

Identifikasi Bahaya dan Penilaian Risiko dengan ETBA Dilanjutkan Penentuan Probabilitas Skenario dengan ETA di *Cryogenic Air Separation Plant*

Mardianto Noor Rachmat¹, Agung Nugroho², Ahmad Erlan Afiuddin³

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

²Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

³Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

E-mail: mardiantonoor@gmail.com

Abstrak

Pada proses produksi Oksigen Cair di *Cryogenic Air Separation Plant* memiliki potensi bahaya tinggi antara lain: (1) *Rapid Oxydation*, (2) *Embrittlement*, (3) *Pressure Excursion due to vaporizing liquid*, (4) *Oxygen enriched or deficient atmospheres*. Selain itu cairan kriogenik memiliki temperatur -183°C yang beresiko terjadinya luka bakar dingin. Penelitian ini menggunakan metode *Energy Trace and Barrier Analysis* (ETBA) lalu dilanjutkan penentuan probabilitas skenario dengan *Event Tree Analysis* (ETA).

Hasil penelitian ETBA diperoleh 42 resiko yang tergolong tidak diterima, dimana 5 resiko tergolong resiko tingkat keparahan *catastrophic* dan peluang terjadinya resiko selalu ada, antara lain: (1) *Major heat loss thermal energy stage 1*, (2) *Major heat loss thermal energy stage 2*, (3) *Major heat loss thermal energy aftercooler*, (4) *Liquid oxygen enriched release* dan (5) *Overpressure in LOX delivery pump*. Kemudian dilakukan skenario probabilitas kegagalan menggunakan ETA.

Nilai probabilitas kegagalan terbesar terjadi akibat *Overpressure in LOX delivery pump* sebesar $P_{\text{FAILURE}} = 1.6511 \times 10^{-1}$. Setelah itu, memberikan rekomendasi yang mengacu pada hirarki pengendalian atau *hierarchy of control* untuk meminimalisir terjadinya kegagalan

Keywords: *Air Separation Plant*, ETA, ETBA, Probabilitas, Resiko

PENDAHULUAN

Pada proses produksi Oksigen Cair di *Cryogenic Air Separation Plant* memiliki beberapa potensi bahaya tinggi antara lain : *Rapid Oxydation*, *Embrittlement*, *Pressure Excursion due to vaporizing liquid*, *Oxygen enriched or deficient atmospheres*. Dengan mengetahui potensi bahaya yang ada di Proses produksi Oksigen cair pada *Cryogenic Air Separation Plant* yang tergolong *high risk*, maka perlu dilakukan identifikasi potensi bahaya dan penilaian resiko, serta mengevaluasi penyebab kegagalan dan kerusakan setiap komponen peralatan yang ada di mesin proses produksi maupun komponen yang berasal diluar proses produksi. Hal ini dikarenakan *Cryogenic Air Separation Plant* memiliki sumber energi yang kompleks, yang menimbulkan kerugian jiwa maupun materil. Sehingga perlu dilakukan analisa dengan tujuan untuk mengendalikan Oksigen Cair, menjaga konsentrasi udara tetap berada di bawah aturan Hukum pengendalian Gas bertekanan tinggi. (Naik, 2015). ETBA merupakan pengembangan sebuah metode untuk mengidentifikasi bahaya dan penilaian resiko yang berfokus pada

keberadaan aliran energi yang terdapat di suatu sistem. (Arghami et al. 2014). Sehingga teknik ini berguna untuk mengidentifikasi dan menilai kondisi bahaya dengan memperhatikan keberadaan *energy source* dalam sistem proses seperti kimia, listrik, mekanikal, dan termal. Beberapa peneliti menggunakan ETBA untuk penelitian *safety risk assessment*, seperti *Isomax unit in refinery*, *Chloronation unit in treatment plants*, *Foundry industry*, *Wheat winnowing factory*. Objektivitas ETBA untuk mengidentifikasi resiko yang berasal dari sumber energi yang melewati suatu sistem dengan menggunakan *tracing logic*. Dalam teknik ini, potensi bahaya merupakan *energy source* yang negatif yang mempengaruhi tujuan dari sistem yang menyebabkan kegagalan proses produksi. (Barikani et al. 2015).

Setelah menggunakan ETBA, langkah selanjutnya menentukan probabilitas skenario dengan metode ETA (*Event Tree Analysis*). *Initiating event* diambil dari *energy source* yang tergolong *unacceptable* Pemilihan metode ETA dikarenakan dapat menampilkan pohon kejadian dari *energy source* dengan hasil akhir *possible outcomes* probabilitas. Sehingga probabilitas kegagalan dapat diketahui. Metode ETBA dan ETA dapat meminimalisir resiko yang berasal dari *energy source* yang terdapat dalam sistem proses produksi. Sehingga dapat melakukan tindakan pengendalian yang sesuai dengan kondisi perusahaan, meningkatkan produktas dan tujuan dari sistem produksi yakni produksi sesuai ekspektasi yang diharapkan oleh *stakeholder* dan konsumen.

METODOLOGI

Pada penelitian ini yang dilakukan pertamakali adalah dengan melakukan identifikasi bahaya dan penilaian resiko dengan metode Energy Trace and Barrier Analysis (ETBA) kemudian melanjutkan dengan penentuan probabilitas skenario kegagalan dengan metode Event Tree Analysis (ETA). Adapun Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi jenis *energy source* yang ada di cryogenic air separation plant berdasarkan checklist jenis *energy source*
2. Mengidentifikasi dan penilaian resiko dengan ETBA
3. Menggolongkan kategori resiko berdasarkan acuan MIL-STD-882E, Apabila kategori resiko diterima (*acceptable risk*) maka dilanjutkan analisa dan pembahasan. Namun apabila kategori resiko tidak dapat diterima (*unacceptable risk*) maka dilanjutkan penentuan probabilitas skenario kegagalan dengan ETA
4. Menentukan probabilitas skenario kegagalan dengan ETA berdasarkan data kerusakan komponen
5. Menentukan *initiating event* dari hasil resiko yang tergolong *unacceptable risk* dengan memprioritaskan level resiko yang paling parah (1A)
6. Menentukan pivotal event dari safety function yang ada di proses produksi liquid oxygen.
7. Menentukan distribusi waktu kerusakan (*time to failure*) berdasarkan rentang waktu kegagalan kerusakan komponen dan perhitungan nilai *probability* secara manual dan dengan software weibull++
8. Melakukan perhitungan probabilitas kegagalan dan keandalan secara keseluruhan dan menjelaskan kemungkinan-kemungkinan yang terjadi (*possible outcome*)
9. Setelah itu, Melakukan analisa dan pembahasan dari hasil perhitungan probabilitas kegagalan secara keseluruhan berdasarkan ALARP (*As low as reasonably predicable*)

Data yang digunakan pada penelitian ini data primer dan data sekunder, data primer merupakan hasil wawancara kepada narasumber, untuk data sekunder yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Layout Plant ASP
2. P&ID
3. MSDS Liquid Oxygen
4. Daftar list Energy Source
5. Data kerusakan di ASP

Analisa penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut

Hasil identifikasi bahaya dan penilaian resiko dengan *Energy Trace and Barrier Analysis* (ETBA) dianalisa dengan acuan MIL-STD-882E untuk menentukan penggolongan kategori resiko. Probabilitas skenario kegagalan dengan *Event Tree Analysis* (ETA), Penentuan Uji Distribusi waktu kerusakan dengan Weibull++, ALARP untuk menganalisis probabilitas kegagalan keseluruhan dari hasil perhitungan probabilitas kegagalan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Energy Trace and Barrier Analysis

Cairan kriogenik didefinisikan sebagai cairan dengan titik didih dibawah normal yaitu sebesar -130⁰F (-90⁰C). (Air product and Chemical.Inc 2014). Pada produksi Liquid Oxygen di Cryogenic Air Separation Plant peralatan yang digunakan adalah *Air Filter, air compressor, refrigerator unit, molecular sieve absorber, retifying column, transfer pump* yang memiliki potensi bahaya tinggi. Kemudian melakukan penilaian resiko, nilai resiko diperoleh dari hasil perkalian antara tingkat keparahan resiko dan tingkat peluang terjadinya resiko pada matriks resiko dengan acuan MIL-STD-882E. Hasil identifikasi dan penilaian resiko ditunjukkan pada **gambar1 dan gambar2**. Dari hasil identifikasi dan penilaian resiko diketahui resiko yang tergolong *unacetable, undesirable, acetable by revision, acceptable without revision* .Dimana 42 resiko yang *tergolong high risk (unacceptable risk)*. Dimana 5 resiko berada di level resiko 1A; 10 resiko berada di level resiko 2A; 5 resiko berada di level resiko 2B; dan 20 resiko berada di level resiko 3A. Hasil sumber energi potensial yang paling banyak terjadi di *air separation plant* adalah *Displacement of pressure, volume and kinetic energy* sebanyak 31 resiko, kemudian *thermal energy* sebanyak 24 resiko, dan *rotational kinetic energy* sebanyak 12 resiko. Dengan total resiko sebesar 97 resiko sumber energi potensial yang terdapat di proses produksi *Liquid Oxygen-air separation plant*. sehingga dapat diketahui 42 resiko yang *tergolong high risk (unacceptable risk)* yang ditunjukkan pada **tabel1**.

Risk assessment code	Unacceptable					Undesirable					Acceptable by revision					Aceptable without revision			Total risk	
	1A	1B	1C	2A	2B	3A	1D	2C	2D	3C	3B	1E	2E	3D	4B	4A	4C	4D		4E
Frequency	5	-	-	10	5	20	2	1	3	23	19	-	-	8	1	-	-	-	-	97

Gambar 7 . Identifikasi bahaya dan penilaian resiko dengan ETBA

Tabel 15. Hasil Sumber energi potensial berbahaya

List of energy	Number of potentially dangerous Energies
<i>Electrical</i>	11
<i>Inflamable Material</i>	2
<i>Rotational Kinertic</i>	12
<i>Thermal</i>	24
<i>Flammable material</i>	2
<i>Pressure, Volume and kinetic displacement</i>	31
<i>Chemical</i>	9
<i>Sound and Vibration</i>	6
TOTAL	97

No	Equipment	Type of Energy	Risk Description	Potential Objectives	Probable Cause	Barrier (Safeguard)	RAC	Suggested Control	2nd RAC
1	Uppre Column	Thermal energy -173°C	Risiko energi Thermal seperti perubahan temperatur signifikan pada pipeline upper column	Equipment Personnel	Kerusakan pada pipeline upper column Pelepasan cryogenic liquid merembeskan kea bawah dipipe	-Pabri -Temperature indicate control	1A	Pada ketika diinstal diberikan insulasi material untuk mencegah pelepasan cryogenic	3D
2	Uppre Column	Displacement of volume fluid 10000 Nm ³ /h	Risiko akibat Volume of fluids meningkat atas tekanan	Equipment	Menerunnya produksi LOX Pipeline burst	Control Valve	3H	Melakukan pemeriksaan pada perubahan pipeline dan pengelasan pada before instalasi secara berkala	3H
3	Uppre Column	Displacement Pressure 1,3 kg/cm ²	Risiko Explosion or Fracture due to excessive Pressure pada pipeline upper column	Equipment	Supply liquid oksigen terlalu banyak Pipeline pecah oleh terjadinya likuasi liquid	Pressure indicator Safety valve	1A	Melakukan pemeriksaan pada pressure indicator secara rutin, pengalihan inspeksi secara periodik	3D

Gambar 2. Energy Trace and Barrier Analysis Worksheet

Analisis Uji Distribusi Data

Dalam mengevaluasi keandalan pada suatu sistem, variabel *random* yang dipakai adalah waktu. Pada saat $t = 0$, komponen atau sistem berada dalam kondisi beroperasi, sehingga probabilitas komponen atau sistem itu untuk mengalami kegagalan pada saat $t = 0$ adalah 0. Pada saat probabilitas untuk mengalami kegagalan dari suatu komponen atau sistem yang dioperasikan akan cenderung mendekati 1. Untuk itu pengevaluasian keandalan akan banyak berhubungan dengan distribusi probabilitas dengan waktu sebagai variable random. (Priyanta 2000). Menurut *Chemical process safety* (Crowl,2002). Komponen suatu peralatan proses berinteraksi dengan komponen yang berbeda, kegagalan dalam suatu proses merupakan kegagalan secara keseluruhan yang berkaitan pada setiap event. Untuk itu dalam mencari nilai probabilitas keseluruhan harus dikalikan seperti :

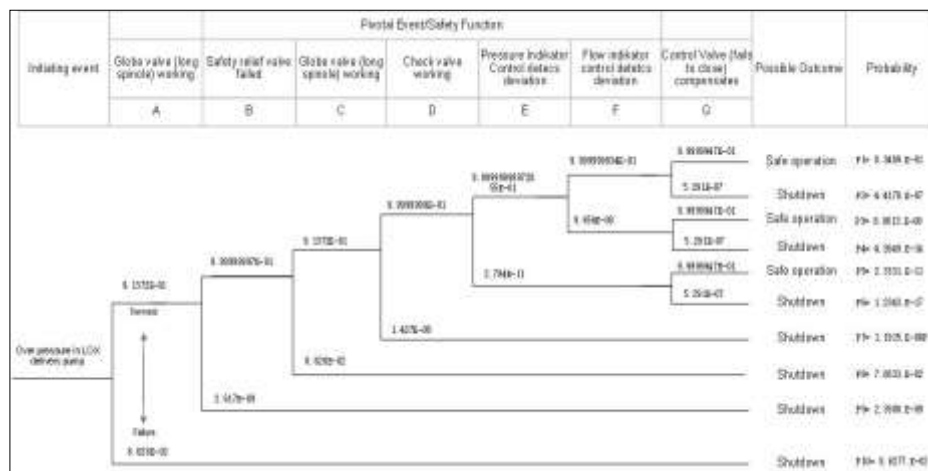
$$P = \prod_{i=1}^n P_i$$

Dimana : n = jumlah total komponen

P_i = probabilitas kegagalan tiap komponen.

Analisa Event Tree Analysis

ETA yang digunakan adalah *Pre-accident* ETA, untuk mengetahui konsekuensi dari kejadian awal. *Initiating event* untuk probabilitas skenario kegagalan didapatkan dari hasil analisis identifikasi bahaya dan penilaian resiko dengan metode ETBA yang memiliki resiko *unacceptable risk*, untuk penentuan *initiating event* memprioritaskan dahulu resiko dengan tingkat keparahan resiko yang bersifat *catastrophic*. *Initiating Event* (IE) merupakan langkah yang penting dari ETA karena dapat mengidentifikasi komponen yang menjadi awal penyebab masalah terjadinya suatu kegagalan. (Hong et al. 2009). Dalam menentukan *Initiating Event* pada ETA hasil analisis resiko tidak dapat mengenali *Initiating Event* yang menentukan tingkat keamanan pada suatu sistem operasi, tetapi *initiating event* ditentukan oleh analisis berdasarkan skala prioritas dari hasil analisis resiko (Mosher. 2011). Berikut ini merupakan salah satu hasil pohon kejadian (*event tree*) dari metode ETA beserta hasil perhitungan probabilitas kegagalan akibat *Overpressure in LOX delivery pump* yang dapat ditunjukkan pada **gambar 4**



Analisis Probabilitas Kerusakan

Probabilitas merupakan kemungkinan dari terjadinya suatu kejadian kegagalan pada suatu komponen. Penentuan probabilitas skenario kegagalan didapatkan dari hasil analisa *event tree analysis* (ETA). Berikut ini merupakan hasil rekap data penentuan probabilitas skenario kegagalan yang terjadi pada proses *liquid oxygen,air separation plant* selama kurun waktu lima tahun beserta keterangan pemetaan kriteria resiko berdasarkan konsep ALARP Metode ALARP (*as Low as Reasonably Predictable*) merupakan suatu cara dalam memetakan suatu resiko dari beberapa kejadian. (HSE 2001).

Tabel 16. Hasil Probabilitas skenario kegagalan

No	Initiating event	Probabilitas skenario kegagalan	Keterangan
1	Major heat loss thermal energy stage 1	$P_{FAILURE} = 6.6991.E-06$	Tolerable if ALARP 10^{-3} hingga 10^{-6}
2	Major heat loss thermal energy stage 2	$P_{FAILURE} = 6.9729.E-06$	Tolerable if ALARP 10^{-3} hingga 10^{-6}
3	Major heat loss thermal energy aftercooler	$P_{FAILURE} = 5.9887.E-03$	Tolerable if ALARP 10^{-3} hingga 10^{-6}
4	Liquid Oxygen enriched release	$P_{FAILURE} = 2.1516.E-02$	Intolerable 10^{-3}
5	Overpressure in LOX delivery pump	$P_{FAILURE} = 1.6511.E-01$	Intolerable 10^{-3}

Probabilitas skenario kegagalan terbesar yang kemungkinan dapat terjadi akibat *Overpressure in LOX delivery pump* dengan nilai probabilitas kegagalan sebesar $P_{FAILURE} = 1.6511.E-01$. Dimana probabilitas kegagalan dari suatu komponen akan cenderung mendekati 1.0. (Priyanta, 2005).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan perhitungan yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam mengidentifikasi bahaya dan penilaian resiko dengan menggunakan ETBA bahwa sumber energi potensial yang paling banyak terjadi adalah *Displacement of pressure, volume and kinetic energy* sebanyak 31 resiko, kemudian *thermal energy* sebanyak 24 resiko dan *rotational kinetic energy* sebanyak 12 resiko. Dengan total resiko sebesar 97 resiko sumber energi potensial yang terdapat di proses produksi *Liquid Oxygen-air separation plant*. Sehingga dapat diketahui 42 resiko yang tergolong *high risk (unacceptable risk)*.
2. Penentuan probabilitas skenario kegagalan dengan menggunakan ETA dapat diketahui berdasarkan hasil perhitungan probabilitas keseluruhan konstruksi ETA, Nilai probabilitas skenario kegagalan akibat *Major thermal heat loss energy stage 1* sebesar $P_{FAILURE} = 6.6991 \times 10^{-6}$, Sedangkan pada *Major thermal heat loss energy stage 2*, nilai probabilitas skenario kegagalan yang kemungkinan dapat terjadi sebesar $P_{FAILURE} = 6.9729 \times 10^{-6}$. Kemudian pada *Major thermal heat loss energy after cooler*, nilai probabilitas skenario kegagalan yang dapat terjadi sebesar $P_{FAILURE} = 5.9887 \times 10^{-3}$. Pada *Liquid Oxygen enriched release*, nilai probabilitas skenario kegagalan sebesar $P_{FAILURE} = 2.1516 \times 10^{-2}$, Kemudian nilai probabilitas skenario kegagalan akibat *Over pressure in LOX delivery pump* sebesar $P_{FAILURE} = 1.6511 \times 10^{-1}$.
3. Rekomendasi untuk mengurangi resiko pada *Cryogenic Air Separation Plant* dilakukan dengan cara tindakan preventif yang mengacu pada Hirarki pengendalian (*hierarchy of control*) yang terdiri dari eliminasi, substitusi, pengendalian teknis, sistem peringatan, pengendalian administrative, dan *Personal protective equipment (PPE)/APD* untuk meminimalisir probabilitas kegagalan pada suatu sistem.

DAFTAR PUSTAKA

1. Air product and Chemical.Inc, 2014. Safe handling of cryogenic liquids. , pp.1–8.
2. ANSI Z:10, 2005. *Occupational Health and Safety Management Systems*, American Industrial Hygiene Association.
3. Arghami, S. et al., 2014. Comparing of HAZOP and ETBA Techniques in Safety Risk Assessment at Gasoline Refinery Industry Faculty Member of Occupational Health Department and Research Center for Environmental Determinants. , 6(1), pp.1–5.
4. Barikani, A., Givehchi, S. & Nasrabadi, M., 2015. The Identification and Assessment of the Risk by the Method of Energy Trace & Barrier Analysis (ETBA) In Foundry Unit of Steel Billet Manufacturing and Industrial Complex of Anzali Free Zone. , 5(3), pp.1152–1158.
5. Crowl, D.A., 2002. *Chemical Process Safety 2nd Edition* 2nd editio., Upper Sadder River, New Jersey: Prentice Hall.

6. Edmonton, A., 2010. *Incident Investigation and Analysis Guide* J. C. (Jeff) Short, ed., Canada: Accident Investigation Solutions Inc. Available at: www.investigation-solutions.ca.
7. Ericson, C.A., 2005. Event tree analysis. In *Hazard analysis technique for system safety*. John Wiley & Sons, pp. 223–234.
8. Hong, E. et al., 2009. Quantitative risk evaluation based on event tree analysis technique : Application to the design of shield TBM. *Tunnelling and Underground Space Technology incorporating Trenchless Technology Research*, 24(3), pp.269–277. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tust.2008.09.004>.
9. HSE, 2001. Guidance on ALARP Decisions in COMAH. HSE. Available at: http://www.hse.gov.uk/foi/internalops/hid_circs/permissioning/spc_perm_37/#ALARP-Demonstration-Requirements [Accessed April 7, 2017].
10. MIL-STD882E, 2012. DEPARTMENT OF DEFENSE STANDARD PRACTICE SYSTEM SAFETY. , (February 2000).
11. Mosher, G.A. & Mosher, G.A., 2011. Analysis of Safety Decision-Making Data Using Event Tree Analysis Analysis of Safety Decision-Making Data Using Event Tree Analysis. In *Agricultural and Biosystem Engineering*. Iowa: Iowa state university, pp. 137–142. Available at: http://lib.dr.iastate.edu/abe_eng_conf.
12. Naik, L., 2015. A Review on Safety Operation Methods of a Cryogenic Air Separation Unit A Review on Safety Operation Methods of a Cryogenic Air Separation Unit. *International Journal of Engineering Technology, Management and Applied Sciences*, 3(6), pp.96–103.
13. Priyanta, D., 2000. *Keandalan dan Perawatan*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
14. Vincoli, J.W., 2006. *Basic Guide to System Safety* Second Edi., Titusville,Florida: John Wiley & Sons. Available at: <http://www.wiley.com/go/permission>.
15. Yarmohammadi, H., 2016. Risk Assessment in a Wheat Winnowing Factory Based on ET and BA method. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11, pp.334–338.