

Identifikasi Bahaya Proses Peleburan Besi dan Baja dengan Dapur Kupola menggunakan Metode *Fault Tree Analysis*

Fajrina Anggani¹, Dika Rahayu Widiana^{2*}, dan Aulia Nadia Rachmat¹

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

²Program Studi Magister Terapan Teknik Keselamatan dan Risiko, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

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

Abstrak

Proses peleburan besi dan baja di foundry pada perusahaan fabrikasi baja saat ini masih bersifat semi otomatis dimana operator memegang kendali kualitas proses sehingga perusahaan masih sangat tergantung pada keahlian dan ketelitian operator. Berdasarkan *Hazard Identification and Risk Assessment* (HIRA) perusahaan bagian *Foundry*, terdapat risiko terjadinya ledakan pada proses peleburan besi dan baja menggunakan kupola yang apabila dilakukan pengendalian masih memiliki resiko sisa yang tergolong moderate. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penyebab dasar terjadinya ledakan dengan mengidentifikasi pola kegagalan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA). Terdapat 13 *basic cause* yang dapat menyebabkan ledakan pada proses peleburan besi dan baja menggunakan kupola. Dari 13 *basic cause* yang ada terdapat 12 *basic cause* yang berhubungan dengan faktor manusia dan 1 *basic cause* yang berhubungan dengan mesin atau komponen. Analisis *minimal cut set* menghasilkan 48 kombinasi *basic cause* dan terdapat 2 *basic cause* yang dominan.

Kata Kunci: FTA, Kupola, Peleburan

Abstract

The process of smelting iron and steel in the foundry of a steel fabrication company is currently still semi-automatic where the operator is in control of the quality of the process so that the company is still very dependent on the expertise and accuracy of the operator. Based on the Hazard Identification and Risk Assessment (HIRA) of the Foundry division of the company, there is a risk of an explosion in the iron and steel smelting process using a cupola which, if controlled, still has a moderate residual risk. This study aims to determine the basic causes of explosions by identifying failure patterns using the Fault Tree Analysis (FTA) method. There are 13 basic causes that can cause an explosion in the process of smelting iron and steel using cupola. Of the 13 basic causes, there are 12 basic causes related to human factors and 1 basic causes related to machines or components. The minimal cut set analysis produces 48 combinations of basic causes and there are 2 dominant basic causes.

Keywords: Cupola, FTA, Smelting,

1. PENDAHULUAN

Industri manufaktur merupakan sektor yang memiliki pengaruh sangat besar terhadap perekonomian. Selama tahun 2017-2021, besaran kontribusi industri manufaktur terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) Indonesia menempati urutan pertama dibandingkan dengan jenis lapangan usaha lainnya (Badan Pusat Statistik Indonesia, 2022). Menurut BPS, industri manufaktur adalah suatu kegiatan ekonomi yang melakukan kegiatan mengubah suatu barang dasar secara mekanis, kimia, atau dengan tangan sehingga menjadi barang jadi/setengah jadi, dan atau barang yang kurang nilainya menjadi barang yang lebih tinggi nilainya, dan sifatnya lebih dekat kepada pemakai akhir. Termasuk dalam kegiatan ini adalah jasa industri dan pekerjaan perakitan (*assembling*). Terdapat 24 klasifikasi industri manufaktur dan sebagian besar mengalami peningkatan jumlah setiap tahunnya termasuk industri manufaktur bidang mesin dan perlengkapan Ytdl.

Kupola merupakan sebuah dapur peleburan yang biasanya digunakan untuk meleburkan besi tuang (Kasim, et al., 2019). Umumnya berbentuk silinder baja yang tegak lurus dengan lapisan batu tahan api didalamnya. Kelebihan dalam penggunaan kupola diantaranya yaitu operasinya mudah, memberikan kemungkinan peleburan skala besar dan kontinu, serta biaya operasional murah (Soemowidagdo, et al., 2018). Di perusahaan ini, terdapat 2 kupola yang digunakan untuk proses peleburan besi dan baja.

Hazard Identification and Risk Assessment (HIRA) perusahaan fabrikasi baja bagian Foundry menunjukkan proses *melting* menggunakan *cupola furnace* memiliki risiko bahaya ledakan. Risiko bahaya tersebut memiliki

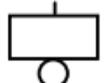
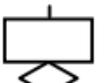
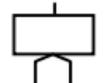
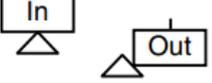
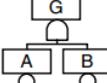
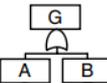
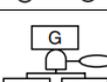
risk number sebesar 20 pada risiko awal dan memiliki risiko sisa sebesar 6 dimana masih tergolong *moderate*. Hasil studi lapangan juga menunjukkan bahwa pada proses tersebut pernah terjadi ledakan pada bagian blower yang disebabkan oleh kelalaian operator.

Penelitian (Safitri, et al., 2015) menghasilkan penyebab utama dari cacat produk dan mengakibatkan perusahaan mengalami kerugian adalah kesalahan operator. (Suliantoro, et al., 2017) mengidentifikasi risiko yang berperan terhadap terjadinya kegagalan menggunakan *Fault Tree Analysis* (FTA). Penelitian (Arman, et al., 2022) menggunakan metode FTA untuk mengidentifikasi penyebab kecelakaan kerja konstruksi. (Romadhoni, et al., 2022) dalam penelitiannya menggunakan metode FTA untuk mengidentifikasi cacat produk kerangka bangunan. Pada penelitian ini metode FTA digunakan untuk mengidentifikasi pola kegagalan pada *top event* yaitu ledakan pada proses peleburan besi dan baja dengan kupola.

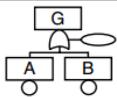
2. METODE

Pengumpulan data dilakukan dengan cara melakukan pengamatan langsung dengan melihat proses peleburan besi dan baja menggunakan kupola. Langkah lain adalah melakukan wawancara dan *brainstorming* dengan expert dibidang kupola. Pengolahan data yang dilakukan berdasarkan *brainstorming* dengan *expert* yang kemudian digunakan untuk mengidentifikasi bahaya ledakan pada proses peleburan besi dan baja dengan kupola menggunakan metode FTA. Metode FTA memiliki simbol dan *gate* untuk memudahkan dalam mengidentifikasi suatu kejadian. Tabel 1 menunjukkan simbol FTA beserta deskripsinya dan tabel 2 berisi *gate* FTA beserta maknanya.

Tabel 1. Simbol FTA

<i>Symbol</i>	Nama	Deskripsi
	<i>Node text box</i>	Berisi teks untuk semua node FT. Teks masuk ke dalam kotak, dan simbol simpul berada di bawah kotak.
	<i>Primary failure (BE)</i>	Kegagalan komponen dasar; mode kegagalan utama, inheren, dari suatu komponen. Peristiwa kegagalan acak.
	<i>Secondary failure (BE)</i>	Kegagalan yang diinduksi secara eksternal atau mode kegagalan yang dapat dikembangkan lebih detail jika diinginkan.
	<i>Normal event (BE)</i>	Suatu peristiwa yang diharapkan terjadi sebagai bagian dari operasi sistem normal.
	<i>Condition (CE)</i>	Pembatasan bersyarat atau probabilitas.
	<i>Transfer (TE)</i>	Menunjukkan dimana cabang atau sub-pohon ditandai untuk penggunaan yang sama di tempat lain di pohon. Simbol Masuk dan Keluar atau Ke/Dari.
	<i>AND Gate</i>	Output terjadi hanya jika semua input terjadi
	<i>OR Gate</i>	Output terjadi hanya jika setidaknya satu dari input terjadi
	<i>Priority AND Gate</i>	Output terjadi hanya jika semua input bersamaan dan A harus terjadi sebelum B

Tabel 1. Simbol FTA (lanjutan)

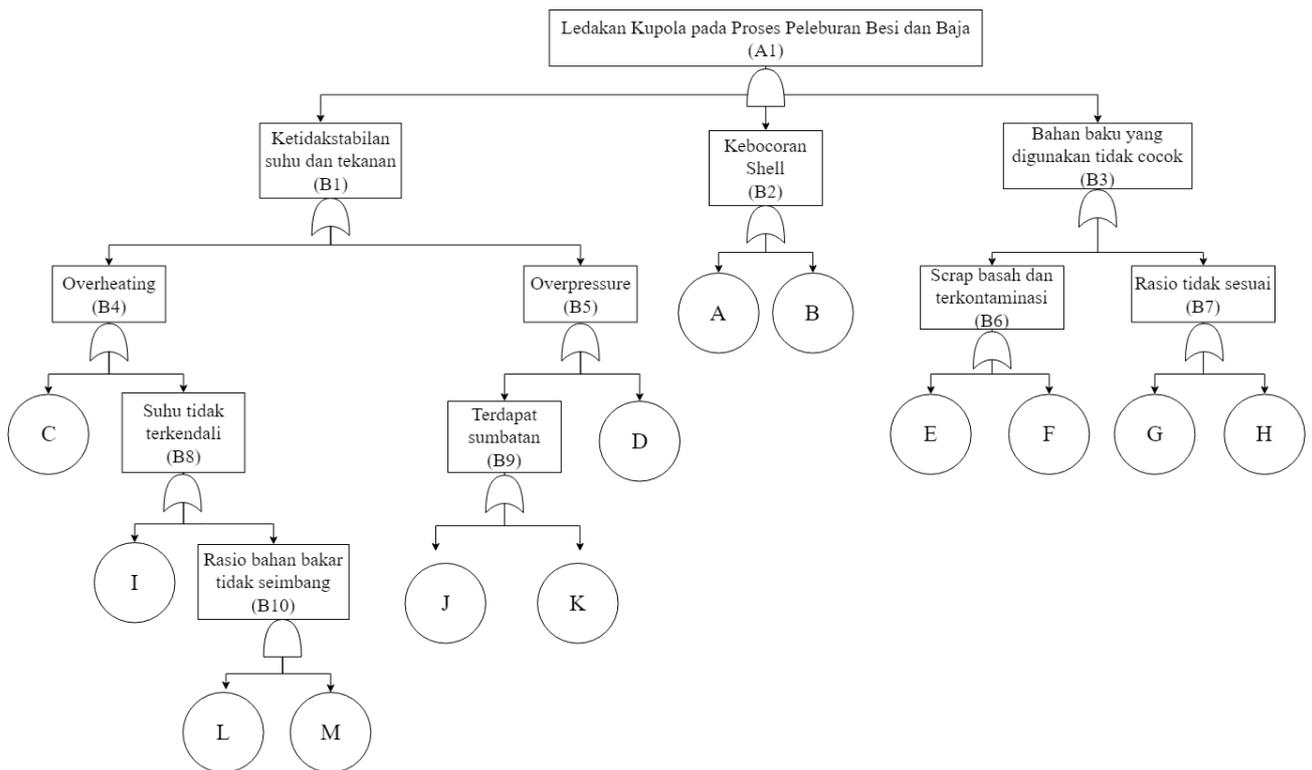
Symbol	Nama	Deskripsi
	Exclusive OR Gate	Output terjadi jika salah satu input terjadi tetapi tidak keduanya
	Inhibit Gate	Output hanya terjadi jika peristiwa input terjadi dan kondisi terpenuhi

Sumber : (Ericson, 2005)

Setelah menentukan faktor penyebab dengan FTA, selanjutnya adalah untuk menentukan *minimal cut set* yang merupakan kumpulan *basic cause* yang akan menyebabkan terjadinya sebuah *top event*. *Cut set* pertama berisikan *basic cause* tunggal yang dapat menyebabkan *top event* dengan sendirinya, *cut set* kedua berisi *basic cause* yang jika dikombinasikan dapat menyebabkan terjadinya *top event*. Dengan menganalisis *cut set* maka tindakan yang dilakukan untuk mencegah terjadinya *top event* dapat diatur berdasarkan prioritas yang ada.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan diagram FTA dimulai dengan ditentukannya sebuah *top event* yang menampilkan sebuah kejadian atau kondisi suatu sistem yang nantinya akan diturunkan menjadi beberapa penyebab kejadian. Penentuan *top event* pada penelitian ini berdasarkan HIRA perusahaan dan hasil *brainstorming* dengan *expert*. Top Event untuk menyusun diagram FTA yaitu ledakan kupola pada proses peleburan besi dan baja.



Gambar 1. FTA Ledakan

Keterangan :

- A = Korosi pada lapisan *shell*
- B = Tidak dilakukan penggantian BTA sebelum pengecoran
- C = Penanganan bahan bakar tidak benar
- D = Kesalahan pengaturan tekanan
- E = Kesalahan penempatan
- F = Kesalahan *screening*
- G = Tidak teliti saat proses menimbang
- H = Kurangnya pengetahuan operator

- I = Operator tidak melakukan pengawasan
- J = *Maintenance* tidak teratur
- K = Operator kurang paham prosedur operasi yang benar
- L = Ukuran material tidak sesuai
- M = Kualitas kokas kurang baik

Berdasarkan gambar 1 dapat diketahui bahwa hasil FTA menunjukkan 13 *basic cause* yang dapat menyebabkan ledakan pada proses peleburan besi dan baja menggunakan kupola. Dari 13 *basic cause* yang ada terdapat 12 *basic cause* yang berhubungan dengan faktor manusia (*human error*) yaitu tidak dilakukan penggantian BTA sebelum pengecoran, kesalahan penempatan, *maintenance* tidak teratur, kualitas kokas kurang baik, kesalahan *screening*, tidak teliti saat proses menimbang, kurangnya pengetahuan operator, penanganan bahan bakar tidak benar, kesalahan pengaturan tekanan, operator tidak melakukan pengawasan, operator kurang paham prosedur operasi yang benar, dan ukuran material tidak sesuai. 1 *basic cause* yang berhubungan dengan mesin atau komponen yaitu korosi pada lapisan *shell*. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa sebagian besar faktor penyebab terjadinya *top event* adalah karena faktor manusia (*human error*).

Selanjutnya adalah menentukan minimal *cut set* untuk mengetahui kombinasi *basic cause* yang menyebabkan *top event* sebagai berikut.

- A1 = B1.B2.B3
- A1 = (B4+B5).(A+B).(B6+B7)
- A1 = ((C+B8)+(B9+D)).(A+B).(E+F+(G+H))
- A1 = ((C+(I+B10))+((J+K)+D)).(AE+AF+AG+AH+BE+BF+BG+BH)
- A1 = ((C+(I+(LM)))+(J+K+D)).(AE+AF+AG+AH+BE+BF+BG+BH)
- A1 = (C+I+LM+J+K+D).(AE+AF+AG+AH+BE+BF+BG+BH)
- A1 = CAE+CAF+CAG+CAH+CBE+CBF+CBG+CBH+IAE+IAF+IAG+IAH+IBE+IBF+IBG+IBH+LMAE+LMAF+LMAG+LMAH+LMBE+LMBF+LMBG+LMBH+JAE+JAF+JAG+JAH+JBE+JBF+JBG+JBH+KAE+KAF+KAG+KAH+KBE+KBF+KBG+KBH+DAE+DAF+DAG+DAH+DBE+DBF+DBG+DBH

Hasil analisis *minimal cut set* di atas menghasilkan 48 kombinasi *basic cause*. Dimana dari 48 kombinasi *basic cause* penyebab *top event* dapat diuraikan pada tabel 3 dibawah ini.

Tabel 2. Hasil Minimal *Cut Set*

No.	Minimal Cut Set	Deskripsi
1.	C, A, dan E	Ledakan kupola dapat terjadi karena penanganan bahan bakar tidak benar, korosi pada lapisan shell, dan kesalahan penempatan
2.	C, A, dan F	Ledakan kupola dapat terjadi karena penanganan bahan bakar tidak benar, korosi pada lapisan shell, dan kesalahan <i>screening</i>
3.	C, A, dan G	Ledakan kupola dapat terjadi karena penanganan bahan bakar tidak benar, korosi pada lapisan shell, dan tidak teliti saat proses menimbang
4.	C, A, dan H	Ledakan kupola dapat terjadi karena penanganan bahan bakar tidak benar, korosi pada lapisan shell, dan kurangnya pengetahuan operator
5.	C, B, dan E	Ledakan kupola dapat terjadi karena penanganan bahan bakar tidak benar, tidak dilakukan penggantian BTA sebelum pengecoran, dan kesalahan penempatan
6.	C, B, dan F	Ledakan kupola dapat terjadi karena penanganan bahan bakar tidak benar, tidak dilakukan penggantian BTA sebelum pengecoran, dan kesalahan <i>screening</i>
7.	C, B, dan G	Ledakan kupola dapat terjadi karena penanganan bahan bakar tidak benar, tidak dilakukan penggantian BTA sebelum pengecoran, dan tidak teliti saat proses menimbang
8.	C, B, dan H	Ledakan kupola dapat terjadi karena penanganan bahan bakar tidak benar, tidak dilakukan penggantian BTA sebelum pengecoran, dan kurangnya pengetahuan operator
9.	I, A, dan E	Ledakan kupola dapat terjadi karena operator tidak melakukan pengawasan, korosi pada lapisan shell, dan kesalahan penempatan
10.	I, A, dan F	Ledakan kupola dapat terjadi karena operator tidak melakukan pengawasan, korosi pada lapisan shell, dan kesalahan <i>screening</i>

Tabel 2. Hasil Minimal Cut Set (lanjutan)

No.	Minimal Cut Set	Deskripsi
11.	I, A, dan G	Ledakan kupola dapat terjadi karena operator tidak melakukan pengawasan, korosi pada lapisan shell, dan tidak teliti saat proses menimbang
12.	I, A, dan H	Ledakan kupola dapat terjadi karena operator tidak melakukan pengawasan, korosi pada lapisan shell, dan kurangnya pengetahuan operator
13.	I, B, dan E	Ledakan kupola dapat terjadi karena operator tidak melakukan pengawasan, tidak dilakukan penggantian BTA sebelum pengecoran, dan penyimpanan terbuka
14.	I, B, dan F	Ledakan kupola dapat terjadi karena operator tidak melakukan pengawasan, tidak dilakukan penggantian BTA sebelum pengecoran, dan kesalahan screening
15.	I, B, dan G	Ledakan kupola dapat terjadi karena operator tidak melakukan pengawasan, tidak dilakukan penggantian BTA sebelum pengecoran, dan tidak teliti saat proses menimbang
16.	I, B, dan H	Ledakan kupola dapat terjadi karena operator tidak melakukan pengawasan, tidak dilakukan penggantian BTA sebelum pengecoran, dan kurangnya pengetahuan operator
17.	L, M, A, dan E	Ledakan kupola dapat terjadi karena ukuran material tidak sesuai, kualitas kokas kurang baik, korosi pada lapisan shell, dan kesalahan penempatan
18.	L, M, A, dan F	Ledakan kupola dapat terjadi karena ukuran material tidak sesuai, kualitas kokas kurang baik, korosi pada lapisan shell, dan kesalahan screening
19.	L, M, A, dan G	Ledakan kupola dapat terjadi karena ukuran material tidak sesuai, kualitas kokas kurang baik, korosi pada lapisan shell, dan tidak teliti saat proses menimbang
20.	L, M, A, dan H	Ledakan kupola dapat terjadi karena ukuran material tidak sesuai, kualitas kokas kurang baik, korosi pada lapisan shell, dan kurangnya pengetahuan operator
21.	L, M, B, dan E	Ledakan kupola dapat terjadi karena ukuran material tidak sesuai, kualitas kokas kurang baik, tidak dilakukan penggantian BTA sebelum pengecoran, dan kesalahan penempatan
22.	L, M, B, dan F	Ledakan kupola dapat terjadi karena ukuran material tidak sesuai, kualitas kokas kurang baik, tidak dilakukan penggantian BTA sebelum pengecoran, dan kesalahan screening
23.	L, M, B, dan G	Ledakan kupola dapat terjadi karena ukuran material tidak sesuai, kualitas kokas kurang baik, tidak dilakukan penggantian BTA sebelum pengecoran, dan tidak teliti saat proses menimbang
24.	L, M, B, dan H	Ledakan kupola dapat terjadi karena ukuran material tidak sesuai, kualitas kokas kurang baik, tidak dilakukan penggantian BTA sebelum pengecoran, dan kurangnya pengetahuan operator
25.	J, A, dan E	Ledakan kupola dapat terjadi karena maintenance tidak teratur, korosi pada lapisan shell, dan kurangnya pengetahuan operator
26.	J, A, dan F	Ledakan kupola dapat terjadi karena maintenance tidak teratur, korosi pada lapisan shell, dan kesalahan screening
27.	J, A, dan G	Ledakan kupola dapat terjadi karena maintenance tidak teratur, korosi pada lapisan shell, dan tidak teliti saat proses menimbang
28.	J, A, dan H	Ledakan kupola dapat terjadi karena maintenance tidak teratur, korosi pada lapisan shell, dan kurangnya pengetahuan operator
29.	J, B, dan E	Ledakan kupola dapat terjadi karena maintenance tidak teratur, tidak dilakukan penggantian BTA sebelum pengecoran, dan kesalahan penempatan
30.	J, B, dan F	Ledakan kupola dapat terjadi karena maintenance tidak teratur, tidak dilakukan penggantian BTA sebelum pengecoran, dan kesalahan screening
31.	J, B, dan G	Ledakan kupola dapat terjadi karena maintenance tidak teratur, tidak dilakukan penggantian BTA sebelum pengecoran, dan tidak teliti saat proses menimbang
32.	J, B, dan H	Ledakan kupola dapat terjadi karena maintenance tidak teratur, tidak dilakukan penggantian BTA sebelum pengecoran, dan kurangnya pengetahuan operator
33.	K, A, dan E	Ledakan kupola dapat terjadi karena operator kurang paham prosedur operasi yang benar, korosi pada lapisan shell, dan kesalahan penempatan
34.	K, A, dan F	Ledakan kupola dapat terjadi karena operator kurang paham prosedur operasi yang benar, korosi pada lapisan shell, dan kesalahan screening

Tabel 2. Hasil Minimal *Cut Set* (lanjutan)

No.	Minimal Cut Set	Deskripsi
35.	K, A, dan G	Ledakan kupola dapat terjadi karena operator kurang paham prosedur operasi yang benar, korosi pada lapisan shell, dan tidak teliti saat proses menimbang
36.	K, A, dan H	Ledakan kupola dapat terjadi karena operator kurang paham prosedur operasi yang benar, korosi pada lapisan shell, dan kurangnya pengetahuan operator
37.	K, B, dan E	Ledakan kupola dapat terjadi karena operator kurang paham prosedur operasi yang benar, tidak dilakukan penggantian BTA sebelum pengecoran, dan kesalahan penempatan
38.	K, B, dan F	Ledakan kupola dapat terjadi karena operator kurang paham prosedur operasi yang benar, tidak dilakukan penggantian BTA sebelum pengecoran, dan kesalahan screening
39.	K, B, dan G	Ledakan kupola dapat terjadi karena operator kurang paham prosedur operasi yang benar, tidak dilakukan penggantian BTA sebelum pengecoran, dan tidak teliti saat proses menimbang
40.	K, B, dan H	Ledakan kupola dapat terjadi karena operator kurang paham prosedur operasi yang benar, tidak dilakukan penggantian BTA sebelum pengecoran, dan kurangnya pengetahuan operator
41.	D, A, dan E	Ledakan kupola dapat terjadi karena kesalahan pengaturan tekanan, korosi pada lapisan shell, dan kesalahan penempatan
42.	D, A, dan F	Ledakan kupola dapat terjadi karena kesalahan pengaturan tekanan, korosi pada lapisan shell, dan kesalahan screening
43.	D, A, dan G	Ledakan kupola dapat terjadi karena kesalahan pengaturan tekanan, korosi pada lapisan shell, dan tidak teliti saat proses menimbang
44.	D, A, dan H	Ledakan kupola dapat terjadi karena kesalahan pengaturan tekanan, korosi pada lapisan shell, dan kurangnya pengetahuan operator
45.	D, B, dan E	Ledakan kupola dapat terjadi karena kesalahan pengaturan tekanan, tidak dilakukan penggantian BTA sebelum pengecoran, dan kesalahan penempatan
46.	D, B, dan F	Ledakan kupola dapat terjadi karena kesalahan pengaturan tekanan, tidak dilakukan penggantian BTA sebelum pengecoran, dan kesalahan screening
47.	D, B, dan G	Ledakan kupola dapat terjadi karena kesalahan pengaturan tekanan, tidak dilakukan penggantian BTA sebelum pengecoran, dan tidak teliti saat proses menimbang
48.	D, B, dan H	Ledakan kupola dapat terjadi karena kesalahan pengaturan tekanan, tidak dilakukan penggantian BTA sebelum pengecoran, dan kurangnya pengetahuan operator

Berdasarkan tabel 2 mengenai hasil minimal *cut set* terdapat 2 *basic cause* yang dominan berpengaruh kuat terjadinya *top event*. *Basic cause* tersebut adalah korosi pada lapisan *shell* dan tidak dilakukan penggantian BTA sebelum pengecoran. Sehingga dapat diberikan rekomendasi untuk menyusun jadwal untuk perbaikan atau pengecekan kondisi kupola agar dapat dilaksanakan secara rutin dan teratur serta memberikan *safety briefing* setiap akan melakukan proses pengecoran.

4. KESIMPULAN

Hasil identifikasi pola kegagalan penyebab ledakan kupola pada proses peleburan besi dan baja dengan metode FTA dihasilkan 1 pola kegagalan FTA. Pola kegagalan FTA berasal dari proses kerja yang memiliki risiko sisa dengan tingkat *moderate* berdasarkan HIRA perusahaan. Dari pola kegagalan tersebut diperoleh 48 *minimal cut set* dan terdapat 2 *basic cause* yang sering muncul pada hasil identifikasi. Yaitu korosi pada lapisan *shell* dan tidak dilakukan penggantian BTA sebelum pengecoran. Berdasarkan penelitian (Supriono, 2020), untuk menghindari terjadinya ledakan dapat dilakukan pengecekan secara rutin dan harus sesuai dengan Undang-Undang No. 1 tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja pasal 3 dan 4 ayat 1 sub c tentang mencegah dan mengurangi ledakan. Penelitian (Alim & Widiawan, 2023) menunjukkan adanya peningkatan persentasi *safe acts* pada proses *extruder* setelah dilakukan pemberian *briefing*, pemasangan *safety sign*, pemberian surat teguran, dan pemberian surat peringatan. Sehingga, dari *basic cause* tersebut diberikan rekomendasi untuk menyusun jadwal untuk perbaikan atau pengecekan kondisi kupola agar dapat dilaksanakan secara rutin dan teratur serta memberikan *safety briefing* setiap akan melakukan proses pengecoran.

5. DAFTAR PUSTAKA

Alim, V. E. & Widiawan, K., 2023. Upaya Meminimalkan Kecelakaan Kerja di PT. X dengan Pendekatan Behavior Based Safety (BBS). *Jurnal Titra*, 11(2), pp. 161-168.

- Arman, U. D., Melasari, J. & Suwanda, A. R., 2022. Identifikasi Penyebab Kecelakaan Kerja Konstruksi menggunakan Accident Root Caus Tracing Model (ARCTM) dan Fault Tree Analysis. *Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, 11(01), pp. 17-28.
- Ericson, C. A., 2005. *Hazard Analysis Techniques for System Safety*. Hoboken: Wiley Interscience.
- Kasim, M., Hermansyah & Norhafani, 2019. Perancangan Aplikasi Perhitungan Peleburan Logam dengan Tanur Kupola. *Jurnal INTEKNA*, 19(1), pp. 21-28.
- Romadhoni, M. I., Andesta, D. & Hidayat, 2022. Identifikasi Kecacatan Produk Kerangka Bangunan di PT. Ravana Jaya menggunakan Metode FMEA dan FTA. *Journal of Industrial Engineering and Operation Management (JIEOM)*, 05(02), pp. 236-247.
- Safitri, D. M., Astriaty, A. R. & Rizani, N. C., 2015. Human Reliability Assessment dengan Metode Human Error Assessment and Reduction Technique pada Operator Stasiun Shroud PT. X. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 4(1), pp. 1-7.
- Soemowidagdo, A. L., Tiwan & Nurdjito, 2018. Karakterisasi Grinding Balls Produksi CV Baja Ellips. *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 3(1), pp. 19-25.
- Statistik, B. P., 2022. *Statistik Indonesia 2022*, Jakarta: Badan Pusat Statistik. URL : <https://www.bps.go.id/subject/9/industri-besar-dan-sedang.html>, diakses pada 23 Januari 2023.
- Suliantoro, H. et al., 2017. PENERAPAN METODE OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS (OEE) DAN FAULT TREE ANALYSIS (FTA) UNTUK MENGUKUR EFEKTIFITAS MESIN RENG. *J@ti Undip: Jurnal Teknik Industri*, 12(2), pp. 105-118.
- Supriono, 2020. Aplikasi Tanur Sebagai Pelebur Logam Ditinjau dari Aspek K3 (Keselamatan dan Kesehatan Kerja). *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin ITM*, 6(01), pp. 17-23.