

ANALISIS RISIKO PEKERJAAN PENGURASAN TANGKI ASAM FOSFAT MENGGUNAKAN METODE FTA

Nora Amelia Novitrie^{1*}, M. Choirul Rizal¹, Berliana Azzah Rahmadany¹

Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik
Perkapalan Negeri Surabaya¹

Jalan Teknik Kimia, Kampus ITS, Keputih Sukolilo, Surabaya

*E-mail: noranovitrie@ppns.ac.id

ABSTRAK

Asam fosfat adalah salah satu bahan kimia yang digunakan oleh industri pupuk dalam jumlah besar. Asam fosfat umumnya disimpan di dalam tangki dan menghasilkan lumpur endapan. Lumpur fosfor mengandung bahan – bahan logam yang berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan seperti seng, merkuri, kadmium, dan timbal. Asam fosfat pada konsentrasi tinggi dapat membahayakan keselamatan pekerja terutama ketika melakukan pekerjaan pembersihan tangki. Permasalahan tersebut akan diselesaikan pada penelitian ini dengan melakukan analisis risiko bahaya pekerjaan pengurasan tangki asam fosfat menggunakan metode Fault Tree Analysis (FTA). Hasil risiko tertinggi dari CSRA akan dianalisa dengan menggunakan FTA yaitu tertimbun sludge asam fosfat dan tertabrak alat mekanis. Hasil FTA pada risiko tertimbun sludge asam fosfat diperoleh sebanyak 14 basic cause yang turut berkontribusi pada terjadinya top event dengan 9 minimal cut sets dan FTA risiko tertabrak alat mekanis diperoleh sebanyak 12 basic cause yang turut berkontribusi pada terjadinya top event dengan 6 minimal cut sets.

Kata Kunci: Asam Fosfat, FTA, Tangki, Sludge

ABSTRACT

Phosphoric acid is one of the chemicals used by the fertilizer industry in large quantities. Phosphoric acid is generally stored in tanks and produces a sludge deposit. Sludge Phosphorus contains metal materials that are dangerous to health and the environment such as zinc, mercury, cadmium and lead. Phosphoric acid at high concentrations can endanger worker safety, especially when carrying out tank cleaning work. This problem will be resolved in this research by conducting a risk analysis of the hazards of phosphoric acid tank draining work using the Fault Tree Analysis (FTA) method. The highest risk results from CSRA will be analyzed using FTA, namely being buried in phosphoric acid sludge and being hit by a mechanical device. The FTA results on the risk of being buried in phosphoric acid sludge obtained 14 basic causes which contributed to the occurrence of the top event with 9 minimum cut sets and the FTA risk of being hit by a mechanical device obtained 12 basic causes which contributed to the occurrence of the top event with 6 minimum cut sets.

Keyword : Phosphoric Acid, FTA, Tank, Sludge

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Asam fosfat banyak digunakan pada industri, contohnya pada industri pupuk. Asam fosfat adalah asam mineral anorganik yang dikenal dengan rumus kimia H_3PO_4 (Warlinda, 2019). Asam fosfat merupakan salah satu bahan kimia yang krusial digunakan pada industri pupuk, sebagai perawatan permukaan logam dalam industri metalurgi, serta sebagai bahan aditif dalam industri makanan (Wiener, 2017).

Asam fosfat biasanya disimpan di dalam tangki sehingga menghasilkan lumpur endapan. Pada pekerjaan pengurasan tangki asam fosfat, pekerja mengeluarkan lumpur serta membersihkan tangki secara manual dan bergantian. Lumpur fosfor mengandung seng, merkuri, kadmium, dan timbal

dalam konsentrasi tinggi. Selain itu, lumpur fosfor dapat menimbulkan potensi bahaya bagi kesehatan manusia maupun lingkungan (tanah, air, udara) apabila tidak diolah, disimpan di udara terbuka, diangkut, atau dibuang (Salem *et. al.*, 2019).

Industri pupuk telah memiliki dokumen identifikasi bahaya menggunakan metode *Job Safety Analysis* (JSA) untuk pekerjaan pengurasan tangki asam fosfat. JSA biasanya tidak digunakan untuk meninjau desain atau memahami risiko bahaya dari suatu proses secara kompleks. Maka dari itu, perlu dilakukannya identifikasi bahaya serta pengendalian risiko pada pekerjaan pengurasan tangki asam fosfat secara komprehensif guna memberikan rekomendasi yang tepat bagi Perusahaan dengan menggunakan FTA

Fault Tree Analysis (FTA) adalah teknik analisis dengan pendekatan *top down*. FTA dimulai dengan mengidentifikasi kesalahan atau kegagalan dari suatu peristiwa, kemudian diteliti lebih dalam hingga menemukan kegagalan dasar (Nugraha, 2019). FTA disusun secara logis dan digambarkan dengan diagram pohon yang menjelaskan faktor-faktor penyebab dan hubungannya dengan kejadian utama (*top event*) (Budiyanto, 2020). Hasil penilaian risiko tertinggi yang telah diperoleh dari metode *Confined Space Risk Analysis* (CSRA) dianalisis kembali menggunakan metode FTA untuk mengetahui penyebab dasar kegagalan pada risiko tertinggi dari pekerjaan pengurusan tangki asam fosfat.

Identifikasi bahaya dan penilaian risiko menggunakan metode CSRA menghasilkan dua potensi bahaya dengan risiko *high* yaitu tertimbun *sludge* asam fosfat dan tertabrak alat mekanis. Selanjutnya dilakukan analisis lanjutan dengan menggunakan metode FTA untuk menemukan penyebab-penyebab dasar (*basic cause*). Analisis FTA dilakukan melalui proses diskusi bersama *expert judgement*. Hasil dari *Fault Tree Analysis* (FTA) digarapkan dapat digunakan untuk menganalisa risiko bahaya pekerjaan pengurusan tangki asam fosfat secara detail, spesifik, dan terstruktur

2. METODE PENELITIAN

Metode *Fault Tree Analysis* (FTA) digunakan untuk menganalisis lebih mendalam mengenai tahapan pekerjaan pengurusan tangki asam fosfat yang memiliki risiko tertinggi. Tahap pekerjaan dengan risiko tertinggi yang menjadi *top event* dalam analisis FTA diperoleh dari hasil analisis menggunakan CSRA yang menghasilkan nilai *extreme*. Apabila pada hasil analisis menggunakan CSRA tidak didapatkan nilai *extreme*, maka tahap pekerjaan yang dipilih yaitu tahap pekerjaan yang memiliki nilai *high*. Berikut ini merupakan tahap identifikasi penyebab dasar menggunakan metode FTA: (Ericson, 2015)

1. Penentuan *Top Event*

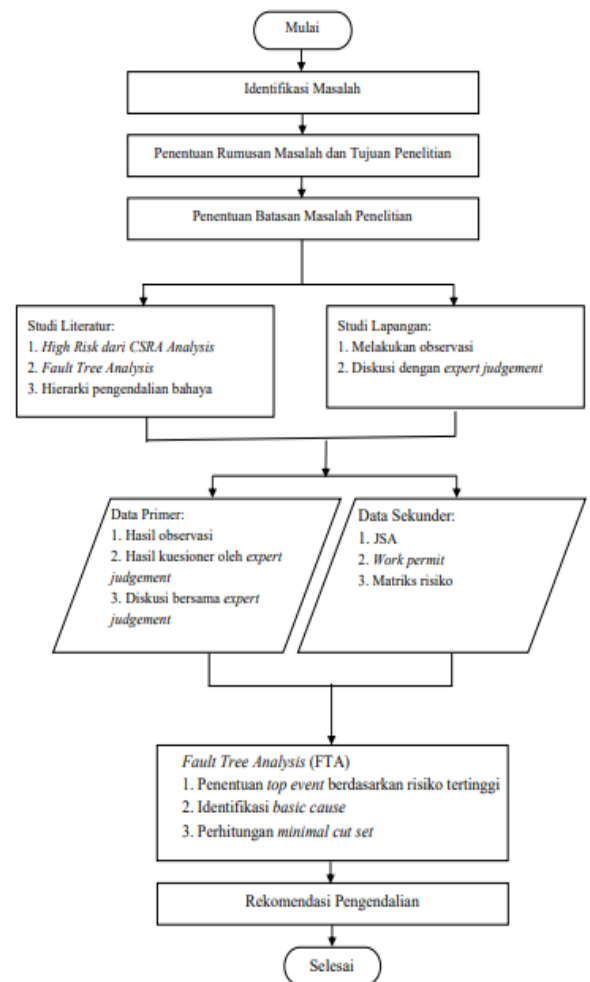
Top event dipilih berdasarkan tahap pekerjaan yang memiliki nilai risiko tertinggi dari hasil analisis menggunakan CSRA.

2. Identifikasi *Basic Cause*

Top event pada dasarnya memiliki penyebab dasar atau *basic cause* sehingga dapat terjadi sebuah kegagalan atau kejadian yang tidak diinginkan.

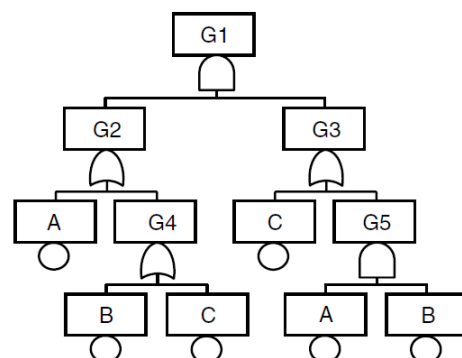
3. Perhitungan *Minimal Cut Set*

Basic cause yang telah diketahui dilakukan perhitungan *minimal cut set* untuk mengetahui kombinasi minimum yang berkontribusi pada terjadinya sebuah kegagalan atau kejadian yang tidak diinginkan (*top event*).



Gambar 1 Flowchart Penelitian.

Minimal Cut Set dihitung dengan menggunakan algoritma *Bottom-Up* merupakan kebalikan dari algoritma Mocus sehingga cara pengerjaan dimulai dari bawah ke atas. Gambar 2.4 menunjukkan proses perhitungan *minimal cut set* dengan menggunakan algoritma *Bottom-Up*.



$$\begin{aligned}
 G5 &= A \cdot B = AB \\
 G3 &= C + G5 = C + AB \\
 G4 &= B + C \\
 G2 &= A + G4 = A + B + C \\
 G1 &= G2 \cdot G3 \\
 &= (A + B + C)(C + AB) \\
 &= AC + AAB + BC + BAB + CC + CAB \\
 &= AC + AB + BC + AB + C + ABC \\
 &= C + AC + BC + AB + ABC \\
 &= C + AB
 \end{aligned}$$

Gambar 2. Perhitungan Minimal Cut Set dengan Algoritma Bottom-Up (Ericson, 2015)

3. PEMBAHASAN

Pekerjaan pengurusan tangki memiliki dua risiko tertinggi (*High*) yaitu tertimbun *sludge* asam fosfat dan tertabrak alat mekanis kemudian dilakukan analisis dengan metode FTA (Fault Tree Analysis) untuk menemukan penyebab-penyebab dasar (*basic cause*)

3.1 FTA Tertimbun Sludge Asam Fosfat

Diagram FTA dari tertimbun *sludge* asam fosfat yang merupakan *top event* memiliki 3 *intermediate event* dengan gate AND. Gate AND menandakan bahwa ketiga *intermediate event* harus terjadi secara bersamaan untuk mewujudkan terjadinya kejadian tertimbun *sludge* asam fosfat. Hasil identifikasi diagram FTA tertimbun *sludge* asam fosfat ditunjukkan dalam gambar 3 (terlampir)

Berdasarkan hasil analisis FTA dari risiko tertimbun *sludge* asam fosfat diperoleh sebanyak 14 *basic cause* yang turut berkontribusi pada terjadinya *top event* (TE). Setiap event diberikan sebuah kode untuk mempermudah tahap perhitungan *minimal cut set*. *Intermediate event* diberikan penamaan kode G1 hingga G11, sedangkan *basic cause* diberikan penamaan kode E1 hingga E8. Terdapat perbedaan jumlah *basic cause* dengan kode karena ditemukan beberapa *basic cause* yang sama

Pembacaan diagram FTA dimulai dari *top event* (TE) tertimbun *sludge* asam fosfat menuju *intermediate event* 1 yaitu pekerja tidak menggunakan APD (G1) disebabkan oleh APD tidak layak pakai (G4) atau APD belum tersedia (G5). G4 terjadi karena salah satu *basic cause* yaitu belum dilakukan inspeksi APD oleh manajemen (E1) atau perawatan APD yang buruk (E2) sedangkan G5 terjadi karena komitmen manajemen lemah terhadap K3 (E3) atau ketersediaan dana yang minim (E4). *Intermediate event* lainnya juga dibaca dengan cara yang sama.

Perhitungan *cut set* dilakukan dari *top event* (TE) risiko tertimbun *sludge* asam fosfat dengan metode *bottom up* menggunakan penyederhanaan aljabar Boolean berikut ini:

1. *Cut set* G1
 - a. G4 = E1 + E2
 - b. G5 = E3 + E4

- G1 = E4 + E5
= E1 + E2 + E3 + E4
 2. *Cut set* G2
 - a. G10 = E4 + E5
G6 = G10 + E3
= E4 + E5 + E3
 - b. G11 = E3 + E7
G7 = E6 + G11
= E6 + E3 + E7
G2 = G6 + G7
= E4 + E5 + E3 + E6 + E3 + E7
 3. *Cut set* G3
 - a. G8 = E4 + E7
 - b. G9 = E4 + E8
G3 = G8 + G9
= E4 + E7 + E4 + E8

Berdasarkan perhitungan *cut set*, diperoleh hasil untuk *top event* tertimbun *sludge* asam fosfat seperti berikut ini.

$$\begin{aligned}
 TE &= G1.G2.G3 \\
 &= (E1 + E2 + E3 + E4) \cdot (E4 + E5 + E3 + E6 + E3 + E7) \cdot (E4 + E7 + E4 + E8)
 \end{aligned}$$

Perhitungan *minimal cut set* menggunakan perangkat lunak TopEvent FTA untuk mempermudah pengerjaan dan mendapatkan hasil yang akurat. Hasil dari perhitungan *minimal cut set* tertimbun *sludge* asam fosfat menggunakan perangkat lunak TopEvent FTA disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Minimal cut set tertimbun *sludge* asam fosfat

No	Minimal Cut Set
1	Event4
2	Event1 x Event7
3	Event2 x Event7
4	Event3 x Event7
5	Event3 x Event8
6	Event1 x Event5 x Event8
7	Event1 x Event6 x Event8
8	Event2 x Event5 x Event8
9	Event2 x Event6 x Event8

Berdasarkan Tabel 1 diketahui bahwa *minimal cut sets* (MCSs) dari risiko bahaya tertimbun *sludge* asam fosfat berjumlah 9 set. Terdapat 1 MCSs yang memiliki order 1, 4 MCSs yang memiliki order 2, dan 4 MCSs yang memiliki order 3. Hal tersebut dikarenakan terdapat *basic cause* yang sama dalam setiap ordernya seperti *basic cause* komitmen manajemen lemah mengenai K3 (E3) yang terdapat pada G5, G6 dan G7, *basic cause* ketersediaan dana yang minim (E4) yang terdapat pada G5, G6, G8, dan G9.

Diagram FTA risiko tertimbun *sludge* asam fosfat memiliki sebanyak 14 *basic cause* dengan kode E1 – E8 karena terdapat beberapa *basic cause* yang sama. Pemberian rekomendasi pengendalian (*risk control*) berdasarkan hierarki pengendalian bahaya pada setiap *basic cause* yang turut berkontribusi dalam

terjadinya kegagalan. Pemberian rekomendasi pengendalian disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Rekomendasi untuk Tertimbun Sludge Asam Fosfat

Kode	Basic Cause	Risk Control
E1	Belum dilakukan inspeksi APD oleh manajemen	1. Kontrol administrasi : mengadakan inspeksi APD setiap awal dilakukan pekerjaan, melakukan inspeksi berkala di area kerja
E2	Perawatan APD yang buruk	1. Eliminasi : membuang APD yang sudah tidak layak pakai 2. Substitusi : membeli APD baru 3. Kontrol administrasi : melakukan pendataan APD dan menyediakan tempat penyimpanan APD agar lebih rapi
E3	Komitmen manajemen lemah terhadap K3	1. Kontrol administrasi : mengkaji ulang kebijakan K3 yang telah dibuat dan melakukan perbaikan terkait hal yang perlu diubah, menyebarluaskan kebijakan K3 yang telah dibuat kepada seluruh pekerja, orang lain selain pekerja yang berada di perusahaan, dan pihak lain yang terkait
E4	Ketersediaan dana yang minim	1. Kontrol administrasi : melakukan pendataan kegiatan K3 yang dilakukan untuk mengatur pendanaan yang sesuai dengan kegiatan yang berlangsung

E5	Lokasi barak yang terbatas	1. Rekayasa teknik : menyediakan barak yang nyaman dengan memerhatikan hygiene dan sanitasi seperti toilet, ruang ganti, dan tempat sampah 2. Kontrol administrasi : memasang poster K3 tentang 5R, rambu membuang sampah pada tempatnya
E6	Tidak ada pemeriksaan kesehatan	1. Rekayasa teknik : menyediakan tenda kesehatan untuk pekerja pengurusan tangki 2. Kontrol administrasi : melakukan pendataan pemeriksaan kesehatan rutin oleh kontraktor untuk memantau kesehatan fisik serta mental <i>manpower</i> , memasang banner K3 mengenai pentingnya menjaga kesehatan fisik dan mental
E7	Jumlah pekerja terbatas	1. Rekayasa teknik : menyediakan barak yang nyaman untuk istirahat 2. Kontrol administrasi : mengatur jam kerja (<i>shift</i>) dan waktu istirahat yang sesuai dengan peraturan, memasang <i>safety sign</i> , melakukan <i>safety briefing</i> setiap sebelum bekerja, pemantauan pekerjaan oleh <i>safety officer</i> 3. APD : penggunaan <i>safety helmet</i> , <i>safety shoes</i> ,

		masker gas, goggles, wearpack/rompi
E8	Tidak tersedia asam fosfat kualitas baik dari negara pemasok	<ol style="list-style-type: none"> 1. Substitusi : mencari negara pemasok lain yang memiliki asam fosfat kualitas baik 2. Rekayasa teknik : melakukan pengurusan tangki pada saat <i>sludge</i> asam fosfat memiliki ketinggian sekitar 1-1,5 meter 3. Kontrol administrasi : melakukan monitoring ketinggian <i>sludge</i> di dalam tangki dan membuat jadwal pengurusan tangki 4. APD : penggunaan <i>safety helmet</i>, <i>safety shoes</i>, masker gas, goggles, wearpack/rompi

3.2 FTA Tertabrak Alat Mekanik

Diagram FTA dari tertabrak alat mekanis yang merupakan *top event* memiliki 3 *intermediate event* dengan gate AND. Gate AND menandakan bahwa ketiga *intermediate event* harus terjadi secara bersamaan untuk mewujudkan terjadinya kejadian tertabrak alat mekanis. Hasil identifikasi diagram FTA tertabrak alat mekanis ditunjukkan dalam gambar 4. (terlampir)

Berdasarkan hasil analisis FTA dari risiko tertabrak alat mekanis diperoleh sebanyak 12 *basic cause* yang turut berkontribusi pada terjadinya *top event* (TE). Setiap *event* diberikan sebuah kode untuk mempermudah tahap perhitungan *minimal cut set*. *Intermediate event* diberikan penamaan kode G1 hingga G9, sedangkan *basic cause* diberikan penamaan kode E1 hingga E9.

Pembacaan diagram FTA dimulai dari *top event* (TE) tertabrak alat mekanis menuju *intermediate event* 1 yaitu alat mekanis tidak beroperasi dengan layak (G1) disebabkan oleh tidak dilakukan inspeksi rutin (G4) atau tidak dilakukan *maintenance* rutin (G5). G4 terjadi karena salah satu *basic cause* yaitu komitmen manajemen lemah terhadap K3 (E1) atau kurangnya SDM (E2) sedangkan G5 terjadi karena lokasi bengkel *maintenance* jauh (E3) atau

ketersediaan dana yang minim (E4). *Intermediate event* lainnya juga dibaca dengan cara yang sama.

Perhitungan *cut set* dilakukan dari *top event* (TE) risiko tertabrak alat mekanis dengan metode *bottom up* menggunakan penyederhanaan aljabar Boolean berikut ini:

1. *Cut set* G1
 - a. $G4 = E1 + E2$
 - b. $G5 = E3 + E4$
 - $G1 = E4 + E5$
 $= E1 + E2 + E3 + E4$
2. *Cut set* G2
 - a. $G6 = G8 \cdot E7$
 $= (E6 + E1) \cdot E7$
 - b. $G7 = G9 + E1$
 $= E5 + E4 + E1$
 - $G2 = G6 + G7$
 $= ((E6 + E1) \cdot E7) + E5 + E4 + E1$
3. *Cut set* G3
 $G3 = E8 + E9$

Berdasarkan perhitungan *cut set*, diperoleh hasil untuk *top event* tertabrak alat mekanis seperti berikut ini.

$$\begin{aligned}
 TE &= G1 \cdot G2 \cdot G3 \\
 &= (E1 + E2 + E3 + E4) \cdot ((E6 + E1) \cdot E7) + \\
 &\quad E5 + E4 + E1 \cdot (E8 + E9)
 \end{aligned}$$

Perhitungan *minimal cut set* menggunakan perangkat lunak TopEvent FTA untuk mempermudah pengerjaan dan mendapatkan hasil yang akurat. Hasil dari perhitungan *minimal cut set* tertabrak alat mekanis menggunakan perangkat lunak TopEvent FTA disajikan dalam Tabel 4.10.

Tabel 3 Minimal cut set tertabrak alat mekanis

No	<i>Minimal Cut Set</i>
1	<i>Event1 x Event8 x Event9</i>
2	<i>Event4 x Event8 x Event9</i>
3	<i>Event2 x Event5 x Event8 x Event9</i>
4	<i>Event3 x Event5 x Event8 x Event9</i>
5	<i>Event2 x Event6 x Event7 x Event8 x Event9</i>
6	<i>Event3 x Event6 x Event7 x Event8 x Event9</i>

Berdasarkan Tabel 2 diketahui bahwa *minimal cut sets* (MCSs) dari risiko bahaya tertabrak alat mekanis berjumlah 6 *set*. Terdapat 2 MCSs memiliki order 3, 2 MCSs memiliki order 4, dan 2 MCSs memiliki order 5. Hal tersebut dikarenakan terdapat *basic cause* yang sama dalam setiap ordernya seperti *basic cause* komitmen manajemen lemah mengenai K3 (E3) yang terdapat pada G4, G7, dan G8, *basic cause* ketersediaan dana yang minim (E4) yang terdapat pada G5 dan G9.

Diagram FTA risiko tertabrak alat mekanis memiliki sebanyak 12 *basic cause* dengan kode E1 – E9 karena terdapat beberapa *basic cause* yang sama. Pemberian rekomendasi pengendalian (*risk control*) berdasarkan hierarki pengendalian bahaya pada

setiap basic cause yang turut berkontribusi dalam terjadinya kegagalan. Pemberian rekomendasi pengendalian disajikan dalam Tabel 4.

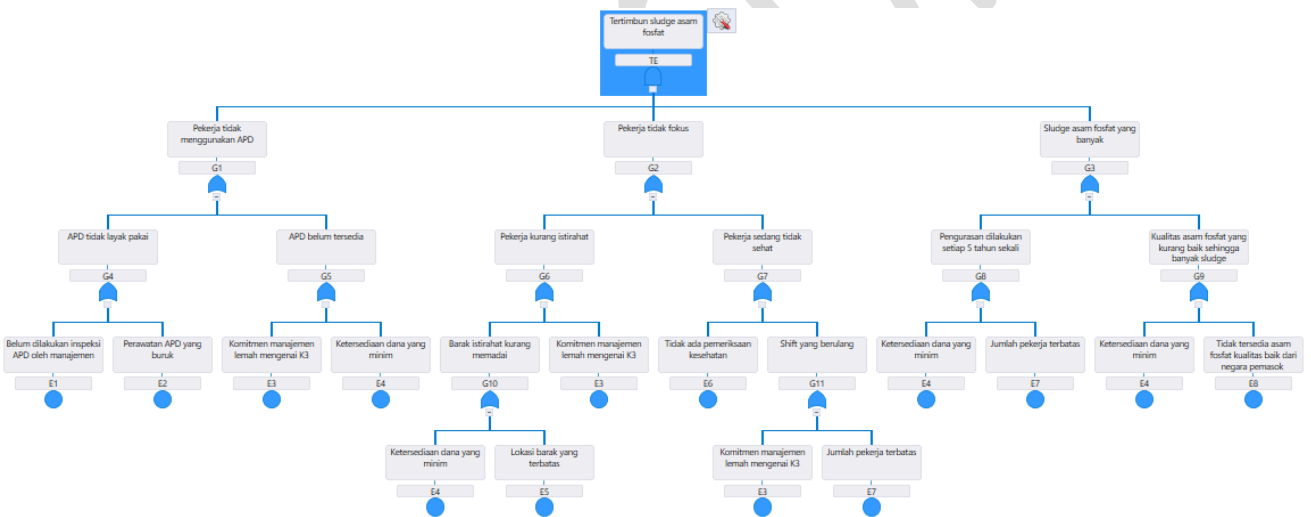
Tabel 4. Rekomendasi untuk Tertabrak Alat Mekanis

Kode	Basic Cause	Risk Control
E1	Komitmen manajemen lemah terhadap K3	1. Kontrol administrasi : mengkaji ulang kebijakan K3 yang telah dibuat dan melakukan perbaikan terkait hal yang perlu diubah, menyebarluaskan kebijakan K3 yang telah dibuat kepada seluruh pekerja, orang lain selain pekerja yang berada di perusahaan, dan pihak lain yang terkait
E2	Kurangnya SDM	1. Rekayasa teknik : membuka lowongan pekerjaan untuk teknisi 2. Kontrol administrasi : membuat jadwal perencanaan inspeksi rutin untuk setiap alat mekanis
E3	Lokasi bengkel <i>maintenance</i> jauh	1. Rekayasa teknik : menyediakan <i>tool kit</i> darurat untuk perbaikan ringan alat mekanis 2. Kontrol administrasi : membuat jadwal pemeliharaan rutin alat mekanis untuk dibawa ke bengkel, membuat informasi pengumuman mengenai alat mekanis yang sedang dilakukan <i>maintenance</i>

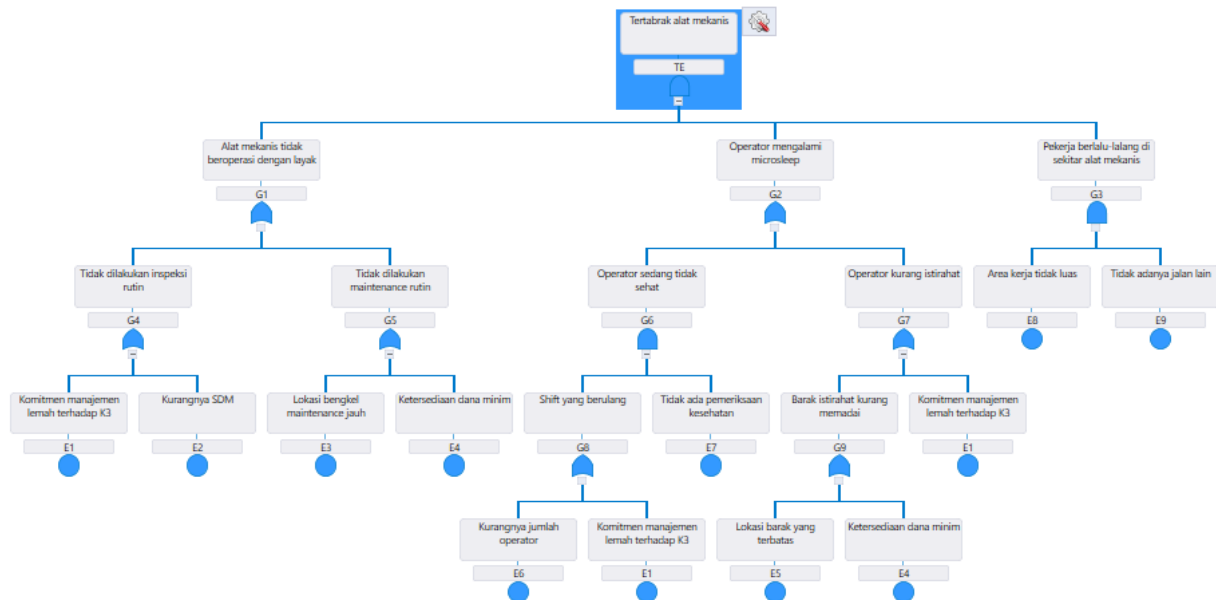
E4	Ketersediaan dana yang minim	1. Kontrol administrasi : melakukan pendataan kegiatan K3 yang dilakukan untuk mengatur pendanaan yang sesuai dengan kegiatan yang berlangsung
E5	Lokasi barak yang terbatas	1. Rekayasa teknik : menyediakan batak yang nyaman dengan memerhatikan hygiene dan sanitasi seperti toilet, ruang ganti, dan tempat sampah 2. Kontrol administrasi : memasang poster K3 tentang 5R, rambu membuang sampah pada tempatnya
E6	Kurangnya jumlah operator	1. Substitusi : menyediakan operator cadangan 2. Rekayasa teknik : tidak dapat dilakukan 3. Kontrol administrasi : mengatur jam kerja operator agar sesuai dengan peraturan yang berlaku
E7	Tidak ada pemeriksaan kesehatan	1. Rekayasa teknik : menyediakan tenda kesehatan untuk pekerja pengurusan tangki 2. Kontrol administrasi : melakukan pendataan pemeriksaan kesehatan rutin oleh kontraktor untuk memantau kesehatan fisik serta mental <i>manpower</i> , memasang banner K3 mengenai

		pentingnya menjaga kesehatan fisik dan mental
E8	Area kerja tidak luas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rekayasa teknik : <i>sludge</i> yang sudah dicampur dengan phosphate rock segera dipindahkan ke <i>dump truck</i> untuk mengurangi tumpukan di sekitar tangki 2. Kontrol administrasi : memasang rambu keselamatan lalu lintas alat mekanis

E9	Tidak adanya jalan lain	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rekayasa teknik : membunyikan klakson/sirine saat alat mekanis berjalan mundur, memastikan kelistrikan alat mekanis berfungsi dengan baik 2. Kontrol administrasi : memasang rambu keselamatan lalu lintas alat mekanis 3. APD : <i>manpower</i> menggunakan <i>safety helmet</i>, <i>safety shoes</i>, <i>wearpack</i>/rompi
----	-------------------------	--



Gambar 3. Diagram FTA Tertimbun Sludge Asam Fosfat



Gambar 4. Diagram FTA Tertabrak Alat Mekanis

4. KESIMPULAN

1. Hasil FTA pada risiko tertimbun *sludge* asam fosfat diperoleh sebanyak 14 *basic cause* yang turut berkontribusi pada terjadinya *top event* dengan 9 *minimal cut sets*.
2. FTA risiko tertabrak alat mekanis diperoleh sebanyak 12 *basic cause* yang turut berkontribusi pada terjadinya *top event* dengan 6 *minimal cut sets*.

PUSTAKA

- [1] Aisyah, S. N. (2016). Hubungan Kepatuhan Instruksi Kerja dengan Perilaku Aman pada Karyawan bagian Mekanik PT. Indo Acidatama Tbk Kemiri Kebakkramat Karanganyar (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- [2] Ambarani, A. Y., & Tualeka, A. R. (2017). Hazard Identification And Risk Assessment (HIRA) Pada Proses Fabrikasi Plate Tanki 42-T-501a PT Pertamina (Persero) Ru Vi Balongan. *Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, 5(2), 192-203.
- [3] Arjuna, A. B., Adhiwikarta, M. J., & Febriani, C. A. (2022). Analisis Potensi Bahaya Pada Pekerjaan Pembersihan Tangki Penyimpanan Bahan Kimia Dengan Menggunakan Metode Job Safety Analysis. *Sisprotek*, 1(1), 27-31.
- [4] AS/NZS 2865:2001 Safe working in a confined space
- [5] Berry, C., & Allen McNeely, K. B. (2012). *A Guide to Safety in Confined Spaces*. Occupational Safety and Health Division, NC Department of Labor: Raleigh, NC, USA.
- [6] Brownstein, N. C., Louis, T. A., O'Hagan, A., & Pendergast, J. (2019). The role of expert judgment in statistical inference and evidence-based decision-making. *The American Statistician*, 73(sup1), 56-68.
- [7] Budiyo, M. A., & Fernanda, H. (2020). Risk assessment of work accident in container terminals using the fault tree analysis method. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(6), 466.
- [8] Burlet-Vienney, D., Chinniah, Y., Bahloul, A., & Roberge, B. (2015). Design and application of a 5 step risk assessment tool for confined space entries. *Safety science*, 80, 144-155.
- [9] Burlet-Vienney, D., Chinniah, Y., Bahloul, A., & Roberge, B. (2016). Risk analysis for confined space entries: Critical analysis of four tools applied to three risk scenarios. *Journal of occupational and environmental hygiene*, 13(6), D99-D108.
- [10] Chinniah, Yuvin. Bahloul, Ali. Burlet-Vienney, Damien. Roberge, B. (2017) Development of a Confined Space Risk Analysis and Work Categorization Tool.
- [11] Damien Burlet-Vienney, Yuvin Chinniah & Ali Bahloul. (2014). The Need for a Comprehensive Approach to Managing Confined Space Entry: Summary of the Literature and Recommendations for Next Steps, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 11:8, 485-498, DOI: 10.1080/15459624.2013.877589

- [12] Dewa, A. A. (2021). Analisis Risiko Pekerjaan Pengelasan di Confined Space dengan Metode Confined Space Risk Analysis (CSRA) dan Pembuatan Standard Operating Procedure (SOP).
- [13] Ericson, C. A. I. (2015). Hazard analysis techniques for system safety. John Wiley & Sons, Incorporated. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/coventry/detail.action?docID=7104428>.
- [14] Hartiningsih, D., Nugroho, A., & Novitrie, N. A. (2023, October). Penerapan Confined Space Entry Permit pada Industri Gas. In Conference on Safety Engineering and Its Application (Vol. 7, No. 1, pp. 253-262).
- [15] Ihsan, T., Hamidi, S. A., & Putri, F. A. (2020). Penilaian risiko dengan metode HIRADC pada pekerjaan konstruksi gedung kebudayaan Sumatera Barat. *Jurnal Civronlit Unbari*, 5(2), 67-74.
- [16] ISO 45001:2018 Sistem Manajemen K3.
- [17] Kirtiana, S. D. (2023). Analisis Risiko Pekerjaan di Confined Space Kapal Tanker Berbasis Confined Space Risk Analysis (CSRA) dan Fault Tree Analysis (FTA)
- [18] Mardlotillah, N. I. (2020). Manajemen risiko keselamatan dan kesehatan kerja area confined space. *HIGEIA (Journal of Public Health Research and Development)*, 4(Special 1), 315-327.
- [19] Mayadilani, A. M. (2020). Penggunaan HIRARC dalam Identifikasi Bahaya dan Penilaian Risiko pada Pekerjaan Bongkar Muat. *HIGEIA (Journal of Public Health Research and Development)*, 4(2), 245-255.
- [20] Nugraha, E., & Sari, R. M. (2019). Analisis Defect dengan Metode Fault Tree Analysis dan Failure Mode Effect Analysis. *Organum: Jurnal Saintifik Manajemen dan Akuntansi*, 2(2), 62-72.
- [21] Nuryono, A., & Aini, M. N. (2020). Analisis Bahaya dan Risiko Kerja di Industri Pengolahan Teh dengan Metode HIRA atau IBPR. *Journal of Industrial and Engineering System*, 1(1).
- [22] OHSAS 18001:2007 Occupational health and safety management systems. Requirements
- [23] Paul, S. S. (2016). Expert judgment in project management : Narrowing the theory-practice gap. Project Management Institute. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/coventry/detail.action?docID=4603817>.
- [24] Perbawa, A. P., Anindita, G., & Amrullah, H. N. (2018, December). Identifikasi Bahaya pada Hot Working di Confined Space Dengan HIRARC dan FTA. In Conference on Safety Engineering and Its Application (Vol. 2, No. 1, pp. 647-652).
- [25] Peraturan Menaker Nomor 11 Tahun 2023 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Di Ruang Terbatas.
- [26] Putranto, H. (2016). Cara Praktis Bekerja di Confined Space. *SENTIA* 2016, 8(2).
- [27] Rofiq, M. A., & Azhar, A. (2022). Hazards Identification and Risk Assessment In Welding Confined Space Ship Reparation PT. X With Job Safety Analysis Method. *BERKALA SAINSTEK*, 10(4), 175-186.
- [28] Salem, M., Souissi, R., Souissi, F., Abbes, N., & Moutte, J. (2019). Phosphoric acid purification sludge: Potential in heavy metals and rare earth elements. *Waste Management*, 83, 46-56.
- [29] Selman, J., Spickett, J., Jansz, J., & Mullins, B. (2018). An investigation into the rate and mechanism of incident of work-related confined space fatalities. *Safety science*, 109, 333-343.
- [30] Shafiee, M., Enjema, E., & Kolios, A. (2019). An integrated FTA-FMEA model for risk analysis of engineering systems: a case study of subsea blowout preventers. *Applied Sciences*, 9(6), 1192.
- [31] Soemohadiwidjojo, A. T. (2014). Mudah menyusun SOP. Penebar PLUS+.
- [32] Spellman, F. (2023). *Physical hazard control: Preventing injuries in the workplace*. Bernan Associates.
- [33] Stave, G. M., & Wald, P. H. (Eds.). (2016). *Physical and biological hazards of the workplace*. John Wiley & Sons, Incorporated. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/coventry/detail.action?docID=4745626>.
- [34] Susanti, D., Rosydhah, B. M., & Disrinama, A. (2018, December). ANALISA HUMAN ERROR PROBABILITY DALAM PROSES GRINDING MENGGUNAKAN METODE SLIM-AHP. In Conference on Safety Engineering and Its Application (Vol. 2, No. 1, pp. 491-496).
- [35] Undang-Undang. (1970). "Keselamatan Kerja." Sekretaris Jendral Kementerian Tenaga Kerja dan Transmigrasi RI. Jakarta: Kementerian Tenaga Kerja dan Transmigrasi RI. 1-15.
- [36] Urrohmah, D. S., & Riandadari, D. (2019). Identifikasi Bahaya Dengan Metode Hazard Identification, Risk Assessment and Risk Control (Hirarc) Dalam Upaya Memperkecil Risiko Kecelakaan Kerja Di Pt. Pal Indonesia. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 8(1), 34-40.
- [37] U.S. Bureau of Labor Statistics. (2020). "United States Departement of Labor." United States Departement of Labor. Juli 15. Accessed November 6, 2023. <https://www.bls.gov/iif/factsheets/fatal->

- [occupational-injuries-confined-spaces-2011-19.htm](#)
- [38] Warlinda, Y. A., & Zainul, R. (2019). Asam Posfat (H_3PO_4): Ionic Transformation of Phosphoric Acid in Aqueous Solution.
- [39] Wessiani, N. A., & Yoshio, F. (2018, April). Failure mode effect analysis and fault tree analysis as a combined methodology in risk management. In IOP conference series: materials science and engineering (Vol. 337, No. 1, p. 012033). IOP Publishing.
- [40] Wiener, M. S., & Valdez, B. (Eds.). (2017). Phosphoric Acid Industry - Problems and Solutions. InTech. doi: 10.5772/63661

DO NOT COPY