

Identifikasi Bahaya Kebakaran Mesin Hammer Mill dengan Mempertimbangkan Probabilitas Komponen dan *Human Reliability Assasement*

Indis Dwi Agustin¹, Haidar Natsir Amrullah^{1*}, Indri Santiasih², dan Jordan Syah Gustav³

¹Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

²Magister Teknik Keselamatan dan Resiko, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

³PT Charoen Pokphand Indonesia Sepanjang, Jl. Raya Suroboyo - Mojokerto KM 19, Bringin Wetan, Bringinbendo, Kec. Taman, Surabaya, Jawa Timur 61257

*E-mail: haidar.natsir@ppns.ac.id

Abstrak

Kebakaran pada proses penghancuran bahan baku (*grinding*) dengan menggunakan mesin *hammer mill* mengakibatkan kerugian dari segi waktu produksi, bahan baku, serta material pada industri *feed mill*. Kebakaran mesin *hammer mill* diakibatkan oleh faktor alat dan manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi bahaya dan probabilitas bahaya kebakaran dari segi alat dan manusia. Identifikasi bahaya kebakaran menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk mencari akar permasalahan. Penelitian ini menghitung probabilitas komponen menggunakan data TTF *safety device* dan mesin serta dilakukan perhitungan keandalan manusia menggunakan pendekatan *Human Reliability Assasement* (HRA) menggunakan metode *Human Error Assessment and Reduction Technique* (HEART) untuk menghitung probabilitas manusia. Metode HEART digunakan untuk mengukur kegagalan operator dalam melakukan tugasnya (*operator task*). Setelah dilakukan perhitungan probabilitas didapatkan frekuensi kebakaran tahunan sebesar 0,31455 pertahun. Berdasarkan hasil tersebut diperlukan tindakan pencegahan untuk mengurangi angka probabilitas kebakaran mesin *hammer mill*. Berdasarkan konsep ALARP nilai risiko diatas 10^{-3} dapat dikategorikan dalam wilayah 1 atau *intolerable*. Hal ini berarti risiko sangat tinggi sehingga tidak dapat diterima dan harus terdapat tindakan untuk meminimalisir yang ada.

Kata Kunci: *Fault Tree Analysis, Hammer Mill, Human Reliability Assasement, Keandalan Komponen.*

Abstract

Fires in the process of crushing raw materials (grinding) using a hammer mill machine result in losses in terms of production time, raw materials, and raw materials in the feed mill industry. Hammer mill machine fires are caused by tools and human factors. This study aims to identify the dangers and suspicions of fire hazards in terms of tools and people. Identification of fire hazards using the Fault Tree Analysis (FTA) method to find the root cause. This study calculates component probabilities using safety device and machine TTF data and calculates human penalties using the Human Reliability Assasement (HRA) approach using the Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART) method to calculate human eligibility. The HEART method is used to measure operator failure in carrying out their work (operator task). After doing the calculations, we get an annual fire frequency of 0.31455 per year. Based on these results, it is necessary to take preventive

measures to reduce the fire load rate of the hammer mill machine. Based on the ALARP concept, a risk value above 10^{-3} can be included in region 1 or intolerable. This means that the risk is so high that it is unacceptable and there must be action to minimize it.

Keywords: *Component Reliability, Fault Tree Analysis, Hammer Mill, Human Reliability Assessement.*

1. PENDAHULUAN

Industri *feedmill* merupakan industri yang bergerak dibidang pembuatan pakan ternak. Pada proses pembuatan pakan ternak terdapat proses grinding atau penghancuran bahan baku pakan ternak dengan menggunakan mesin *hammer mill*. Prinsip kerja utama mesin *hammer mill* yaitu dengan adanya tumbukan antara bahan baku pakan ternak dengan hammer yang berputar dalam mesin *hammer mill* (Mustakin, 2019). Pada proses penggilingan bahan baku menggunakan mesin *hammer mill* memiliki risiko kebakaran. Kebakaran dapat mengakibatkan terhentinya proses produksi, hilangnya waktu produksi, kerugian bahan baku yang terbakar, serta kerugian material. Menurut Jishkariani (2020), suatu kegagalan dapat disebabkan oleh sabotase, kegagalan perangkat lunak, kegagalan perangkat keras, kesalahan manusia, dan alasan serupa lainnya.

Penelitian ini membahas mengenai identifikasi bahaya, keandalan manusia serta komponen. Identifikasi bahaya dilakukan dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA). Metode FTA dilakukan untuk mencari akar permasalahan dari sebuah kejadian. Analisis FTA bersifat deduktif karena mengidentifikasi masalah dari umum ke khusus. dari masalah umum ke penyebab khusus (Ericson II, 2005). Pada metode FTA, analisis yang dilakukan yaitu dari atas ke bawah (*top-down*), dimana kejadian yang tidak diinginkan atau kegagalan suatu proses dijadikan *top event* yang akan diidentifikasi terlebih dahulu (Cipta N. dan Mulyati, 2021). Kelebihan metode FTA yaitu mudah untuk dilakukan, dipahami, memberikan wawasan sistem yang bermanfaat, dan menunjukkan segala kemungkinan penyebab masalah yang sedang diselidiki (Lukman, dkk., 2015).

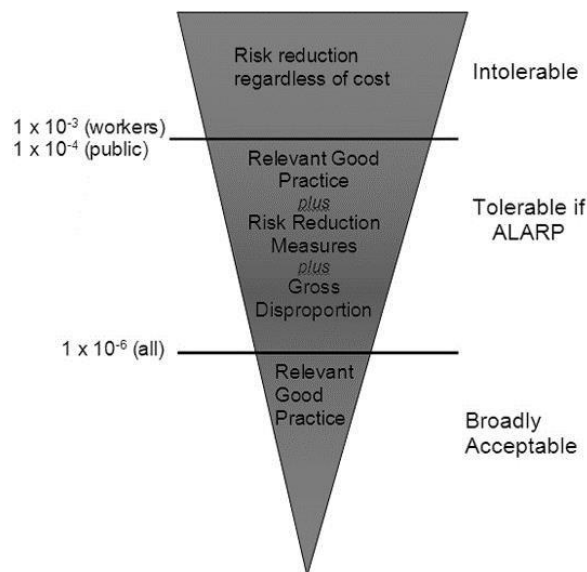
FTA mengacu pada semua kemungkinan kombinasi kerusakan. Identifikasi bahaya menggunakan FTA dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama yaitu menghitung *minimal cut set* dari daftar kejadian dasar yang diperlukan dan cukup yang menyebabkan kejadian puncak. Tahap kedua menghitung mode kegagalan sistem, peristiwa teratas, probabilitas atau frekuensi (Andrews dan Tolo, 2022).

Penelitian bertujuan untuk menghitung keandalan manusia dan komponen pada tindakan pencegahan dan penanggulangan kebakaran mesin *hammer mill*. Keandalan komponen dihitung menggunakan data TTF komponen selama empat tahun serta keandalan manusia menggunakan pendekatan *Human Reliability Assessment* (HRA) metode *Human Error Assessment and Reduction Technique* (HEART). HRA merupakan suatu pendekatan penilaian probabilitas manusia dalam melakukan pekerjaan sesuai dengan tujuan dan waktu yang telah ditentukan (Kirwan, 1994). Metode HEART digunakan untuk mengukur kegagalan operator dalam melakukan tugasnya (*operator task*) (Mas'idah, Syakhroni dan Rachmawati, 2019). Menurut Penelitian review mengenai HRA oleh Bell dan Holroyd (2009), kelebihan metode ini yaitu mempunyai domain yang lebih luas selama memperhatikan keandalan manusia. Selain itu metode ini merupakan metode umum yang telah berhasil diterapkan di banyak industri termasuk kimia, nuklir, kereta api, medis, dan penerbangan. Menurut Hollanagel (2005), HRA mengidentifikasi kegagalan secara sistematis, baik secara normal maupun darurat. Oleh karena itu HRA dapat diterapkan dalam analisis dan penilaian bahaya dari segi kegagalan komponen dan tindakan darurat akibat kegagalan.

Hasil dari penelitian ini berupa probabilitas terjadinya kebakaran tahunan. Hasil dari

probabilitas tahunan kebakaran dikategorikan tingkat risikonya berdasarkan konsep *as Low as Reasonably Practicable* (ALARP). Konsep ALARP merupakan salah satu konsep acuan untuk mendeskripsikan suatu tingkatan risiko pada suatu pekerjaan dengan meminimalkan risiko serta adanya penerapan penanggulangan yang diperlukan (Marfiana, Ritonga, dan Salsabiela, 2019). Dalam pengaplikasian konsep ALARP, adapun *The Risk Triangle* yaitu pembagian suatu penilaian risiko menjadi tiga kategori seperti yang tertuang dalam Gambar 1. Berikut merupakan tiga jenis kategori risiko dalam konsep ALARP (Cameron dan Raman, 2005):

- a. Wilayah 1: Risiko tidak dapat diterima (*Intolerable*)
Jika risiko berada di wilayah ini dimana memiliki nilai lebih dari 10^{-3} , maka risiko dikategorikan sangat tinggi sehingga ALARP tidak dapat diterima dan pengurangan risiko harus dilakukan terlepas dari biayanya.
- b. Wilayah 2: Risiko dapat ditoleransi jika ALARP (*Tolerable if ALARP*)
Risiko dapat ditoleransi jika bernilai 10^{-4} sampai 10^{-6} . Langkah-langkah pengurangan risiko atau demonstrasi ALARP harus diterapkan jika memungkinkan secara wajar. Kecuali jika adanya pengurangan risiko lebih lanjut yang tidak mungkin atau biayanya tidak proporsional dengan peningkatan yang diperoleh. Luasnya demonstrasi harus proporsional dengan tingkat risiko.
- c. Wilayah 3: Risiko dapat diterima secara luas (*Broadly Acceptable*)
Pada wilayah ini, risiko kurang dari 10^{-6} dimana harus dikelola untuk memastikan bahwa risiko tetap pada level ini. Jika memungkinkan diupayakan untuk adanya pengurangan risiko. Pada prinsipnya, konsep ALARP juga meluas ke wilayah ini. Demonstrasi ALARP dapat didasarkan pada kepatuhan terhadap kode, standar, dan praktik baik yang telah ditetapkan.



Gambar 1. Jenis Risiko Konsep ALARP
(*Health and Safety Executive, 2010*)

Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat mengetahui probabilitas tahunan kebakaran dengan tepat sehingga menghasilkan rekomendasi perbaikan untuk mengatasi penyebab dari akar permasalahan kebakaran mesin *hammer mill*. Rekomendasi tersebut akan dijadikan acuan tindakan perusahaan untuk melakukan tindakan pencegahan dan perbaikan agar bahaya kebakaran mesin *hammer mill* dapat terminimalisir dengan baik.

2. METODE

Penelitian menggunakan data primer dan sekunder. Data primer didapatkan dari *expert judgement* terhadap *manager maintenance*, operator *hammer mill*, dan pihak SHE perusahaan

industri *feed mill*. Sedangkan data sekunder meliputi studi pustaka mengenai mengenai FTA (*Fault Tree Analysis*), HRA (*Human Reliability Assessment*) dengan metode HEART (*Human Error Assessment and Reduction Technique*), keandalan komponen, dan OREDA *Handbook* tahun 2009. Selain itu, dilakukan juga pengambilan data sekunder melalui studi lapangan mengenai laporan kecelakaan kerja akibat kebakaran mesin *hammer mill 1*, data kegagalan mesin *hammer mill 1* selama 4 tahun, *manual book* mesin *hammer mill 1*, dan SOP proses *grinding*.

Data yang didapat dari studi literatur dan lapangan akan dilakukan pengolahan data. Tahapan pengolahan data adalah tahap dimana data-data yang telah diperoleh akan diolah untuk menyelesaikan permasalahan yang ada. Adapun pengolahan datanya sebagai berikut:

1. Melakukan identifikasi skenario tanggap darurat kebakaran mesin *hammer mill*. Skenario tersebut dianalisis berdasarkan SOP tanggap darurat kebakaran perusahaan. Pada skenario tersebut nantinya akan diidentifikasi berdasarkan faktor manusia serta faktor alat (*safety device*).
2. Melakukan perhitungan keandalan komponen berdasarkan data kegagalan dengan menggunakan software weibull++6. Adapun data kegagalan yang tidak terdapat dari perusahaan didapatkan dari data OREDA (2009) dan jurnal lain yang relevan.
3. Melakukan perhitungan faktor manusia menggunakan metode HEART (*Human Error Assessment and Reduction Technique*) sedangkan faktor alat dihitung berdasarkan data TTF dan TTR *safety device*. Perhitungan faktor manusia akan dibantu dengan *expert judgement* untuk menentukan nilai probabilitas keandalan manusia. *Expert judgement* terdiri dari *manager maintenance*, operator *hammer mill*, dan pihak SHE perusahaan industri *feed mill*.
4. Menghitung frekuensi kejadian dalam satu tahun menggunakan metode *Fault Tree Analysis* berdasarkan penyebab *human error* ataupun kegagalan alat.

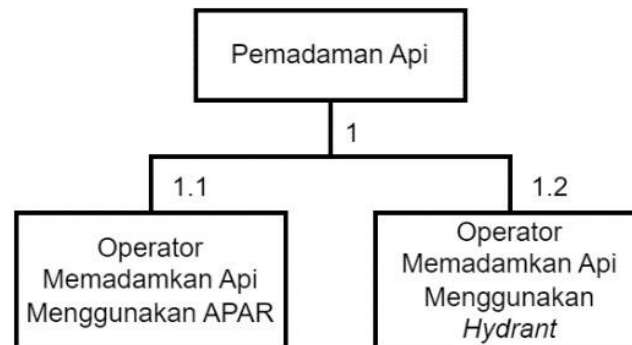
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Probabilitas kegagalan komponen mesin pada penelitian ini didapatkan dari data kegagalan komponen perusahaan. Sedangkan, untuk data kegagalan komponen pencegahan kebakaran seperti *hydrant* dan detektor didapatkan dari OREDA *Handbook* (2009) serta *fire alarm* didapatkan dari penelitian Chen (2011). probabilitas kegagalan komponen tertuang dalam Tabel 1.

Tabel 1. Probabilitas Kegagalan Komponen

No	Nama Komponen	R	P
1.	Sensor PT100	0,05317	0,94683
2.	<i>Automatic Stop Machine</i>	0,05317	0,94683
3.	Detektor	0,03763	0,96237
4.	<i>Fire Alarm</i>	0,99389	0,00611
5.	APAR	0,49885	0,50115
6.	<i>Hydrant</i>	0,00003	0,99997

Pada penelitian ini, penyebab kegagalan yang disebabkan oleh faktor manusia dianalisis menggunakan metode *human error assessment and reduction technique* (HEART). Metode ini akan digunakan untuk menghitung *error* dari pekerja dalam melakukan pemadaman kebakaran khususnya penggunaan APAR dan *hydrant*. Pada pemadaman api menggunakan alat pemadam api ringan (APAR) dan *hydrant* memiliki risiko adanya *human error* dalam pengoperasiannya. Perhitungan HRA dengan menggunakan metode HEART pada tindakan pemadam kebakaran dimulai dengan menyusun *hierarchical task analysis* (HTA). Adapun Gambar 2 merupakan susunan HTA dari tindakan pemadaman kebakaran.



Gambar 2. *Hierarchical Task Analysis* Tindakan Pemadaman Kebakaran

Setelah dilakukan penyusunan HTA, selanjutnya dilakukan penentuan *generic task*, *error producing condition* (EPCs) serta *assessed proportion of affect* (APOA) seperti Tabel 2 dan 3 berikut.

Tabel 3. Perhitungan HEP Operator Memadamkan Api menggunakan APAR

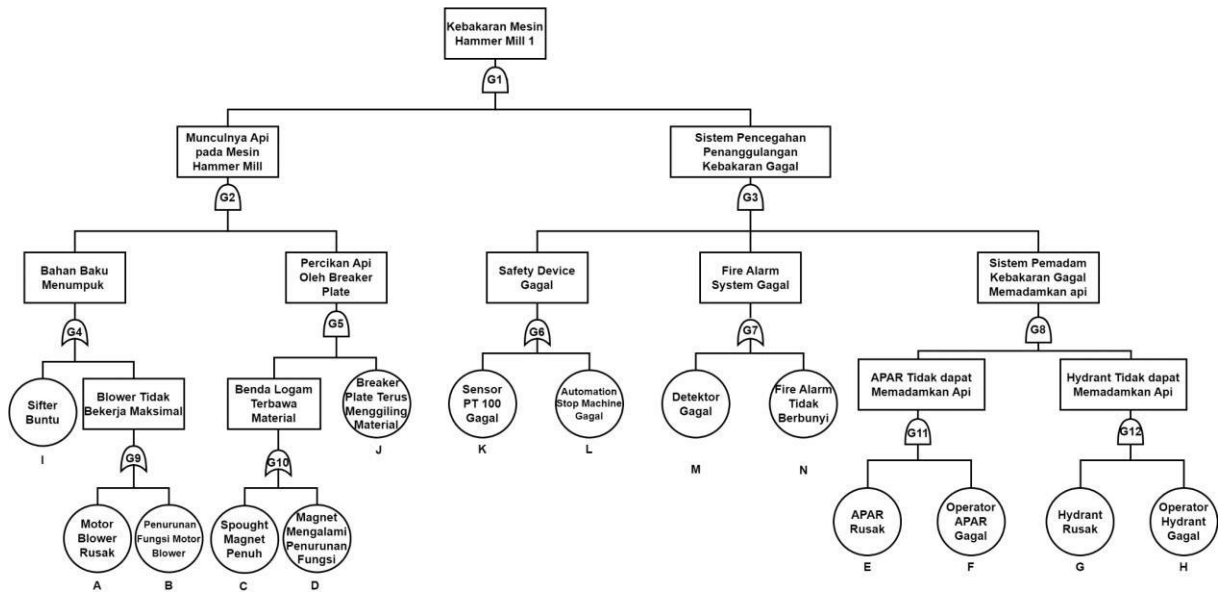
Deskripsi Aktivitas	Operator memadamkan api menggunakan APAR		
<i>Generic Task</i>	C. Pekerjaan bersifat kompleks, sehingga membutuhkan tingkat kemampuan dan perhatian yang tinggi		
<i>Nominal Human Error Probability</i>	0,16		
<i>Error Production Condition</i> (EPCs)	<i>Total Effect</i> (fi)	<i>Asseses Proportion</i> (pi)	<i>Assesed Effect</i> $AE = [pi(fi - 1) + 1]$
Tidak biasa dengan situasi, tetapi hanya terjadi sesekali atau baru terjadi	17	0,1	2,6
Operator yang tidak berpengalaman (contohnya,	3	0,3	1,6

pedagang yang baru dan berkualitas, tetapi tidak ahli)			
Peralatan instrument yang tidak handal	1,6	0,3	1,18
<i>Human Error Probability (HEP)</i>	0,78541		

Tabel 4. Perhitungan HEP Operator Memadamkan Api menggunakan Hydrant

Deskripsi Aktivitas	Operator memadamkan api menggunakan hydrant		
<i>Generic Task</i>	C. Pekerjaan bersifat kompleks, sehingga membutuhkan tingkat kemampuan dan perhatian yang tinggi		
<i>Nominal Human Error Probability I</i>	0,16		
<i>Error Production Condition (EPCs)</i>	<i>Total Effect (fi)</i>	<i>Asseses Proportion (pi)</i>	<i>Assesed Effect AE = [pi(fi - 1) + 1]</i>
Operator yang tidak berpengalaman (contohnya, pedagang yang baru dan berkualitas, tetapi tidak ahli)	3	0,9	2,8
Miskinnya kualitas dalam informasi yang disampaikan oleh prosedur dan interaksi antar manusia	3	0,1	1,2
Peralatan instrument yang tidak handal	1,6	0,9	1,54
Penambahan anggota team dan melebihi jumlah yang dibutuhkan untuk melaksanakan tugas secara normal dan memuaskan	1,03	0,2	1,006
<i>Human Error Probability (HEP)</i>	0,83287		

Analisis bahaya menggunakan FTA dilakukan untuk mengetahui akar penyebab kebakaran mesin. Adapun analisis kebakaran menggunakan metode FTA berikut:



Gambar 2. Fault Tree Analysis Kebakaran Hammer Mill

Berdasarkan analisis menggunakan FTA diatas didapatkan perhitungan probabilitas kebakaran tahunan seperti Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Perhitungan Probabilitas Kebakaran Menggunakan Metode Fault Tree Analysis

No	Event	Komponen	Kode	P. Komponen	Formula	Hasil
Perhitungan FTA Tingkat Bawah						
G9	Blower tidak bekerja maksimal	Motor blower rusak	A	0,99766	$P(A \text{ or } B)$ $(P_A + P_B) - (P_{A,B})$	0,99999
		Motor blower mengalami penurunan fungsi	B	0,99766		
G10	Benda logam terbawa material	Spout magnet penuh	C	0,99961	$P(C \text{ or } D)$ $(P_C + P_D) - (P_{C,D})$	1
		Magnet mengalami penurunan fungsi	D	0,99961		
G11	APAR tidak dapat memadamkan api	APAR rusak	E	0,50115	$P(E \text{ and } F)$ $(P_E \cdot P_F)$	0,39361
		Operator gagal mengoperasikan apar	F	0,78541		
G12	Hydrant tidak dapat memadamkan api	Hydrant tidak dapat dioperasikan	G	0,99997	$P(E \text{ and } F)$ $(P_G \cdot P_H)$	0,83285
		Operator gagal mengoperasikan hydrant	H	0,83287		
Perhitungan FTA Tingkat Menengah 2						
G4	Bahan baku menumpuk	Sifter buntu	I	0,9999998	$P(G \text{ or } G9)$ $(P_G + P_{G9}) - (P_{G,G9})$	1
		Blower tidak bekerja maksimal	G9	0,99999		
G5	Percikan api oleh breaker plate	Benda logam terbawa material	G10	1	$P(G10 \text{ and } H)$ $(P_{G10} \cdot P_H)$	0,99966
		Breaker plate terus menggiling material	J	0,99966		

No	Event	Komponen	Kode	P. Komponen	Formula	Hasil
G6	<i>Safety device</i> gagal	Sensor PT 100 tidak mendeteksi kenaikan suhu	K	0,94683	$P(I \text{ or } J) - (P_I + P_J) - (P_{I,J})$	0,99717
		<i>Automation stop machine</i> gagal	L	0,94683		
G7	<i>Fire alarm system</i> gagal	Detektor gagal	M	0,96237	$P(K \text{ or } L) - (P_K + P_L) - (P_{K,L})$	0,9626
		<i>Fire alarm</i> tidak berbunyi	N	0,00611		
G8	Sistem pemadam kebakaran gagal memadamkan api	APAR tidak dapat memadamkan api	G11	0,39361	$P(G_{11} \text{ and } G_{12}) - (P_{G_{11}} \cdot P_{G_{12}})$	0,32781
		<i>Hydrant</i> tidak dapat memadamkan api	G12	0,83285		
Perhitungan FTA Tingkat Menengah 1						
G2	Munculnya api pada mesin <i>hammer mill</i>	Bahan baku menumpuk	G4	1	$P(G_4 \text{ and } G_5) - (P_{G_4} \cdot P_{G_5})$	0,99966
		Percikan api oleh breaker plate	G5	0,99966		
G3	Sistem pencegahan penanggulangan kebakaran gagal	<i>Safety device</i> gagal	G6	0,99717	$P(G_6 \text{ and } G_7 \text{ and } G_8) - (P_{G_6} \cdot P_{G_7} \cdot P_{G_8})$	0,31466
		<i>Fire alarm system</i> gagal	G7	0,9626		
		Sistem pemadam kebakaran gagal memadamkan api	G8	0,32781		
Perhitungan FTA Top Event						
G1	Kebakaran mesin <i>hammer mill</i> 1	Munculnya api pada mesin <i>hammer mill</i>	G2	0,99966	$P(G_2 \text{ and } G_3) - (P_{G_2} \cdot P_{G_3})$	0,31455
		Sistem pencegahan penanggulangan kebakaran gagal	G3	0,31466		

Berdasarkan tabel diatas didapatkan jumlah probabilitas kebakaran tahunan sebesar 0,31455 pertahunnya. Probabilitas terjadinya kebakaran mesin *hammer mill* sebesar 0,31455 berada diatas 10^{-3} . Berdasarkan konsep ALARP nilai risiko diatas 10^{-3} dapat dikategorikan dalam wilayah 1 atau intolerable. Hal ini berarti risiko sangat tinggi sehingga tidak dapat diterima dan harus terdapat tindakan untuk meminimalisir yang ada. Berdasarkan hasil tersebut diperlukan tindakan pencegahan untuk mengurangi angka probabilitas kebakaran mesin *hammer mill*. Berikut merupakan rekomendasi yang harus dilakukan untuk meminimalisir adanya peluang kebakaran:

1. Melakukan penggantian dan pembersihan rutin pada komponen *breaker plate*, *sifter*, dan *spout magnet*. Penggantian komponen breaker plate dilakukan untuk mengurangi probabilitas kegagalannya sehingga probabilitas kegagalan breaker plate menjadi 0. Selain itu, pembersihan rutin juga dapat dilakukan untuk meminimalisasi breaker plate yang aus karena terus menggiling, kebuntuan *sifter*, dan penumpukan material logam yang mengakibatkan daya tarik pada magnet berkurang. Pengecekan terhadap kualitas daya tarik magnet terhadap logam juga perlu dilakukan untuk mengetahui kinerja *spout magnet*.
2. Melakukan penambahan komponen sensor induksi. Sensor induksi berfungsi untuk mendeteksi keberadaan logam yang bercampur dengan bahan baku pakan ternak.
3. Melakukan otomatisasi pada *screening* bahan baku sebelum dilakukan penggilingan dimana bahan yang dipilih diupayakan memiliki kualitas yang baik dan tidak bercampur dengan

logam, pasir, kayu, maupun benda asing lainnya yang dapat menimbulkan gesekan berlebih dengan *breaker plate* ketika menggiling.

4. Membuat penjadwalan perawatan mesin menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance II* (RCM II).
5. Penambahan sensor PT 100 agar dapat mem-*backup* jika terjadi kerusakan pada sensor sebelumnya. Penempatan sensor PT 100 dapat dipasang pada area atas sebelum pada penggilingan dengan *breaker plate* mesin *hammer mill*. Dengan penambahan sensor suhu ini, diharapkan nantinya suhu pada area atas dan tengah proses penghancuran bahan pakan dapat termonitoring dengan baik.
6. Melakukan penyetingan *stop machine* pada suhu 75 derajat celcius yang diintegrasikan dengan control motor sesuai dengan standar *manual book* mesin. Pengujian kevalidan sensor juga perlu dilakukan agar sistem safety device beroperasi dengan tepat.
7. Melakukan inspeksi yang termonitoring secara rutin pada APAR dan *hydrant*. Inspeksi APAR dilakukan dengan pengecekan kondisi fisik, tekanan, kualitas isi, dan tanggal kadaluarsa. Sementara itu, inspeksi *hydrant* dilakukan dengan pengecekan kondisi fisik, tekanan, perpipaan, selang dan mesin.
8. Melakukan pengecekan periodik setahun sekali pada sistem detektor asap dan *fire alarm*. Pengecekan ini perlu dilakukan karena tidak adanya inspeksi dan pengujian pada detektor dan *fire alarm* pada industri. Hal ini perlu dilakukan untuk memastikan bahwa area produksi aman jika terjadi keadaan darurat.
9. Membentuk tim tanggap darurat khusus terutama pada pengoperasian *hydrant*. Tim tanggap darurat atau pemadam perlu dibentuk karena belum terdapat tim tanggap darurat khusus.
10. Melakukan pelatihan tanggap darurat untuk setiap pekerja terutama dalam pengoperasian APAR dan *hydrant*. Pelatihan ini dilakukan untuk menambah pengetahuan serta praktik pekerja untuk memadamkan api sehingga tidak hanya mengandalkan tim tanggap darurat saja ketika terjadi kebakaran. Dengan banyaknya pekerja yang terbiasa dalam memadamkan api menggunakan APAR maupun *hydrant*, pekerja akan terbiasa dengan situasi dan berpengalaman. Pekerja yang berpengalaman akan menurunkan nilai *Error Production Condition* (EPCs) pada *Human Reliability Assessment* (HRA) sehingga nilai *Human Error Probability* (HEP) menjadi turun juga.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa identifikasi bahaya menggunakan metode FTA serta perhitungan probabilitas dan *human reliability assessment* menggunakan metode HEART didapatkan hasil probabilitas adanya kebakaran tahunan sebesar 0,31455. Berdasarkan konsep ALARP nilai risiko diatas 10^{-3} dapat dikategorikan dalam wilayah 1 atau *intolerable*. Hal ini berarti risiko sangat tinggi sehingga tidak dapat diterima dan harus terdapat tindakan untuk meminimalisir yang ada.

5. DAFTAR NOTASI

P = *Probability*

R = *Reliability*

6. DAFTAR PUSTAKA

Andrews, J. and Tolo, S. (2022) 'Dynamic and Dependent Tree Theory (D2T2): A Framework for the Analysis of Fault Trees with Dependent Basic Events', *Reliability Engineering & System Safety*, p. 108959.

Bell, J. and Holroyd, J. (2009) 'Review of human reliability assessment methods Review of human reliability assessment methods'.

Cameron, I. and Raman, R. (2005) *Process Systems Risk Management*. Volume 6. Elsevier Academic Press.

Chen, Y. (2011) 'Reliability analysis of a fire alarm system', *Procedia Engineering*, 24, pp. 731–736.

Cipta N, K. and Mulyati, D.S. (2021) 'Usulan Perbaikan Kualitas Produk Labu Ukur Menggunakan Fault Tree Analysis (FTA) dan Failure Mode Effect Analysis (FMEA) di CV . X Retak / Pecah Cacat untuk apa barang atau hasil itu dimaksudkan atau dibutuhkan . Tujuan pengendalian 1 . Agar barang ha', *Journal Riset Teknik Industri*, Volume 1,(Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung), pp. 36–42.

Clifton A., E.I. (2005) *Hazard Analysis Techniques for System Safety*. Fredericksburg, Virginia: hn Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Health and Safety (2010) *Guidance on ALARP Decisions in COMAH, Health and Safety Executive*. Available at: http://www.hse.gov.uk/foi/internalops/hid_circs/permissioning/spc_perm_37/index.htm (Accessed: 20 July 2023).

Hollanagel, E. (2005) 'Human Reliability Assessment in Context', *Nuclear Engineering and Technology*, Vol. 37, N(April 2005), pp. 632–641.

Jishkariani, M. (2020) *Fault Tree Analysis (FTA) For Energy Enterprises*. Available at: <http://gidec.abe.kth.se/InnoCENS/>.

Kirwan, B. (1994) *A Guide to Practical Human Reliability Assessment*. London: Tailor & Francis.

Lukman, M. *et al.* (2015) 'Analisa Risiko Pengembalian Material Support pada Proyek EPCI BANUWATI-K Gas Compressor Platform', 4(1).

Mas'idah, E., Syakhroni, A. and Rachmawati, A.A. (2019) 'Analisis Kesalahan Manusia Pada Pengemudi Bus Rapid Transit (BRT) Menggunakan Metode Human Error Assessment And Reduction Technique (HEART) dan Systematic Human Error Reduction And Prediction (Studi Kasus : Brt Koridor I, Trans Semarang)', *OPSI*, 12(2), p. 77.

Migasian, J. (2019) 'Implementasi Job Safety Analysis (JSA) Sebagai Upaya Pencegahan Kecelakaan Kerja', 3(2), pp. 25–32.

Mustakin (2019) *Uji Sifat Fisik Hasil Penggilingan Jagung Menggunakan Hammer Mill sebagai Sumber Bahan Pakan*. Universitas Hasanuddin.

OREDA (2009) 'Offshore Reliability Data Handbook', *OREDA, Norway* [Preprint]. 5th Editio. Det Norske Veritas, NO 1322 Høvik, Norway.