

ANALISA MODA DAN EFEK KEGAGALAN (FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS / FMEA) PADA PRODUK KURSI LIPAT CHITOSE YAMATO HAA

Denny Nurkertamanda, Fauziyati Tri Wulandari

Program Studi Teknik Industri
Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof Sudarto, SH., Semarang
nurkerta@gmail.com

Abstrak

Chitose Indonesia Manufacturing merupakan perusahaan yang memproduksi dan menjual furniture dari logam dengan kerjasama negara Jepang. Berdasarkan data penjualan Chitose Indonesia Manufacturing pada tahun 2003, kursi lipat Chitose Yamato merupakan jenis kursi lipat yang memiliki angka penjualan sebesar 59% dari keseluruhan jenis produk yang diproduksi. Kursi lipat Chitose Yamato HAA merupakan salah satu sarana untuk duduk yang dilengkapi dengan sandaran sesuai dengan bentuk punggung manusia dan dapat dilipat untuk memudahkan penyimpanannya. Selain itu juga rangka kakinya yang berbentuk H sehingga dapat digunakan pada permukaan yang datar atau bergelombang. Material yang digunakan pada rangka kursi lipat Chitose Yamato HAA adalah berupa elemen struktur rangka yang bersifat isotropik, yakni memiliki keseragaman sifat dan bahan suatu elemen (regangan, tegangan, mekanis, dsb). Pada analisa moda kegagalan dilakukan identifikasi moda kegagalan yang potensial, keparahan yang ditimbulkan, dan frekuensi kejadian moda kegagalan. Dengan menggunakan analisa moda kegagalan, maka diharapkan kualitas produk akan meningkat dan dapat digunakan sesuai dengan fungsinya. RPN adalah indikator kekritisitas untuk menentukan tindakan koreksi yang sesuai dengan moda kegagalan. RPN digunakan oleh banyak prosedur FMEA untuk menaksir resiko menggunakan tiga kriteria yaitu Keparahan efek (Severity) S, Kejadian penyebab (Occurrence) O, Deteksi penyebab (Detection) D. Angka prioritas RPN merupakan hasil kali rating keparahan, kejadian, dan deteksi. Angka ini hanyalah menunjukkan ranking atau urutan defisiensi desain sistem.

Kata kunci : Moda Kegagalan, Efek Kegagalan, Penyebab Kegagalan, Deteksi, Kejadian, Keparahan, RPN (Risk Priority Number).

Abstract

Chitose Manufacturing Indonesia is a company that produce and sells furniture made from alloy in cooperation with Japan. Based on Sales data by Chitose Indonesia Manufacturing in 2003, Chitose Yamato foldable chair has a sales number up to 59% from all of the products manufactured. Chitose Yamato HAA foldable chair is one of the tools to sit down included with a back seat according to the vertebra of the human body and it is foldable to simplify its storage. Furthermore, the H form of its feet structure allows it to be used in flat or hilly surface. The material used on the structure of Chitose Yamato HAA foldable chair is isotropic structure element, which has similar characteristic and material (stress, strain, mechanic, etc.) On Failure Mode Analysis we identify potensial failure modes, severity that occurs, and the frequency of failure mode. With the failure mode analysis, the goal is to increase product quality and can be used according to its function. RPN is the critical indicator to determine the correction actions according to Failure modes. RPN is used in many FMEA procedures to approximate risks using three criterias that consists of: Severity(S), Occurrence(O), Detection(D). RPN priority number is the multiplying results from severity rating, occurrence, and detection. This number only shows ranks or sequence of the system design deficiency.

Keywords: *Failure mode, Failure effects, Failure causes, Detection, Severity, RPN (Risk Priority Number)*

PENDAHULUAN

Manusia adalah makhluk hidup ciptaan Tuhan YME yang senantiasa menjalankan segala aktivitas untuk memenuhi seluruh kebutuhan hidupnya. Salah satu aktivitas manusia secara sederhana adalah duduk. Aktivitas duduk akan terasa lebih nyaman jika didukung dengan sarana pendukung yang baik yaitu kursi.

Kualitas komponen kursi mempunyai peranan yang sangat penting dalam memberikan kenyamanan dan keamanan ketika kursi digunakan. Untuk menghasilkan produk yang berkualitas maka haruslah dieliminir kemungkinan terjadinya kegagalan atau cacat pada produk baik karena kekurangan desain maupun karena faktor proses produksi, material, maupun manusia.

Chitose Indonesia Manufacturing merupakan perusahaan yang memproduksi dan menjual furniture dari logam dengan kerjasama negara Jepang. Berdasarkan data penjualan Chitose Indonesia Manufacturing pada tahun 2003, kursi lipat Chitose Yamato merupakan jenis kursi lipat yang memiliki angka penjualan sebesar 59% dari keseluruhan jenis produk yang diproduksi. Kursi lipat Chitose Yamato HAA merupakan salah satu sarana untuk duduk yang dilengkapi dengan sandaran sesuai dengan bentuk punggung manusia dan dapat dilipat untuk memudahkan penyimpanannya. Selain itu juga rangka kakinya yang berbentuk H sehingga dapat digunakan pada permukaan yang datar atau bergelombang. Material yang digunakan pada rangka kursi lipat Chitose Yamato HAA adalah berupa elemen struktur rangka yang bersifat isotropik, yakni memiliki keseragaman sifat dan bahan suatu elemen (regangan, tegangan, mekanis, dsb).

Selama ini didalam keseharian kita sering menemukan beberapa kasus kerusakan kursi lipat. Kerusakan yang sering kali ditemui pada kursi lipat Chitose Yamato HAA adalah pijakan kaki patah, bantalan rangka kursi rusak, terjadinya karat pada material, serta banyak jenis kerusakan lainnya. Oleh karena itu untuk mencegah

terjadinya kerusakan tersebut, maka diperlukan evaluasi dan analisa moda kegagalan untuk menjamin produk dapat berfungsi dengan baik dan aman ketika digunakan oleh pengguna.

Pada analisa moda kegagalan dilakukan identifikasi moda kegagalan yang potensial, keparahan yang ditimbulkan, dan frekuensi kejadian moda kegagalan. Dengan menggunakan analisa moda kegagalan, maka diharapkan kualitas produk akan meningkat dan dapat digunakan sesuai dengan fungsinya.

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan di atas, maka permasalahan dasar yang timbul akibat dari kerusakan kursi lipat Chitose Yamato HAA adalah kegagalan apa yang ada didalam sistem pengoperasian kursi lipat Chitose Yamato HAA, apa akibat kegagalan tersebut, seberapa besar efek akibat kegagalan tersebut, dan rekomendasi yang dilakukan untuk mengurangi efek kegagalan terutama yang berbahaya bagi pengguna kursi lipat.

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui kelemahan rancangan kursi lipat Chitose Yamato HAA terutama yang dapat membahayakan pengguna.
2. Menentukan prioritas resiko kegagalan yang harus ditangani.
3. Mengevaluasi resiko menggunakan perkiraan biaya perbaikan.
4. Memberikan rekomendasi sebagai dasar pengambilan tindakan pencegahan untuk mengeliminasi bahaya pada pengguna.

Dalam penelitian ini terdapat beberapa pembatasan yang digunakan, yaitu :

1. Analisa hanya berdasarkan potensi kegagalan yang diakibatkan oleh pengoperasian produk sesuai dengan fungsinya sebagai tempat duduk.
2. Kursi lipat Chitose Yamato HAA sebagai sistem mempunyai kumpulan fungsi, sehingga penelitian ini menganalisa FMEA sistem yang berfokus pada sistem pengoperasian kursi lipat.
3. Produk kursi lipat Chitose Yamato HAA yang akan disimulasikan analisis statika strukturnya dengan software CATIA V5 yaitu hanya berupa rangka utama.

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini :

1. Elemen struktur pada rangka kursi lipat Chitose Yamato HAA bersifat isotropik yaitu mempunyai keseragaman sifat dan bahan suatu elemen (regangan, tegangan, mekanis, dsb).

METODOLOGI PENELITIAN

FMEA pertama kali muncul sekitar tahun 1960an sebagai metodologi formal pada industri aerospace dan pertahanan. Sejak itu kemudian FMEA digunakan dan distandarisasi oleh berbagai industri di seluruh dunia. Beberapa pengertian FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*), metodologi FMEA digambarkan pada gambar 1:

- a. FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) adalah teknik *engineering* yang digunakan untuk mengidentifikasi, memprioritaskan, dan mengurangi permasalahan dari sistem, desain, atau proses sebelum permasalahan tersebut terjadi [Kmenta99].
- b. *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) adalah metodologi yang dirancang untuk mengidentifikasi moda kegagalan potensial pada suatu produk atau proses sebelum terjadi, mempertimbangkan resiko yang berkaitan dengan moda kegagalan tersebut, mengidentifikasi serta melaksanakan tindakan korektif untuk mengatasi masalah yang paling penting [Reliability2002].
- c. FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) adalah alat yang digunakan secara luas pada industri otomotif, aerospace, dan elektronik untuk mengidentifikasi, memprioritaskan, dan mengeliminasi potensi kegagalan, masalah, dan kesalahan sistem pada desain sebelum produk diluncurkan [J. Rhee2002].

RPN adalah indikator kekritisannya untuk menentukan tindakan koreksi yang sesuai dengan moda kegagalan. RPN digunakan oleh banyak prosedur FMEA untuk menaksir resiko menggunakan tiga kriteria berikut :

- Keparahan efek (*Severity*) S – Seberapa serius efek akhirnya?

- Kejadian penyebab (*Occurrence*) O – Bagaimana penyebab terjadi dan akibatnya dalam moda kegagalan?
- Deteksi penyebab (*Detection*) D – Bagaimana kegagalan atau penyebab dapat dideteksi sebelum mencapai pelanggan?

Angka prioritas RPN merupakan hasil kali rating keparahan, kejadian, dan deteksi. Angka ini hanyalah menunjukkan ranking atau urutan defisiensi desain sistem.

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

Nilai RPN yang tinggi akan membantu memberikan pertimbangan untuk tindakan korektif pada setiap moda kegagalan. [Villacourt92]

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data-data yang akan digunakan untuk analisa diperoleh dari data hasil pengamatan langsung, wawancara yang dilakukan terhadap konsumen maupun distributor yang terkait, hasil penyebaran kuesioner, dan data laporan perusahaan distributor Chitose Jawa Tengah. Data-data tersebut adalah data gambar kursi lipat, definisi produk, dan daftar komponen produk kursi lipat.

Perhitungan Gaya pada Kursi Lipat

Perhitungan ini bertujuan untuk menentukan gaya dan tegangan pada struktur dan komponen-komponennya akibat beban-beban yang bekerja padanya. Apabila kita dapat memperoleh besaran-besaran untuk semua harga beban hingga mencapai beban yang menyebabkan kegagalan, maka kita akan dapat mempunyai gambaran mengenai perilaku mekanis pada struktur tersebut [Timoshenko96]. Perhitungan statika yang dilakukan untuk menghitung gaya dan tegangan menggunakan beberapa asumsi yaitu:

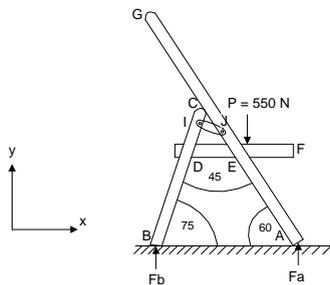
1. Material seluruh rangka kursi lipat terbuat dari besi dengan spesifikasi AISI 1020.
2. Tidak terjadi gesekan pada lantai dan rangka.
3. Berat beban yang menuju ke pusat bumi dengan pusat massa tepat di tengah dudukan.

Menurut prinsip kesetimbangan bahwa jika suatu benda berada dalam kesetimbangan, maka resultan semua gaya yang bekerja padanya akan menjadi nol. Jadi gaya resultan R dan kopel resultan M adalah nol, sehingga diperoleh persamaan kesetimbangan :

$$R = \sum F = 0 \text{ dan } M = \sum M = 0$$

Kedua syarat ini merupakan kondisi yang diperlukan dan cukup untuk kesetimbangan.

Perhitungan matematis ini terlebih dahulu dilakukan pada satu sisi yang diagram benda bebasnya dapat diilustrasikan pada gambar berikut ini.



Gambar 1 Diagram Benda Bebas Kursi Lipat

$$\sum F_y = 0$$

$$F_A + F_B = P$$

$$F_A + F_B = 550 \dots\dots\dots(1)$$

$$\sum M = \sum (r \times F) = 0$$

$$\sum M_B = 0 \quad + \curvearrowright$$

$$F_A \cdot 395 - P \cdot (BD \cos 75 + 160) = 0$$

$$F_A \cdot 395 - 550 \cdot (440 \cos 75 + 160) = 0$$

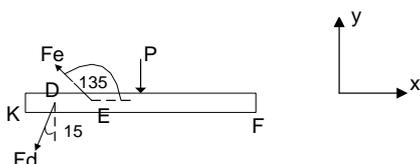
$$F_A \cdot 395 = 550 \cdot (273,88) = 150,676$$

$$F_A = 381,352 \text{ N}$$

Untuk tiap kaki maka

$$F_A = \frac{381,352}{2} = 190,676 \text{ N}$$

Batang DF



Gambar 2. Diagram Benda Bebas Batang DF

$$\sum F_y = 0$$

$$F_E \cos 45 - F_D \cos 15 = P$$

$$\frac{1}{2} \sqrt{2} F_E - 0,96 F_D = 550 \dots\dots\dots(2)$$

$$\sum F_x = 0$$

$$- F_E \sin 45 - F_D \sin 15 = 0$$

$$- \frac{1}{2} \sqrt{2} F_E - 0,26 F_D = 0 \dots\dots\dots(3)$$

Pers (2) dan (3)

$$\frac{1}{2} \sqrt{2} F_E - 0,96 F_D = 550$$

$$- \frac{1}{2} \sqrt{2} F_E - 0,26 F_D = 0 \quad +$$

$$- 1,22 F_D = 550$$

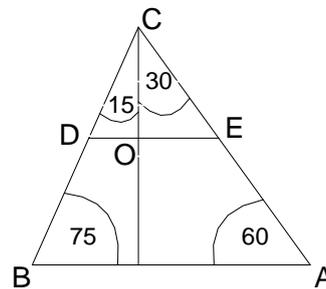
$$F_D = - 450,819 \text{ N}$$

$$F_E = 165,765 \text{ N}$$

Untuk tiap sisi maka :

$$\frac{F_E}{2} = \frac{165,765}{2} = 82,8825 \text{ N}$$

$$\frac{F_D}{2} = \frac{- 450,819}{2} = - 225,4095 \text{ N}$$



$$DO = BC \cos 75 - BD \cos 75 = 552 \cos 75 - 440 \cos 75 = 29 \text{ mm}$$

$$\frac{29}{\sin 15} = \frac{CO}{\sin 75}$$

$$CO = 108,23 \text{ mm}$$

$$\frac{OE}{\sin 30} = \frac{108,23}{\sin 60}$$

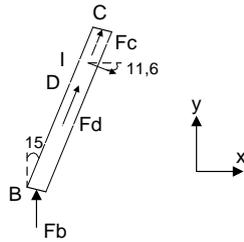
$$OE = 62,48 \text{ mm}$$

$$DE = DO + OE$$

$$= 29 + 62,48$$

$$= 91,48 \text{ mm}$$

Batang BC



Gambar 3 Diagram Benda Bebas Batang BC

$$\sum F_y = 0$$

$$F_B + F_D \sin 75 - F_I \sin 11,6 + F_C \cos 15 = 0$$

$$168,648 + (- 450,819 \sin 75) - 0,201 F_I + 0,96 F_C = 0$$

$$- 0,201 F_I + 0,96 F_C = 266,809$$

.....(4)

$$-0,201(-0,265F_C + 119,061) + 0,96 F_C = 266,809$$

$$1,013 F_C = 290,740$$

$$F_C = 287,008 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$F_D \cos 75 + F_I \cos 11,6 + F_C \sin 15 = 0$$

$$- 450,819 \cos 75 + 0,979 F_I + 0,26 F_C = 0$$

$$0,979 F_I + 0,26 F_C = 116,680$$

$$F_I = - 0,265 F_C + 119,183$$

$$F_I = - 0,265 (287,008) + 119,183$$

$$F_I = 43,126 \text{ N}$$

Untuk tiap sisi maka :

$$\frac{F_I}{2} = \frac{43,126}{2} = 21,563 \text{ N}$$

$$\frac{F_C}{2} = \frac{287,008}{2} = 143,504 \text{ N}$$

Tegangan tumpu pada batang rangka dan pin :

$$\sigma = \frac{F}{2 \cdot t_{rgka} \cdot d_{pin}} = \frac{21,563 \text{ N}}{2 \times 2 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}} = 0,898 \times 10^6 \text{ N/m}^2 = 0,898 \times 10^6 \text{ Pa} = 0,898 \text{ MPa}$$

Tegangan geser di pin :

$$\tau = \frac{F}{\frac{1}{4} \pi d_{pin}^2} = \frac{21,563 \text{ N}}{\frac{1}{4} \pi (6)^2 \text{ mm}} = 0,762 \times 10^6 \text{ N/m}^2 = 0,762 \times 10^6 \text{ Pa} = 0,762 \text{ MPa}$$

Tegangan tumpu antara pin dan engsel :

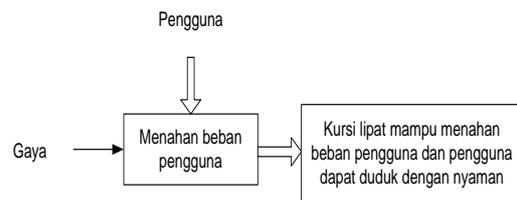
$$\sigma = \frac{F}{t_{engsel} \cdot d_{pin}} = \frac{21,563 \text{ N}}{2,4 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}} = 1,497 \times 10^6 \text{ N/m}^2 = 1,497 \times 10^6 \text{ Pa} = 1,497 \text{ MPa}$$

Uraian Fungsi Sistem

Sebagai fungsi sistem, sistem secara keseluruhan dapat diuraikan lagi menjadi subsistem-subsistem. Kemudian dari subsistem-subsistem tersebut juga dapat diuraikan lagi menjadi level-level dibawahnya. Semakin kompleks atau rumit suatu produk, maka semakin banyak pula level-level yang ada dibawahnya.

Fungsi kursi lipat secara umum adalah sebagai tempat duduk, dimana fungsi tersebut merupakan orientasi fungsi berdasarkan konsumen (*user function*). Sedangkan dilihat dari sisi fungsi penggunaannya, fungsi utama (*basic function*) kursi lipat adalah untuk menahan beban objek yang menggunakan kursi lipat.

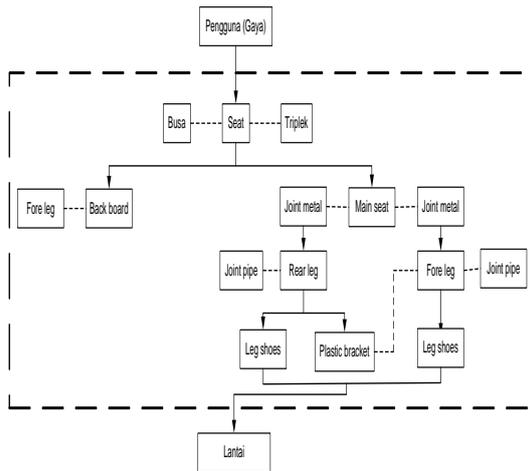
Fungsi sistem menahan beban pengguna dipengaruhi oleh input dari gaya pengguna (beban) dan pengguna itu sendiri untuk mampu menahan beban pengguna sehingga pengguna dapat duduk dengan nyaman. Diagram blok fungsi utama kursi lipat dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 Fungsi keseluruhan sistem kursi lipat

Elemen Struktur Sistem

Diagram blok seperti pada gambar 6. berikut ini dapat dibuat dengan menggunakan acuan *bill of material* dan gambar produk kursi lipat. Tanda garis putus-putus merupakan batasan sistem. Sistem ini berinteraksi dari luar yaitu dengan manusia sebagai pengguna yang memberikan gaya beban tertentu.



Gambar 5 Interaksi sistem dan assembly kursi lipat

Subsistem *seat* berinteraksi langsung dengan manusia sebagai pengguna ketika sedang menerima beban dari luar. Elemen *seat* merupakan elemen yang digunakan untuk menutup *back board* dan *main seat*. Untuk memberikan kenyamanan, *seat* didukung dengan busa dan triplek.

Subsistem *back board* dan *main seat* menahan beban tubuh manusia dan menahan beban pada sandaran punggung. Ketika menerima beban, *back board* berhubungan langsung dengan *fore leg*. Sedangkan *main seat* langsung berhubungan dengan *joint metal* yang menyambungkan antara *rear leg* dan *fore leg*.

Gaya dari *main seat* kemudian didistribusikan oleh subsistem *joint metal* menuju ke *rear leg* dan *fore leg* sebagai rangka utama. Subsistem *rear leg* dan *fore leg* menyangga beban dan menyeimbangkan kursi lipat. Gaya dari *rear leg* dan *fore leg* didistribusikan secara merata dibantu oleh subsistem *joint pipe*.

Selanjutnya gaya dari *rear leg* didistribusikan ke *leg shoes* dan *plastic bracket*. Sedangkan gaya dari *fore leg* langsung didistribusikan ke *leg shoes*. Subsistem *plastic bracket* menumpu beban pada *fore leg*. Sebagai elemen yang secara langsung berinteraksi dari luar yaitu dengan lantai, subsistem *leg shoes* digunakan untuk menumpu beban dari *fore leg* dan *rear leg* dan menyeimbangkan kursi lipat.

Tabel 1 Matriks Elemen-Fungsi Sistem

No	Fungsi Sistem	Elemen Sistem										Luar Sistem		
		Back board	Seat	Main Seat	Fore Leg	Rear Leg	Joint Pipe	Leg Shoes	Joint Metal	Plastic Bracket	Busa		Triplek	Lantai
1.	Melindungi busa dan triplek	X	X							X	X			
2.	Menahan beban sandaran punggung		X											X
3.	Menutup busa	X								X				
4.	Melindungi main seat		X	X										
5.	Menahan beban berat badan			X										X
6.	Menyangga beban			X	X									X
7.	Menyeimbangkan kursi lipat			X	X	X								X
8.	Mendistribusikan gaya akibat beban pada fore leg dan rear leg			X	X	X								X
9.	Menahan beban pijakan kaki					X								X
10.	Menumpu beban					X								X
11.	Melindungi fore leg dan rear leg dari air atau kotoran			X	X	X								
12.	Menghubungkan fore leg dan rear leg			X	X		X							
13.	Memudahkan putaran pada saat membuka/melipat kursi							X						X
14.	Meneruskan beban pada fore leg dan rear leg			X	X		X							X
15.	Mengkaitkan dengan kursi yang lain supaya tertata rapi								X					
16.	Menumpu beban pada fore leg			X						X				X
17.	Melindungi rear leg dari tumpuan beban fore leg			X	X			X						X
18.	Memberikan kenyamanan pada saat duduk										X			X
19.	Merekatkan dan busa	X								X	X			

Menentukan Rating Deteksi

Penentuan rating deteksi dilakukan dengan melihat efektifitas metode deteksi dalam mendeteksi penyebab kegagalan yang potensial.

Yang dimaksud metode deteksi adalah metode yang digunakan untuk mendeteksi potensi kegagalan dan terjadinya kegagalan setelah kegagalan terjadi. Kemampuan metode dalam mendeteksi potensi kegagalan dan terjadinya kegagalan akan menentukan ratingnya. Semakin besar kemungkinan kemampuan deteksinya semakin kecil ratingnya.

Pendeteksian dihilangkan dari perhitungan RPN, karena nilai Detection akan ditetapkan dengan nilai 1 untuk semua kegagalan. Dengan asumsi bahwa "kemungkinan pendeteksian" telah diinterpretasikan ke dalam "kemungkinan kejadian" [Kmenta Steven, 2000].

Menghitung Nilai RPN

RPN diperoleh dengan mengalikan rating keparahan dengan rating kejadian dan rating deteksi yang telah ditentukan sebelumnya. Hasil perkalian dari potensi kegagalan, rating keparahan, rating kejadian dan rating deteksi dari masing-masing nama dan fungsi komponen, disajikan pada lampiran

Menghitung Nilai RPN

Perkiraan biaya perbaikan dilakukan dengan mengidentifikasi besarnya biaya perbaikan jika terjadi suatu moda kegagalan. Identifikasi biaya tersebut melalui survey secara langsung pada pihak distributor Chitose Jawa Tengah dan bengkel yang dapat memperbaiki kerusakan kursi lipat. Rincian biaya perbaikan dapat dilihat pada lampiran.

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Analisa Perhitungan Gaya

Untuk perhitungan statika difokuskan pada komponen engsel/*joint metal*. Karena secara fungsional komponen ini merupakan komponen yang sangat penting untuk proses kinerja kursi lipat. Berdasarkan hasil perhitungan statika, maka gaya yang terjadi pada engsel sebesar 21,563 N. Gaya yang terjadi cenderung lebih kecil

jika dibandingkan pada komponen lainnya. Struktur kursi lipat didesain sedemikian rupa sehingga sebagai komponen vital, engsel mempunyai gaya yang kecil.

Oleh karena fungsinya yang penting maka faktor keamanan harus dipertimbangkan pada komponen *joint metal*. Semakin besar faktor keamanan, maka gaya pada *joint metal* semakin kecil dan kursi dapat menahan beban yang lebih besar. Contoh perhitungan dengan menggunakan pendekatan faktor keamanan sebesar dan kekuatan luluh AISI 1020 :

$$\text{Faktorkemaman} = \frac{\text{Kekuatan aktual}}{\text{Kekuatan yang dibutuhkan}}$$
$$2 = \frac{205}{\text{Kekuatan yang dibutuhkan}}$$

$$\text{Kekuatan yang dibutuhkan} = 102,5 \text{ MPa}$$

Berdasarkan hasil perhitungan maka kekuatan yang dibutuhkan pada engsel sebesar 102,5 Mpa. Namun tegangan yang terjadi pada engsel hanya sebesar 1,497 MPa, sehingga material pada engsel dapat dikatakan layak untuk digunakan karena tegangan pada engsel jauh lebih kecil daripada kekuatan yang dibutuhkan.

Jika sudut pemasangan engsel diperbesar maka gaya yang terjadi pada engsel lebih kecil daripada gaya semula. Sedangkan sebaliknya jika diperkecil maka gaya yang terjadi pada engsel lebih besar daripada gaya semula. Namun konsekuensinya jika sudut pemasangan engsel diperbesar akan memerlukan luas permukaan yang lebih besar pula, tetapi gaya yang akan dihasilkan menjadi lebih kecil. Berikut ini contoh perhitungan dengan sudut kemiringan engsel 16° :

$$\sum F_y = 0$$

$$F_B + F_D \sin 75 - F_1 \sin 16 + F_C \cos 15 = 0$$
$$168,648 + (- 450,819 \sin 75) - 0,275 F_1 + 0,96 F_C = 0 - 0,275 F_1 + 0,96 F_C = 266,809$$
$$- 0,275 (- 0,270 F_C + 121,415) + 0,96 F_C = 266,809$$

$$1,034 F_C = 300,198$$

$$F_C = 290,326 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$F_D \cos 75 + F_I \cos 16 + F_C \sin 15 = 0$$

$$- 450,819 \cos 75 + 0,961 F_I + 0,26 F_C = 0$$

$$0,961 F_I + 0,26 F_C = 116,680$$

$$F_I = - 0,270 F_C + 121,415$$

$$F_I = - 0,270 (290,326) + 121,415$$

$$F_I = 43,026 \text{ N}$$

Untuk tiap sisi maka :

$$\frac{F_I}{2} = \frac{43,026}{2} = 21,513 \text{ N}$$

$$\frac{F_C}{2} = \frac{290,326}{2} = 145,163 \text{ N}$$

Analisa RPN

RPN merupakan nilai yang menunjukkan prioritas resiko harus ditangani supaya tidak terjadi kegagalan yang lebih lanjut. Berdasarkan hasil perhitungan, dapat diketahui bahwa nilai RPN terbesar yaitu 56 terjadi pada *joint pipe*. Dimana las-lasan pada *joint pipe* tidak kuat untuk menahan beban sehingga dapat menyebabkan *joint pipe* patah. Nilai RPN 56 diperoleh dari perkalian rating keparahan, kejadian, dan deteksi. Dimana rating keparahan pada *joint pipe* sebesar 7 menunjukkan bahwa *joint pipe* patah dapat menyebabkan kinerja kursi lipat mengalami penurunan dan subsistem tidak dapat berfungsi, walaupun kursi lipat masih dapat digunakan tetapi berpotensi membahayakan pengguna. Nilai rating kejadian 8 menunjukkan kemungkinan tinggi untuk terjadinya *joint pipe* patah berdasarkan pengamatan di lapangan dan hasil penyebaran kuesioner.

Nilai RPN terbesar kedua 50 yang terjadi pada *joint metal* dengan moda kegagalan patah dikarenakan tidak mampu menahan beban yang berlebihan. Nilai RPN 50 diperoleh dari perkalian rating keparahan, kejadian, dan deteksi. Dimana rating keparahan pada *joint metal* sebesar 10 menunjukkan bahwa *joint metal* patah dapat mengakibatkan efek yang tiba-tiba dan berbahaya bagi pengguna sehingga kursi lipat menjadi tidak dapat digunakan. Nilai rating kejadian 5 menunjukkan kemungkinan sedikit untuk terjadinya *joint*

metal patah berdasarkan pengamatan di lapangan dan hasil penyebaran kuesioner.

Kemudian besarnya nilai RPN ketiga yaitu 42 yang terjadi pada komponen tambahan sekrup, dimana moda kegagalannya berupa sekrup lepas sehingga kursi lipat tidak dapat dipakai dengan nyaman. Potensi penyebabnya karena frekuensi pemakaian kursi lipat yang tinggi dan akibat triplek busuk karena terkena air. Nilai RPN 42 diperoleh dari perkalian rating keparahan, kejadian, dan deteksi. Dimana rating keparahan pada sekrup sebesar 6 menunjukkan bahwa kinerja kursi lipat mengalami penurunan tetapi bisa beroperasi dan aman. Nilai rating kejadian 7 menunjukkan kemungkinan agak tinggi untuk terjadinya sekrup lepas berdasarkan pengamatan di lapangan dan hasil penyebaran kuesioner.

Untuk nilai RPN keempat sebesar 40 yang terjadi pada komponen tambahan pin penghubung dan sekrup. Pada pin penghubung moda kegagalan yang terjadi berupa pin penghubung patah. Potensi penyebabnya karena tidak mampu menahan beban dalam kuantitas yang besar dan frekuensi pemakaian yang tinggi. Sedangkan moda kegagalan berikutnya yaitu komponen tambahan sekrup yang longgar sehingga sandaran atau dudukan kursi tidak dapat digunakan dengan nyaman. Potensi penyebabnya karena frekuensi pemakaian kursi lipat yang tinggi.

Pada nilai RPN selanjutnya potensi penyebab terjadinya kegagalan hampir sama seperti yang telah dijelaskan. Namun sebagai pengecualian nilai RPN 30, 18, dan 14. Nilai RPN 30 pada triplek, yaitu dengan moda kegagalan triplek busuk yang disebabkan oleh terkena air dengan frekuensi tinggi sehingga harus mengganti dengan triplek yang baru. Sedangkan nilai RPN 18 pada *seat (cover)* dengan moda kegagalan sobek dapat disebabkan oleh penyimpanan yang kurang baik sehingga terkena benda tajam dan penggunaan kursi lipat yang tidak sesuai dengan fungsinya untuk menahan beban manusia. Untuk nilai RPN 14 terjadi pada *back board, main seat, fore leg, rear leg, joint pipe, dan joint metal*.

Dimana moda kegagalannya berupa terjadinya karat pada rangka yang terbuat dari besi dan dilapisi dengan krom. Hal ini dapat terjadi karena perawatan yang kurang baik padahal penggunaan kursi lipat dapat digunakan pada ruangan tertutup dan terbuka, sehingga memungkinkan terkena air hujan.

Dengan demikian prioritas utama yang harus diperhatikan adalah moda kegagalan dengan nilai RPN yang besar dan mempunyai efek keparahan yang tinggi bagi pengguna. Moda kegagalan tersebut antara lain las-lasan pada *joint pipe* yang patah, *joint metal* patah, sekrup lepas, pin penghubung patah, dan sekrup longgar.

Analisa Perbandingan Perhitungan Gaya dan RPN

Berdasarkan hasil perhitungan gaya secara matematis dapat diketahui bahwa komponen kursi lipat yang menerima gaya paling besar akibat pembebanan adalah komponen pin penghubung dan *main seat*. Perhitungan matematis tersebut merupakan penggunaan kursi lipat secara ideal dengan memberikan beban sebesar 55 kg sesuai dengan SNI (Standar Nasional Indonesia) yang telah ditetapkan. Sedangkan berdasarkan fakta atau kenyataannya dengan penilaian RPN, komponen yang paling diprioritaskan untuk segera ditangani supaya tidak terjadi kegagalan lebih lanjut adalah komponen *joint pipe* yang patah. Perbedaan ini dapat disebabkan karena proses pengoperasian kursi lipat yang tidak sesuai dengan fungsi sehingga terdapat penyimpangan dalam pengoperasian kursi lipat yang dapat menyebabkan terjadinya moda kegagalan.

Analisa Perkiraan Biaya Perbaikan

Berdasarkan hasil perhitungan biaya perbaikan, maka dapat diketahui bahwa moda kegagalan yang mempunyai biaya perbaikan paling tinggi yaitu moda kegagalan triplek busuk dengan biaya perbaikan sebesar Rp. 21.450. Pengeluaran biaya perbaikan yang tinggi disebabkan karena moda kegagalan triplek busuk memerlukan perbaikan secara keseluruhan, mulai dari triplek, busa, cover, dan sekrup. Sehingga biaya yang dikeluarkan untuk

perbaikan triplek busuk cenderung paling tinggi diantara moda kegagalan lainnya.

Biaya perbaikan paling rendah adalah moda kegagalan *leg shoes* dan *plastic bracket* yang lepas dan retak yaitu sebesar Rp. 1100. Biaya yang dikeluarkan hanya biaya untuk pembelian *leg shoes* dan *plastic bracket* saja. Sedangkan biaya tenaga kerja tidak diperhitungkan karena tidak memerlukan tenaga kerja yang lebih untuk memasang *leg shoes* dan *plastic bracket*.

Rekomendasi

Berdasarkan hasil perhitungan nilai RPN dan perkiraan biaya perbaikan yang akan dikeluarkan, maka rekomendasi yang dapat dilakukan mengenai potensi moda kegagalan adalah :

1. Moda kegagalan las-lasan *joint pipe* patah dengan nilai RPN 56 dan biaya perbaikan sebesar Rp. 10.000. Untuk mengurangi terjadinya moda kegagalan ini, maka rekomendasi yang dapat dilakukan yaitu :
 - a. Bagian sambungan las-lasan diperkuat dengan menggunakan kualitas las yang kuat dan menambah jumlah titik pengelasan pada teknik pengelasan.
 - b. Mengganti jenis material dengan material yang lebih kuat.
 - c. Pengoperasian kursi lipat yang disesuaikan dengan fungsi kursi lipat sebagai tempat duduk.
2. Moda kegagalan *joint metal* patah dengan nilai RPN 50 dan biaya perbaikan sebesar Rp. 8025. Untuk mengurangi terjadinya moda kegagalan ini, maka rekomendasi yang dapat dilakukan yaitu :
 - a. Mengganti jenis material dengan material yang lebih kuat daripada material yang digunakan untuk rangka kursi lipat. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa fungsi *joint metal* sangat vital, karena tanpa adanya komponen ini maka kursi lipat tidak dapat digunakan.
 - b. Menggunakan material yang lebih tebal.
 - c. Beban yang dikenakan pada kursi lipat tidak berlebihan (kurang dari 110 kg sesuai dengan faktor

- kemanan yang dikenakan pada kursi lipat).
- d. Memasang joint metal dengan sudut pemasangan yang lebih besar dari semula.
3. Moda kegagalan sekrup lepas dengan nilai RPN 42 dan biaya perbaikan sebesar Rp. 5275. Untuk mengurangi terjadinya moda kegagalan ini, maka rekomendasi yang dapat dilakukan yaitu :
 - a. Memperbaiki teknik pemasangan sekrup supaya lebih kencang.
 - b. Proses pengoperasian kursi lipat harus diperhatikan supaya kursi tidak terkena air yang dapat mengakibatkan triplek busuk dan sekrup lepas.
 4. Moda kegagalan pin penghubung patah dengan nilai RPN 40 dan biaya perbaikan sebesar Rp. 5275. Untuk mengurangi terjadinya moda kegagalan ini, maka rekomendasi yang dapat dilakukan yaitu :
 - a. Menggunakan jenis material pin penghubung yang lebih kuat daripada material yang digunakan untuk rangka kursi lipat. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa pin penghubung menumpu gaya yang terjadi pada engsel/*joint metal*.
 - b. Pengoperasian kursi lipat yang disesuaikan dengan fungsi kursi lipat sebagai tempat duduk.
 - c. Beban yang dikenakan pada kursi lipat tidak berlebihan.
 5. Moda kegagalan sekrup longgar dengan nilai RPN 40 dan biaya perbaikan yang sama sebesar Rp. 5000. Untuk mengurangi terjadinya moda kegagalan ini, maka rekomendasi yang dapat dilakukan yaitu :
 - a. Memperbaiki teknik pemasangan sekrup supaya lebih kencang.
 6. Moda kegagalan *leg shoes* dan *plastic bracket* lepas dengan nilai RPN 36 dan biaya perbaikan tiap komponen sebesar Rp. 1100. Untuk mengurangi terjadinya moda kegagalan ini, maka rekomendasi yang dapat dilakukan yaitu :
 - a. Memperbaiki teknik pemasangan *leg shoes* dan *plastic bracket* lepas supaya tidak mudah lepas.
 7. Moda kegagalan triplek busuk dengan nilai RPN 30 dan biaya perbaikan sebesar Rp. 26.450. Untuk mengurangi terjadinya moda kegagalan ini, maka rekomendasi yang dapat dilakukan yaitu :
 - a. Mengganti triplek dengan jenis material yang tahan air seperti fiber/plastik.
 - b. Pengoperasian dan penyimpanan kursi lipat harus diperhatikan supaya tidak mudah terkena air yang dapat mudah diserap oleh triplek sehingga cepat busuk.
 8. Moda kegagalan pin penghubung melengkung dengan nilai RPN 27 dan biaya perbaikan sebesar Rp. 5275. Untuk mengurangi terjadinya moda kegagalan ini, maka rekomendasi yang dapat dilakukan yaitu :
 - a. Menggunakan jenis material pin penghubung yang lebih kuat daripada material yang digunakan untuk rangka kursi lipat. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa pin penghubung menumpu gaya yang terjadi pada engsel/*joint metal*.
 - b. Pengoperasian kursi lipat yang disesuaikan dengan fungsi kursi lipat sebagai tempat duduk.
 - c. Beban yang dikenakan pada kursi lipat tidak berlebihan (kurang dari 110 kg sesuai dengan faktor kemanan yang dikenakan pada kursi lipat).
 9. Moda kegagalan *leg shoes* dan *plastic bracket* retak dengan nilai RPN 25 dan biaya perbaikan tiap komponen sebesar Rp. 1100. Untuk mengurangi terjadinya moda kegagalan ini, maka rekomendasi yang dapat dilakukan yaitu :
 - a. Mengganti jenis material dengan material yang lebih kuat karena melihat dari sisi fungsi yang digunakan sebagai bantalan rangka kursi lipat yang menahan beban.
 - b. Pengoperasian kursi lipat yang disesuaikan dengan fungsi kursi lipat sebagai tempat duduk.

- c. Beban yang dikenakan pada kursi lipat tidak berlebihan (kurang dari 110 kg sesuai dengan faktor kemanan yang dikenakan pada kursi lipat).
10. Moda kegagalan *seat* sobek dengan nilai RPN 18 dan biaya perbaikan sebesar Rp. 18.500. Untuk mengurangi terjadinya moda kegagalan ini, maka rekomendasi yang dapat dilakukan yaitu :
- Mengganti jenis material *seat* dengan material yang lebih kuat dan tidak gampang sobek
 - Menggunakan material *seat* yang lebih tebal.
 - Pengoperasian kursi lipat yang disesuaikan dengan fungsi kursi lipat sebagai tempat duduk.
 - Penyimpanan kursi lipat diperhatikan untuk menghindari terkena benda tajam.
 - Himbauan kepada pengguna untuk memakai kursi lipat dengan baik dan benar tanpa merusak oleh perlakuan iseng pengguna.
11. Moda kegagalan *joint metal* aus dengan nilai RPN 16 dan biaya perbaikan sebesar Rp. 8025. Untuk mengurangi terjadinya moda kegagalan ini, maka rekomendasi yang dapat dilakukan yaitu :
- Melapisi rangka dan *joint metal* dengan lapisan krom yang lebih tebal supaya tidak mudah berkarat.
 - Mengganti jenis material rangka dan *joint metal* dengan material yang lebih kuat.
 - Penyimpanan kursi lipat diperhatikan supaya setelah pemakaian kursi lipat hendaknya segera dilipat rapi untuk menghindari terjadinya karat yang tebal pada *joint metal* sehingga tidak dapat dilipat kembali.
12. Moda kegagalan busa tipis atau keras dengan nilai RPN 15 dan biaya perbaikan sebesar Rp. 10.600. Untuk mengurangi terjadinya moda kegagalan ini, maka rekomendasi yang dapat dilakukan yaitu :
- Hendaknya mengganti busa jika busa sudah terasa tipis atau keras karena seringnya frekuensi pemakaian.
13. Moda kegagalan berkarat dengan nilai RPN 14 dan biaya perbaikan sebesar Rp. 10.000. Untuk mengurangi terjadinya moda kegagalan ini, maka rekomendasi yang dapat dilakukan yaitu :
- Melapisi material rangka dengan lapisan krom yang lebih tebal.
 - Mengganti jenis material rangka yang lebih tahan terhadap terjadinya karat.
 - Melakukan perawatan jika kursi lipat terkena air dengan mengelap dengan sedikit oli/solar.
 - Pengoperasian dan penyimpanan kursi lipat harus diperhatikan supaya tidak mudah terkena air sehingga cepat terjadi karat.
14. Moda kegagalan *rear leg* dan *fore leg* melengkung dengan nilai RPN 12 dan biaya perbaikan sebesar Rp. 5000. Untuk mengurangi terjadinya moda kegagalan ini, maka rekomendasi yang dapat dilakukan yaitu :
- Mengganti jenis material dengan material yang lebih kuat. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa fungsi *fore leg* dan *rear leg* sebagai rangka yang menopang beban.
 - Menggunakan material yang lebih tebal.
 - Pengoperasian kursi lipat yang disesuaikan dengan fungsi kursi lipat sebagai tempat duduk.
 - Beban yang dikenakan pada kursi lipat tidak berlebihan (kurang dari 110 kg sesuai dengan faktor kemanan yang dikenakan pada kursi lipat).
15. Moda kegagalan *rear leg* dan *fore leg* penyok dengan nilai RPN 4 dan biaya perbaikan sebesar Rp. 5000. Untuk mengurangi terjadinya moda kegagalan ini, maka rekomendasi yang dapat dilakukan yaitu :
- Mengganti jenis material dengan material yang lebih kuat. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa fungsi *fore leg* dan *rear leg* sebagai rangka yang menopang beban.

- b. Pengoperasian dan penyimpanan kursi lipat harus diperhatikan supaya tidak mudah penyok.

Analisa CATIA V5

Langkah-langkah yang dilakukan menggunakan program CATIA V5 :

1. Menggambar benda kerja langsung di program CATIA V5.
2. Memilih jenis material yang digunakan.
3. Membuat meshing pada benda kerja.
4. Memberi beban dan constrain atau penahan.

Beban dikenakan pada permukaan *main seat* sebesar 550 N arah Z positif.

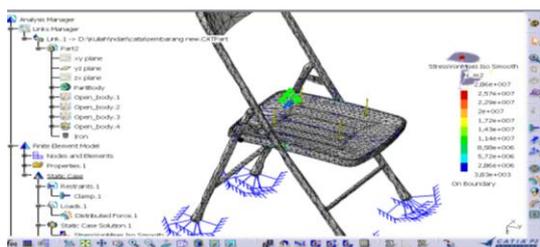
Constrain atau penahan dikenakan pada kaki-kaki kursi lipat yang menyentuh lantai.

5. Menganalisa

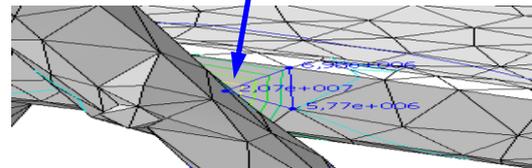
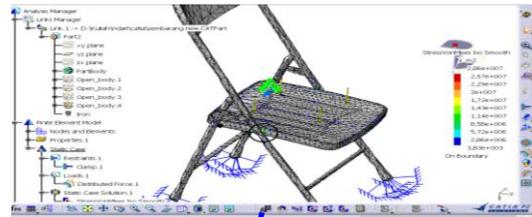
Hasil analisa CATIA pada kursi lipat ditunjukkan dalam bentuk gambar dan gaya-gaya yang bekerja pada titik kritis. Hasil analisa gambar menampilkan animasi gerakan dan kontur warna. Kontur berbagai warna menunjukkan besarnya tingkat gaya-gaya yang bekerja pada setiap titik. Penyebaran warna memperlihatkan distribusi gaya dan pemusatan lokasinya. Kontur warna yang semakin merah menunjukkan bahwa gaya yang bekerja semakin besar sehingga cenderung memiliki peluang untuk terjadi kegagalan.

Dengan menggunakan program CATIA V5 maka perhitungan gaya-gaya pada kursi lipat dapat dihitung lebih mudah dan dapat dilihat secara mendetail. Berikut ini adalah output dari program CATIA.

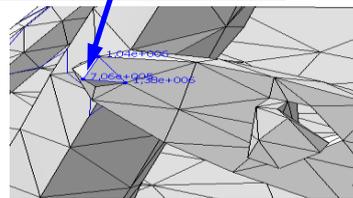
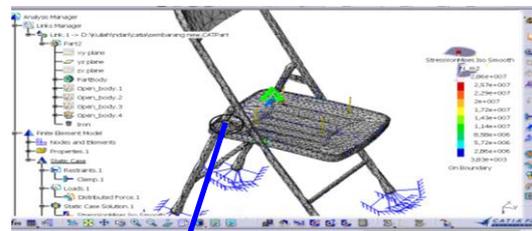
Pemeriksaan gaya yang bekerja pada satu titik berdasarkan warna yang ditunjukkan kontur warna. Titik kritis dapat diketahui dengan warna hijau kekuningan. Selanjutnya dilakukan pemeriksaan besarnya gaya yang bekerja pada titik tersebut.



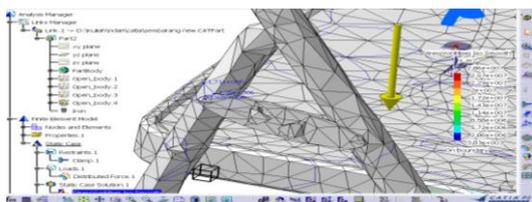
Gambar 7 Output CATIA



Gambar 8 Titik kritis pada output CATIA



Gambar 9 Tegangan pada pin dan engsel



Gambar 10 Tegangan pada batang rangka dan pin

Berdasarkan output CATIA di atas, maka dapat diketahui bahwa komponen kursi lipat yang cenderung mempunyai gaya yang besar dan berpotensi untuk terjadinya kegagalan adalah komponen pin penghubung dan *main seat*. Dimana besarnya tegangan pada pin penghubung dan *main seat* adalah sebesar $5,77 \times 10^6 - 2,07 \times 10^7 \text{ N/m}^2$.

Besarnya tegangan yang terjadi pada pin penghubung dan engsel berdasarkan output CATIA adalah $7,06 \times 10^5 - 1,38 \times$

10^6 N/m^2 . Sedangkan pada hasil perhitungan secara matematis tegangan pada pin penghubung diperoleh sebesar $1,497 \times 10^6 \text{ N/m}^2$.

Dari hasil analisa statis dengan program bantu CATIA V5, maka didapatkan tegangan yang terjadi pada setiap komponen kursi lipat. Tegangan yang didapat dari hasil analisa statis pada program CATIA V5 merupakan tegangan yang didapatkan dari pembebanan statis pada kursi lipat. Sehingga dari hasil analisa didapatkan tegangan pada setiap komponen kursi lipat.

Pada perhitungan matematis hasilnya lebih besar daripada perhitungan menggunakan program CATIA. Penyimpangan yang nilai tegangan yang didapatkan pada hasil perhitungan matematis dengan hasil analisa tegangan dengan program CATIA V5 adalah dikarenakan pada perhitungan matematis, pusat massa yang dikenakan pada kursi lipat berada tepat di pusat *main seat*, sedangkan pada output CATIA, massa yang dikenakan pada kusi lipat tersebar merata di permukaan *main seat*.

Secara perhitungan dan teoritis yang sesuai dengan output program CATIA, maka komponen yang berpotensi besar untuk gagal adalah pin penghubung dan *main seat*. Sedangkan pada kenyataannya, komponen yang sering gagal dan mengakibatkan biaya kegagalan adalah las-lasan *joint pipe* yang patah. Hal ini akan memberikan pertimbangan tersendiri bahwa faktor peluang terjadinya kegagalan harus diperhatikan untuk setiap komponen kursi lipat, sehingga terjadinya kegagalan dapat diminimalkan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perhitungan maka kekuatan yang dibutuhkan pada engsel sebesar 102,5 Mpa. Namun tegangan yang terjadi pada engsel hanya sebesar 1,497 MPa, sehingga material pada engsel dapat dikatakan layak untuk digunakan karena tegangan pada engsel jauh lebih kecil daripada kekuatan yang dibutuhkan. Potensi moda kegagalan yang dapat membahayakan pengguna dengan keparahan tinggi adalah pin penghubung patah, *joint metal* patah, pin penghubung melengkung, *joint metal*

melengkung, *joint metal* aus, las-lasan *joint pipe* patah.

Prioritas utama yang harus diperhatikan berdasarkan hasil perhitungan RPN adalah moda kegagalan las-lasan pada *joint pipe* yang patah dengan RPN sebesar 56, *joint metal* patah dengan RPN sebesar 50, sekrup lepas dengan RPN sebesar 42, pin penghubung patah dan sekrup longgar dengan RPN sebesar 40.

Berdasarkan hasil perhitungan perkiraan biaya dapat diketahui bahwa perkiraan biaya kegagalan yang paling tinggi sebesar Rp. 21.450 yaitu dengan moda kegagalan las-lasan *joint pipe* patah dan nilai RPNnya sebesar 56. Sedangkan biaya kegagalan yang terkecil sebesar Rp. 1100. yaitu dengan moda kegagalan *leg shoes* dan *plastic bracket* yang lepas dan retak.

Penggambaran geometri sebaiknya langsung pada program yang digunakan untuk menghindari terjadinya error atau kesalahan pada saat import file. Agar dapat menyempurnakan hasil analisa FMEA perlu dilengkapi dengan pendekatan metode FMEA yang terbaru.

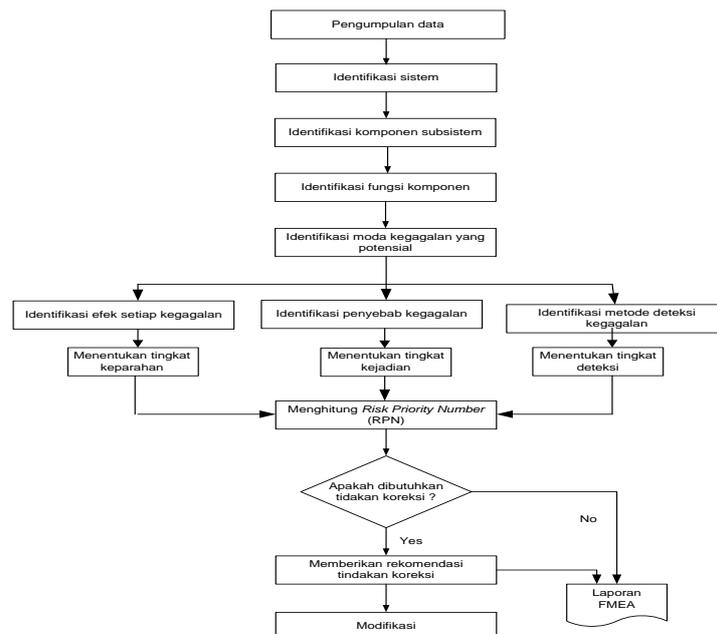
Proses pengoperasian kursi lipat sebaiknya sesuai dengan fungsinya sebagai tempat duduk, supaya tidak terjadi penyimpangan pengoperasian yang dapat menyebabkan terjadinya moda kegagalan. Jika terdapat penelitian yang serupa, maka angka probabilitas kejadian dapat diperoleh dari angka probabilitas kegagalan atau kerusakan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Callister, William., (1997), *Materials Science and Engineering An Introduction*, John Wiley and Sons Inc., Canada.
2. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), (2006), Packet, www.fmea.com akses tanggal 20 Maret
3. Ford Motor Company, (1992), *Potensial Failure Mode and Effect Analysis : System Design Process*.
4. Govil A. K., (1983), *Reliability Engineering*, Tata Mc – Graw Hill Publising Company Limited, New Delhi.
5. Harris, Tony., (2006), *CATIA V5 R16*.

6. Harsokusomo, H. D., (2000), *Pengantar Perancangan Teknik (Perancangan Produk)*. Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional, Bandung.
7. Jensen, Alfred. dan Chenoweth, Harry.,(1991), *Kekuatan Bahan Terapan*, Erlangga, Jakarta.
8. J. Rhee, Sheung dan Ishii, Kosuke, (2002), *Life Cost-Based FMEA Incorporating Data Uncertainty*. Proceedings of DETC2002, ASME Design Engineering Technical Conference. Montreal, Canada., pp. 1.
9. Kmenta, Steven, (1999), *Advanced Failure Modes and Effects Analysis of Complex Processes*, Proceedings of DETC99, ASME Design Engineering Technical Conference. Las Vegas, Nevada. , pp. 1.
10. Kmenta, Steven. dan Ishii, Kosuke. (2000). *Scenario-Based FMEA : A Life Cycle Cost Perspective*. Proceedings of DETC2000, ASME Design Engineering Technical Conference. Baltimore, Maryland.
11. Meriam, J.L. dan Kraige, L.G., (1994), *Mekanika Teknik Statika*, Erlangga, Jakarta.
12. Military Standard, (1980), *Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*, MIL-STD 1629A, USA.
13. Mohr R. R., (2002), *Failure Modes and Effect Analysis 8th edition*, Jacobs Sverdrup.
14. NASA Lewis Research Center, *Tools of Reliability Analysis – Introduction and FMEAs*.
15. Product Lifecycle Management, *Introductions to CATIA*. www.ibm.com/solutions/plm.
16. Reliability Edge Home, (2002), *Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*, Volume 3 Issue 2, www.weibull.com akses tanggal 20 Maret.
17. Risk-Based Decision-Making Guidelines Volume 3. (2002). *Procedures for Assessing Risks.*, www.fmeainfocentre.com akses tanggal 24 Maret.
18. Simatupang, Togar., (1995), *Pemodelan Sistem*, Nindita, Klaten.
19. Stamatis, D. H., (1995), *FMEA from Theory to Execution*, ASQC, Wisconsin.
20. Timoshenko, Stephen. dan Gere, James., (1996), *Mekanika Bahan*, Erlangga, Jakarta.

LAMPIRAN



Gambar 1 Prosedur FMEA

Tabel 2 Perhitungan RPN

No	Nama dan Fungsi Komponen	POTENSI MODA KEGAGALAN	RATING KEPARAHAN	RATING KEJADIAN	RATING DETEKSI	RPN
	Back board					
1.	Melindungi busa dan triplek Menahan beban sandaran punggung	Berkarat	2	7	1	14
	Seat					
2.	Menutup busa Melindungi main seat	Sobek	2	9	1	18
	Main seat					
3.	Melindungi busa dan triplek Menahan beban berat badan	Berkarat	2	7	1	14
	Fore leg	Berkarat	2	7	1	14
4.	Menyangga beban Menyeimbangkan kursi lipat	Melengkung Penyok	6 2	2 2	1 1	12 4
	Rear leg	Berkarat	2	7	1	14
5.	Menyangga beban Menyeimbangkan kursi lipat	Melengkung Penyok	6 2	2 2	1 1	12 4
	Joint pipe	Berkarat	2	7	1	14
6.	Mendistribusikan gaya akibat beban pada fore leg dan rear leg Menahan beban pijakan kaki	Las-lasan patah Melengkung	7 6	8 2	1 1	56 12
	Leg shoes	Lepas	6	6	1	36
7.	Menumpu beban Melindungi fore leg dan rear leg dari air atau kotoran Menyeimbangkan kursi lipat	Retak	5	5	1	25
	Joint metal	Berkarat	2	7	1	14
	Menghubungkan fore leg dan rear leg	Melengkung	8	3	1	24
	Memudahkan putaran pada saat membuka/melipat kursi	Aus	8	2	1	16
8.	Meneruskan beban pada fore leg dan rear leg Mengkaitkan dengan kursi yang lain supaya tertata rapi	Patah	10	5	1	50
	Plastic bracket	Lepas	6	6	1	36
9.	Menumpu beban pada fore leg Melindungi rear leg dari tumpuan beban fore leg	Retak	5	5	1	25
	Busa					
10.	Memberikan kenyamanan pada saat duduk	Busa tipis/keras	3	5	1	15
11.	Triplek Merekatkan seat dan busa	Triplek terkena air	5	6	1	30
	Pin penghubung	Patah	10	4	1	40
12.	Menghubungkan engsel dan rangka	Melengkung	9	3	1	27
	Sekrup	Longgar	5	8	1	40
13.	Menghubungkan rangka dan backboard/main seat	Lepas	6	7	1	42

Tabel 3 Biaya Perbaikan Kursi Lipat

No	Nama dan Fungsi Komponen	POTENSI MODA KEGAGALAN	BIAYA KEGAGALAN	
1.	Back board	Berkarat	Rp. 5000	
	Melindungi busa dan triplek Menahan beban sandaran punggung		Rp. 5000 (biaya tenaga)	
2.	Seat	Sobek	Rp. 13.500	
	Menutup busa Melindungi main seat		Rp. 5000 (biaya tenaga)	
3.	Main seat	Berkarat	Rp. 5000	
	Melindungi busa dan triplek Menahan beban berat badan		Rp. 5000 (biaya tenaga)	
4.	Fore leg	Berkarat	Rp. 5000	
	Menyangga beban	Berkarat	Rp. 5000 (biaya tenaga)	
	Menyeimbangkan kursi lipat	Melengkung	Rp. 5000	
		Penyok	Rp. 5000	
5.	Rear leg	Berkarat	Rp. 5000	
	Menyangga beban	Berkarat	Rp. 5000 (biaya tenaga)	
	Menyeimbangkan kursi lipat	Melengkung	Rp. 5000	
		Penyok	Rp. 5000	
6.	Joint pipe	Berkarat	Rp. 5000	
	Mendistribusikan gaya akibat beban pada fore leg dan rear leg	Berkarat	Rp. 5000 (biaya tenaga)	
		Las-lasan patah	Rp. 10.000	
	Menahan beban pijakan kaki	Melengkung	Rp. 5000	
7.	Leg shoes	Lepas	Rp. 1100	
	Menumpu beban		Rp. 1100	
	Melindungi fore leg dan rear leg dari air atau kotoran		Retak	Rp. 1100
	Menyeimbangkan kursi lipat			
8.	Joint metal	Berkarat	Rp. 5000	
	Menghubungkan fore leg dan rear leg		Rp. 5000 (biaya tenaga)	
	Memudahkan putaran pada saat membuka/melipat kursi	Melengkung	Rp. 5000	
		Aus	Rp. 3025	
	Meneruskan beban pada fore leg dan rear leg	Aus	Rp. 5000 (biaya tenaga)	
		Patah	Rp. 3025	
	Mengkaitkan dengan kursi yang lain supaya tertata rapi	Patah	Rp. 5000 (biaya tenaga)	
	9.	Plastic bracket	Lepas	Rp. 1100
Menumpu beban pada fore leg Melindungi rear leg dari tumpuan beban fore leg		Retak	Rp. 1100	
10.	Busa	Busa tipis/keras	Rp. 5600	
	Memberikan kenyamanan pada saat duduk		Rp. 5000 (biaya tenaga)	
11.	Triplek	Triplek busuk terkena air	Rp. 21.450	
	Merekatkan seat dan busa		Rp. 5000 (biaya tenaga)	
12.	Pin penghubung	Patah	Rp. 275	
	Menghubungkan engsel dan rangka	Melengkung	Rp. 5000 (biaya tenaga)	
		Melengkung	Rp. 275	
13.	Sekrup	Longgar	Rp. 5000	
	Menghubungkan rangka dan backboard/main seat	Lepas	Rp. 275	
				Rp. 5000 (biaya tenaga)

Sumber : Hasil Pengolahan Data