi beban yang di bebankan pada kendaraan listrik E-Niaga untuk memudahkan pembuatan *free body diagram*.



Gambar 4: *Free Body Diagram*

Gambar 4 menjelaskan *free body diagram* sebagai acuan perhitungan nilai yang diterima dari *bearing* roda depan dan roda belakang. Yang selanjutnya digunakan untuk mencari nilai kemampuan dari *bearing* tersebut.

Keterangan:

P1	=	Berat <i>chasis</i>	(75 kg)
P2	=	Berat kabin	(60 kg)
P3	=	Berat bak	(35 kg)
P4	=	Berat penumpang dan baterai	(125 kg)
P5	=	Variasi berat muatan / <i>load</i>	(200, 300, 400 kg)
P6	=	Berat motor, gardan per daun	(43 kg)
P7	=	Berat suspensi depan	(2,5 kg)

Untuk mencari gaya reaksi roda belakang (RB) menggunakan rumus nomor 3 sebagai berikut:

$$RB = \left(\frac{(P_7 \times L_0) + (P_2 \times L_1) + (P_4 \times L_2) + (P_1 \times L_3) + ((P_3 + P_5) \times L_4) + (P_6 \times L_5)}{L_5} \right) \quad (3)$$

Setelah diketahui nilai dari RB kemudian mencari nilai gaya reaksi di roda depan RA dengan menggunakan rumus 4.

$$RA = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4 - RB) \quad (4)$$

Dari reaksi gaya yang di per oleh kemudian dikali dengan percepatan gravitasi untuk mencari beban dalam bentuk *Newton*, menggunakan rumus 5

$$PA = RA \times g \quad (5)$$

Digunakan untuk mencari beban roda depan, sedangkan yang belakang menggunakan rumus 6.

$$PB = RB \times g \quad (6)$$

2.6. Perhitungan *Lifetime Bearing*

Berdasarkan data dari desain dan perancangan diketahui pada motor listrik E-Niaga pada roda depan dan belakang memiliki kode yang berbeda dan tentunya memiliki spesifikasi yang berbeda pula. Perbedaan ini dikarenakan perbedaan penggunaan *velg* karena ada modifikasi penggunaan rem cakram untuk roda depan. Dengan demikian tentunya berdampak pada penggunaan *bearing* di mana untuk roda depan menggunakan jenis 6202 mengikuti desain dan ukuran diameter as roda, sedang yang belakang menggunakan *bearing* 6206.

Pada kendaraan E-Niaga jenis *bearing* roda depan yang digunakan bermerek “KOYO” dengan kode “6202 Z”. *bearing* jenis ini memiliki nilai *basic dynamic load* sebesar 9,55 kN. Untuk menghitung daya tahan / kekuatan *bearing* dalam menerima beban dapat menggunakan rumus 7 [15].

$$L_2 = L_1 \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^k \tag{7}$$

Kemudian dengan diketahuinya kemampuan putaran *bearing* dapat dicari *lifetime bearing* tersebut dengan menggunakan rumus 8 [15].

$$L_{10h} = \frac{L_2}{60 \cdot N} \tag{8}$$

Sedangkan jenis bantalan yang digunakan untuk roda belakang sama dengan roda depan yaitu *single row deep bearing* dengan seri 6206. Di mana ukuran diameter dalamnya 30 mm dan diameter luarnya 62 mm dengan pembebanan yaitu radial. Untuk nilai *basic dynamic load* sebesar 24,3 kN

3. HASIL DAN DISKUSI

Berdasarkan Tabel 5 diperoleh nilai RPN tertinggi terdapat pada komponen *bearing* dengan nilai 18. Kemudian diparetokan pada Gambar 1 didapat hasil sekitar 40,8% pada *bearing*. Dari hasil tersebut kemudian dibuat diagram FTA seperti pada Gambar 2, dari data tersebut dapat di cari nilai persentase setiap *basic event* kerusakan pada *bearing*, seperti pada Tabel 8.

Tabel 8: *Basic event*

Simbol <i>basic event</i>	Nilai
A1	0,204
A2	0,02
B1	0,122
C11	0
C12	0,041
C2	0
C3	0,612

Dari nilai *basic event* dapat dicari nilai *event* nya menggunakan rumus nomor (1) didapatlah nilai seperti pada Tabel 9.

Tabel 9: Nilai *Event*

Simbol <i>Event</i>	Nilai
A	0,220
B	0,122
C	0,628

Dari perolehan nilai setiap *event* dengan menggunakan rumus nomor (1) diperoleh nilai dari *Top Event* / TE yaitu sebesar 0,745 sehingga perhitungan persentase dengan menggunakan metode FTA yaitu sebesar 74,5%. Sedangkan yang menjadi *basic* permasalahan adalah memaksakan mengangkut beban berlebih dengan persentase sebesar 61,2 %.

3.1. Distribusi Beban

Dalam perhitungan kemampuan umur pakai *bearing* tentu memerlukan angka atau nilai dari beban yang di tahan *bearing* tersebut. Perhitungan distribusi di ilustrasikan dengan menggunakan *Free Body Diagram* seperti yang di tampilkan pada Gambar 4, dengan asumsi beban penumpang 100 kg dan variasi beban yang di angkut ada 3 macam yaitu 200 kg, 300 kg dan 400 kg. Hasilnya ditampilkan pada Tabel 10 untuk gaya reaksi pada roda depan dan Tabel 11 untuk hasil distribusi beban nya.

Tabel 10: Gaya reaksi roda

Variasi Beban Angkut (kg)	Roda Depan (RA)	Roda Belakang (RB)
200	141	399,5
300	143,25	497,25
400	145,54	594,96

Tabel 11: Beban distribusi roda

Variasi Beban Angkut (kg)	Beban roda depan (PA)	Beban roda belakang (PB)
200	1,38 kN	3,92 kN
300	1,4 kN	4,87 kN
400	1,43 kN	5,83 kN

Dari hasil perhitungan distribusi beban di dapatkan bahwa penambahan beban pada daya angkut hanya berpengaruh kecil untuk roda bagian depan. Tetapi akan sangat berpengaruh pada roda bagian belakang, karena kan posisi senter roda terhadap titik pusat beban berdekatan.

3.2. Perhitungan Umur *Bearing* Roda Depan

Dalam perhitungan kemampuan *bearing* memerlukan angka *dynamic load* “Pr” di mana nilainya 9,55 kN berdasarkan katalog *bearing* Koyo. Putaran yang terjadi di anggap konstan pada 50 Km/jam dengan diameter roda depan 50 cm. Asumsi penggunaan 12 jam sehari, *full* 30 hari dalam sebulan. Hasil perhitungan umur di tampilkan dalam Tabel 12, sedangkan untuk jangka waktu pergantian pada Tabel 13.

Tabel 12: Umur *bearing*

Variasi beban (kg)	Umur <i>bearing</i> (putaran)
200	$328,509 \times 10^6$
300	$314,432 \times 10^6$
400	$300,763 \times 10^6$

Tabel 13: Usia pakai

Variasi beban (kg)	Usia pakai (jam)	Usia pakai (bulan)	Usia pakai (tahun)
200	10330	28	2,4
300	9888	27	2,25
400	9458	26	2,16

3.3. Perhitungan Umur *Bearing* Roda Belakang

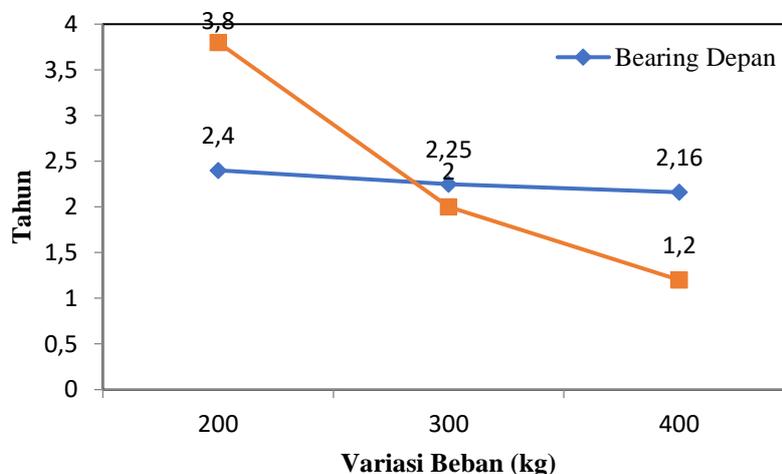
Dalam perhitungan kemampuan *bearing* memerlukan angka *dynamic load* “Pr” di mana didapat pada katalog *bearing* Koyo sebesar 24.3 kN. Untuk mencari perhitungan beban roda belakang dapat di lihat pada Putaran yang terjadi di anggap konstan pada 50 Km/jam dengan diameter roda belakang 54 cm. Asumsi penggunaan 12 jam sehari, *full* 30 hari dalam sebulan. Karena beban pada roda belakang di topang dengan 2 roda maka hasil akhir di kali 2. Hasilnya ditampilkan dalam Tabel 14 dan Tabel 15 untuk mengetahui *lifetimenya*.

Tabel 14: Umur *bearing*

Variasi beban (kg)	Umur <i>bearing</i> (putaran)
200	$238,328 \times 10^6$
300	125×10^6
400	$74,088 \times 10^6$

Tabel 15: Usia pakai

Variasi beban (kg)	Usia pakai (jam)	Usia pakai (bulan)	Usia pakai (tahun)
200	8106	23	1,9
300	4252	12	1
400	2520	7	0,6



Gambar 5: Grafik perbandingan *lifetime bearing*

Pada Gambar 5 merupakan gambar grafik perbandingan umur dari *bearing* di mana untuk *bearing* roda belakang memiliki usia yang pendek jika diberikan beban yang lebih daripada beban maksimum yang sudah ditentukan dari pihak desain dan rancang bangun.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian didapatkan bahwa *bearing* adalah komponen kritis dengan nilai RPN 18 dan dengan menggunakan metode FTA *bearing* memiliki persentase 74,5%. Pada perhitungan secara teori kemampuan umur *bearing* semakin menurun jika di berikan beban secara berlebihan. Dari hasil perhitungan didapat bahwa rata-rata umur *bearing* adalah 2 tahunan jika diberikan beban sesuai standarnya. Sedangkan untuk *bearing* roda belakang akan menjadi mudah rusak jika diberikan beban yang berlebihan secara terus menerus. Untuk menghindari kerusakan yang cepat perlu dilakukan perawatan yang teratur dan penggunaan sesuai aturan yang ditetapkan, sehingga umur dari *bearing* juga menjadi semakin lebih lama.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. R. Putra, D. Yoesgiantoro, and S. Thamrin, "Kebijakan Ketahanan Energi Berbasis Energi Listrik Pada Bidang Transportasi Guna Mendukung Pertahanan Negara Di Indonesia: Sebuah Kerangka Konseptual," *J. Ilmu Pengetah. Sos.*, vol. 7, no. 4, pp. 658–672, 2020.
- [2] F. Anindhita, A. Sugiyono, L. Ode, and M. Abdul, *Outlook Energi Indonesia 2018: Energi Berkelanjutan untuk Transportasi Darat*, no. September. 2018.
- [3] A. W. Aditya, R. M. Utomo, J. Soekarno, and H. Km, "Evaluasi Motor Listrik Sebagai Penggerak Mobil Listrik Evaluation of Electric Motor as The Main Actuator of Electric Vehicle," vol. 3, no. 2, pp. 55–59, 2019, doi: 10.30595/jrst.v3i2.4142.
- [4] A. Efendi, F. Alif, A. Oktaviani, P. Mesin, P. N. Subang, and K. Kunci, "Preventive Maintenance pada Sistem Kelistrikan Mobil Listrik Sula Evolution," *Pros. 12th Ind. Res. Work. Natl. Semin. Bandung*, pp. 4–5, 2021.
- [5] I. P. Erizal, Y. Yetri, and N. Nusyirwan, "Perencanaan Perawatan Mesin Pengupas Kulit Pinang," *J. Tek. Mesin*, vol. 11, no. 1, pp. 11–15, 2019, doi: 10.30630/jtm.11.1.173.
- [6] F. Umam, H. Budiarto, and A. Dafid, "Motor Listrik," in *Motor Listrik*, Malang: Media Nusa Creative, 2017.
- [7] L. R. Higgins and R. K. Mobley, *Maintenance engineering handbook*, 6th ed. New York: Mc Graw-Hill, 2002.
- [8] R. L. Mott, *Machine Element in Mechanical Design 4th*. Dayton: Pearson Prentice Hall, 2004.
- [9] D. H. Stamatis, *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*, 2nd ed. Milwaukee: Quality Press, 2003.
- [10] R. Miftahul Jannah, Supriyadi, and A. Nalhadi, "Seminar Nasional Riset Terapan," *Semin. Nas. Ris. Terap.*, vol. 25, no. 2013, pp. 70–75, 2017.
- [11] R. Y. Hanif, H. S. Rukmi, and S. Susanty, "Perbaikan Kualitas Produk Keraton Luxury di PT.X dengan Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA)," *J. Online Inst. Teknol. Nas. Juli*, vol. 03, no. 03, pp. 137–147, 2015.
- [12] N. R. Tague, *The Quality Toolbox*, Second Edi. Milwaukee, Wisconsin: American Society for Quality, Quality Press, 2005.
- [13] S.-H. KIM, H.-S. KIM, I.-K. KANG, and W.-S. KIM, "An analysis on marine casualties of fishing vessel by FTA method," *J. Korean Soc. Fish. Technol.*, vol. 53, no. 4, pp. 430–436, 2017, doi: 10.3796/ksft.2017.53.4.430.
- [14] M. E. Khariri *et al.*, "Analisis Data Input Force Pada Shock Absorber Dengan Strain Gauge Untuk Mengetahui Pembebanan Aktual Pada Mobil," vol. 10, no. 2, 2021.
- [15] J. K. Khurmi, R S; Gupta, *Machine Design*. New Delhi: Eurasia Publishing House (PVT) LTD., 2005.