

Model Area *Explosion* pada *Storage* Benzene di Industri Refinery Minyak Bumi (Studi Kasus : PT. PERTAMINA Refinery IV Cilacap)

Arrazy Elba Ridha¹, Fuad Dwi Hanggara^{2*},

¹Teknik Industri Universitas Teuku Umar
Jl Alue Peunyareng, Ujung Tanah Darat, Meurebo, Kabupaten Aceh Barat, Aceh

¹arrazy.elba.ridha@utu.ac.id

²Teknik Industri, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim

Jl Gajayana 50, Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur

^{2*}samfu.31@gmail.com

Explosion Area Modelling on Benzene Storage in Petroleum Refinery Industry (Case Study of PT. PERTAMINA Refinery IV Cilacap)

Dikirimkan: 05, 2022. Diterima: 02, 2023. Dipublikasikan: 03, 2023.

Abstract— PT. PERTAMINA Refinery IV in Indonesia manages various hazardous materials which have a very high risk at production process, storage, and during distribution. Benzene is that a among these materials can be fatal in the event of an accident such as fire or explosion. The analysis is the making of Pool Fire modeling using Aloha (Areal Location of Hazardous of ArtmospHERE) and Google Earth. ALOHA software is an application provided by the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) and the Environmental Protection Agency (EPA) that can assist in formulating gas dispersion and explosion calculations. In this study, an explosion calculation scenario will be carried out in which, the total zone affected by the explosion was as far as 802 meters and the total population of workers at risk were all in the Refinery Unit IV with a risk of death due to exposure to thermal radiation >10 kW/m².

Keywords: Benzene; Model Accident of Explosion; ALOHA; Quantitative Risk Assesment; PT. PERTAMINA Refinery Unit IV Cilacap

Abstrak— PT. PERTAMINA Refinery IV di Indonesia mengelola berbagai bahan berbahaya yang memiliki risiko sangat tinggi pada proses produksi, penyimpanan, dan distribusi. Benzena merupakan salah satu bahan yang dapat berakibat fatal jika terjadi kecelakaan seperti kebakaran atau ledakan. Maka oleh itu tujuan dari penelitian ini ialah menganalisis risiko radius ledakan yang terjadi secara kuantitatif beserta kriteria risikonya. Pada tahapan pembuatan model *Pool Fire* menggunakan ALOHA (*Areal Location of Hazardous of ArtmospHERE*) dan *Google Earth*. Software ALOHA merupakan aplikasi yang disediakan oleh *National Oceanic and Administration Atmospheric* (NOAA) dan *Environmental Protection Agency* (EPA) yang dapat membantu dalam melakukan formulasi perhitungan dispersi gas dan ledakan. Pada penelitian ini akan dilakukan skenario perhitungan ledakan yang di mana total zona yang terkena ledakan sejauh 802 meter dan total populasi pekerja yang berisiko semuanya berada di *Refinery Unit IV* dengan risiko kematian akibat paparan radiasi termal >10 kW/m².

Kata kunci: Benzene; Model Accident Of Explosion; ALOHA; Quantitative Risk Assesment; PT. PERTAMINA Refinery Unit IV Cilacap

I. PENDAHULUAN

Dalam proses produksi industri refeneri, sebagian besar proses *refeneri* terdiri dari bahan kimia berbahaya yang mudah terbakar, meledak, beracun, dan korosif. Penggunaan produk-produk turunan dari *refeneri* minyak bumi digunakan secara luas, dalam setiap aspek kehidupan, karena penggunaan secara luas tersebut menimbulkan tantangan signifikan bagi manajemen keselamatan dan *safety* di perusahaan tersebut untuk dapat menanggulangi setiap potensi *hazard* dalam persiapan, produksi, pemrosesan, penyimpanan, transportasi, dan sirkulasi *refeneri* di dalam lingkup pabrik. Salah satu produk dari turunan *refeneri* minyak bumi ialah benzena.

Benzena memiliki aplikasi yang cukup besar dalam pewarna, insektisida, parfum, farmasi, alas kaki, produksi furnitur, dan banyak industri lainnya sebagai bahan baku kimia penting dan pelarut kimia [1]. Bahaya utama dari benzena adalah toksisitasnya yang tinggi, dan mudah terbakar. Ledakan benzena dapat disertai dengan penyebaran toksisitas, yang mengakibatkan peningkatan cedera [2]. Pemeriksaan eksperimental keterbatasan mudah terbakar untuk seri benzena sulit karena mudah terbakarnya yang tinggi.

Beberapa efek kesehatan yang dapat diakibatkan oleh benzena yaitu efek akut dan kronis. Efek akut paparan benzena menimbulkan adanya keluhan sakit kepala, pusing, mengantuk, bingung, tremor, dan kehilangan kesadaran. Selain itu dapat menyebabkan iritasi mata dan iritasi kulit. Efek kronis yang disebabkan oleh paparan benzena adalah dapat mengurangi produksi sel darah merah dan sel darah putih dari sumsum tulang pada manusia mengakibatkan anemia, *pansitopenia*, dan *trombositopenia*. Pada pemajanan kronik, efek yang paling berbahaya adalah anemia *aplastik*, leukemia *mieloblastik* akut dan *eritroleukimia* akut [3].

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Kartikasari [4], yang menganalisis risiko kesehatan pajanan benzena pada pekerja bagian laboratorium PT. Pertamina RU IV Cilacap menyimpulkan bahwa untuk pajanan *realtime* sebanyak 37,3% responden berisiko efek *nonkarsinogenik* dan 39,2% responden berisiko karsinogenik. Sedangkan untuk risiko pajanan *lifetime* seluruh responden memiliki risiko pajanan efek *nonkarsinogenik* maupun efek karsinogenik. Pertamina Refinery Unit IV merupakan salah satu dari 6 (enam) Refinery Unit Pertamina dengan kegiatan bisnis utamanya adalah mengolah minyak mentah (*crude oil*) dan *intermediate product* menjadi produk jadi, di antaranya BBM dan Non BBM. Sebelum didistribusikan, baik produk BBM

maupun Non BBM dilakukan uji analisa kualitas minyak di laboratorium terlebih dahulu.

Banyaknya sampel minyak yang akan di analisa di laboratorium lebih dari 100 liter setiap harinya dan untuk satu *shift* kerja berarti lebih dari 30 liter /hari. Sehingga kadar benzena yang terkandung dalam sampel minyak per harinya adalah lebih dari 400 g dan untuk setiap satu *shift* kerja (8 jam/hari) adalah lebih dari 120 g / 8 jam / hari [5]. Berdasarkan pengukuran paparan benzena yang pernah dilakukan, kadar uap benzena di laboratorium mencapai 5 ppm setiap harinya sedangkan NAB paparan benzena di lingkungan kerja adalah 0,5 ppm sehingga pekerja di lingkungan laboratorium

PT. Pertamina RU IV Cilacap sangat berpotensi terpapar uap benzena selama bekerja. Berdasarkan uraian di atas, dapat diketahui bahwa pekerja area laboratorium PT. Pertamina RU IV Cilacap berisiko untuk terkena paparan benzena selama bekerja. Dan ketika benzena terlepas ke lingkungan karena kebocoran tangki karna kegagalan proses operasi dan *maintenance*, akan memicu ledakan atau kebakaran dikarenakan benzena merupakan zat yang memiliki kadar *ignition* yang tinggi sehingga membuat risiko itu menjadi lebih besar lagi sehingga penulis merasa perlu untuk melakukan penelitian tentang analisis model *explosion* pada *storage* benzena di PT. Pertamina RU IV Cilacap. Maka tujuan penelitian ini adalah membuat analisis dan skenario model *explosion* pada *storage benzene* di PT. Pertamina RU IV Cilacap, yang mana model tersebut bisa menghitung radius ledakan yang terjadi pada *storage benzene* di PT. Pertamina apabila terjadi kebocoran dan kerusakan

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif dengan metodologi kuantitatif, dengan menggunakan *software* ALOHA versi 5.4.4 dan *Google Earth*, untuk membuat pemodelan *jet fire*, dan pemodelan ledakan VCE. Parameter yang di *input* untuk membuat permodelan pada *software* ALOHA ialah, data lokasi, data kimia, data sumber kebocoran, dan data atmosfer.

B. Data Penelitian

Data pada penelitian ini menggunakan data sekunder mana data yang kumpulan adalah;

a. Data Meteorologi

Data meteorologi yang dipakai pada penelitian ini menggunakan interval waktu selama 1 tahun yaitu 1 Januari – 31 Desember 2021. Data ini didapatkan dari BMKG Stasiun Meteorologi

Cilacap yang berada di Jl. Gatot Subroto No. 20 Cilacap – Jawa Tengah. Data meteorologi yang didapatkan pada penelitian dapat dilihat pada tabel berikut [6];

TABEL I
LOKASI PENELITIAN

Tempat	Koordinat
PT. PERTAMINA Refinery Unit IV Cilacap, Indonesia	7°41'58.3" S 108° 59'56.4"E

Berikut merupakan data meteorologi yang ditampilkan pada tabel berikut [7] ;

TABEL II
DATA METEOROLOGI

Data	Nilai	Satuan
Ketinggian Tempat	5	m/dpl
Kecepatan Angin	6	Knot
Kelembapan Udara	83	%
Suhu Udara	32	C
Arah Mata Angin	E	

b. Data Sumber Emisi

Sumber keluaran emisi yang digunakan pada penelitian ini ada dua yaitu dari tank *source*. Untuk *tank source* tangki yang akan dianalisis adalah unit CDU. Berikut ini merupakan data dari setiap sumber emisi yang dibutuhkan yang berasal dari data sekunder PT. Pertamina RU IV Cilacap [8];

TABEL II
DATA TANK SOURCE

Data	Nilai	Satuan
Jenis Tangki	Vertical Cylinder	
Diameter Tangki	9,5	m
Tinggi Tangki	78,4	m
Tekanan Pada Tangki	1,38 - 1,5	Kg/cm2
Temperatur Tangki	130	C
Diameter Valve	3	Inch
Beban Emisi Tangki	3916	Kg

Data kimia *benzena* diambil dari data sekunder yang bersumber pada *website Cameochemicals*, yang dapat diakses pada *link* tersebut :

<https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/19701>

C. Metode Penelitian

ALOHA atau disebut dengan (*Areal Locations Of Hazardous Atmospheres*) merupakan pengembangan dari Model Dispersi *Gaussian* oleh Palazzi. Model ini menggambarkan keadaan *steady-state* dalam suatu kondisi singkat dari dispersi atau sumber kebocoran itu sendiri. Pada model persamaan matematisnya adalah sebagai berikut;

$$C(x, y, z) = \frac{y}{2} \left[\operatorname{erf} \left[\frac{x}{\sigma_x \sqrt{2}} \right] - \operatorname{erf} \left[\frac{x - Ut}{\sigma_x \sqrt{2}} \right] \right] \text{ Jika } (t \leq t_r) \\ = \frac{y}{2} \left[\operatorname{erf} \left[\frac{x - U(t - t_r)}{\sigma_x \sqrt{2}} \right] - \operatorname{erf} \left[\frac{x - Ut}{\sigma_x \sqrt{2}} \right] \right] \text{ Jika } (t < t_r < \infty) \quad (1)$$

Di mana :

σ_x, σ_y , dan σ_z adalah parameter kebocoran
 t_r adalah lamanya kebocoran yang terjadi

Nilai γ merupakan fungsi hasil dari distribusi dari kondisi *Continuos steady-state point source*. Nilai γ dapat dilihat dari persamaan berikut ini :

$$Y(x, y, z, t) = \left(\frac{Q(t)}{u} \right) g_y(x, y) g_z(x, z) \quad (2)$$

Di mana :

$$g_y(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_y(x)}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y(x)} \right)^2 \right] \quad (3)$$

Apabila tidak terdapat inversi yang muncul

$$g_y(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_y(x)}} \left\{ \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y(x)} \right)^2 \right] + \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z + h_s}{\sigma_z(x)} \right)^2 \right] \right\} \quad (4)$$

Di mana :

h_s , = tinggi sumber emisi. [9]

Rumusan matematis tersebut akan secara otomatis diformulasikan oleh *software* ALOHA, selain membantu dalam menghitung persamaan *Gaussian* tersebut, *software* ALOHA juga mempunyai beberapa manfaat lain. Berikut merupakan kegunaan yang akan didapatkan dalam pembuatan model ALOHA [10] adalah sebagai berikut;

1. Model ALOHA berguna dalam memvisualisasikan zona bahaya dari ledakan dan radiasi termal,
2. Model dari ALOHA akan menampilkan daerah yang memiliki risiko tertinggi atau mudah terbakar, dan tekanan berlebih akan divisualisasikan menggunakan pemodelan ALOHA.

- Populasi yang akan terkena dampak dari model ledakan tersebut, akan diperiksa dan dibuat level-level risiko, yang mana berguna dalam *design* rencana tanggap darurat (prosedur, tim, fasilitas, dan peralatan) infrastruktur) berdasarkan standar NFPA 101. yang telah diterapkan untuk prosedur evakuasi.

III. HASIL PENELITIAN

Pada penelitian ini, hasil-hasil penelitian akan dijabarkan berdasarkan urutan-urutan sebagai berikut;

A. Karakteristik Benzena

Secara karakteristik benzena merupakan senyawa aromatik. Benzena merupakan senyawa tidak berwarna dalam bentuk cairan dan juga merupakan pelarut organik. Benzena akan mengapung di permukaan air dan mendidih pada suhu 81^o C. Dalam fase uap benzena sangat mudah meledak, dan spontan akan terbakar pada suhu 498^o C.

Berikut merupakan karakteristik benzena secara keseluruhan [11];

TABEL III
SIFAT FISIK & KIMIA BENZENA

No.	Sifat Fisik & Kimia	Keterangan
1	Rumus Kimia	C ₆ H ₆
2	Berat Molekul	78,11 gr/mol
3	Titik Nyala	-
4	Titik Leleh	-
5	Titik Didih	-
6	Berat Jenis Pada Suhu 15 C	0,878 gr/L
7	Kelarutan Dalam Air Pada Suhu 25 C	0,188 % (w/w) atau 1,8 gr/L
8	Kelarutan Dalam Pelarut	Alkohol, Kloroform, eter, Karbon Sulfide, Aseton, Minyak, Karbon Tetraklorida, Asam Asetat Glisial

Pada karakteristik benzena juga diperoleh nilai LFL (*Lower Flammable Limit*), dan UFL (*Upper Flammable Limit*).

2. LFL (*Lower Flammable Limit*)

Adalah batas minimum konsentrasi campuran uap bahan bakar dengan udara yang dapat menyala atau meledak bila diberi sumber api yang cukup. Bila kondisinya di bawah LEL / LFL maka tidak akan terbakar atau meledak dan disebut

dengan *too lean* atau terlalu miskin kandungan uap bahan bakarnya

3. UFL (*Upper Flammable Limit*).

Adalah batas maksimum konsentrasi campuran uap bahan bakar dengan udara yang dapat menyala atau meledak bila diberi sumber api yang cukup. Bila kondisinya di atas UFL maka tidak akan terbakar atau meledak dan disebut dengan *too rich* atau terlalu banyak kandungan uap bahan bakarnya [12].

Berikut ini adalah nilai LFL dan UFL konsentrasi zat Benzena Pada Temperatur 373 - 473 K Pada Tekanan 1 ATM [13];

TABEL IV
BATAS LFL & UFL BENZENA

Chemical	T/K	LFL(%)	UFL (%)
Benzena	373	1.22 ± 0.01	7.83 ± 0.04
	423	1.13 + 0.01	8.04 ± 0.04
	473	1.11 + 0.01	8.11 ± 0.04

B. Indikator Zona Ancaman

Pada perangkat lunak ALOHA secara terprogram memperkirakan tingkat bahaya yang melebihi *Level of Concern* (LOC) pada kondisi penyebaran dan pelepasan zat kimia. ALOHA juga dapat memodelkan beberapa bahaya yaitu toksisitas (*toxicity*), mudah terbakar (*flammability*), radiasi termal (*thermal radiation*), dan tekanan berlebih (*overpressure*). LOC yang digunakan berbeda – beda tergantung dari jenis dan bahaya itu sendiri.

Pada setiap skenario, ALOHA bisa menentukan hingga 3 LOC. bila menggunakan 3 LOC, ALOHA akan menampilkan indikator zona ancaman berwarna merah, oranye, dan kuning yang akan diaplikasikan kan di satu gambar. Zona merah mendeskripsikan bahaya terburuk. LOC merupakan nilai ambang bahaya yang apabila melebihi nilai LOC bisa membahayakan insan dan properti yang berada di sekitarnya.

Indikator LOC yang dipergunakan buat *flammable area* adalah *Lower Explosive Limit* (LEL). PAC dalam ALOHA terdiri dari tiga tingkat yaitu :

- PAC-1 : Konsentrasi yang diperkirakan bahwa populasi umum dapat mengalami ketidaknyamanan, iritasi, atau imbas non-sensoris tanpa tanda - tanda tertentu. namun efeknya bersifat internal dengan nilai konsentrasi sebesar 65000 ppm.

- 2) PAC-2 : Konsentrasi yang diperkirakan bahwa populasi awal secara umum dapat mengalami efek kesehatan yang mempunyai pengaruh buruk yang sifat kronik zat kimianya bisa bertahan lama dan tidak usang, dampak kesehatan yang merugikan dengan nilai konsentrasi sebesar 230000 ppm. tiga)
- 3) PAC-3 : Konsentrasi yang diperkirakan bahwa populasi pada area tersebut bisa mengalami dampak kesehatan yang mengancam jiwa atau kematian dengan nilai konsentrasi sebesar 400000 ppm [14].

C. Analisis Model

Untuk membuat model dari *explosion area* yang diakibatkan oleh *ignation* zat benzena, maka, skenario dalam pemodelan. Skenario model tersebut merupakan skenario model yang optimal di mana model *input* tersebut merupakan rekomendasi dari pengembang *software* ALOHA yang dijabarkan sebagai berikut [15];

TABEL V
SKENARIO MODEL

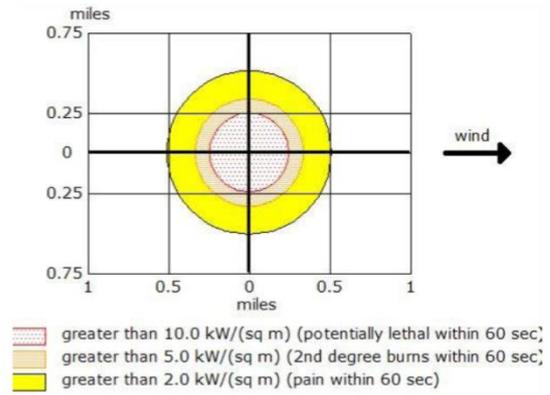
Source	Threat Zone	Tekanan Tangki (Pa)	Kecepatan Angin (Knot)	Stabilitas Atmosfer
Tank	Flammable	17099,75	5,34	Klas F

Selain itu standar baku pembanding yang bersumber dari referensi ALOHA yang mana, Nilai LEL dan PAC yang digunakan adalah *default* dari *software* ALOHA. Nilai LEL yaitu 50000 ppm untuk *red threat zone*, 60% LEL yaitu 30000 ppm untuk *orange threat zone*, dan 10% LEL yaitu 5000 ppm untuk *yellow threat zone*. Sedangkan untuk nilai PAC yang digunakan yaitu PAC-3 400000 ppm untuk *red threat zone*, PAC-2 230000 ppm untuk *orange threat zone*, dan PAC-1 65000 ppm untuk *yellow threat zone*. Berikut merupakan standar baku ALOHA [16].

Setelah proses skenario tersebut diinput dalam model *flammable*, maka secara otomatis *software* ALOHA akan membuat *isopleth* diagram berbentuk lingkaran *pool fire* dengan keterangan pada gambar 1.

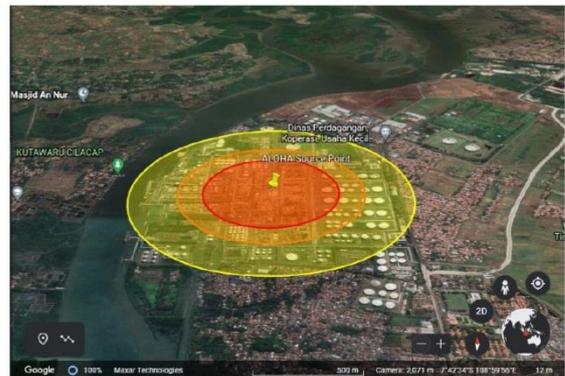
TABEL VI
STANDAR BAKU

Threat Zone	Standar Baku (ppm)	Zone
Flammable	50000	Red
	30000	Orange
	5000	Yellow



Gambar 1. Diagram isopleth flammable

Setelah proses pembuatan diagram *isopleth* telah berhasil dilakukan maka proses berikutnya ialah plotting diagram tersebut pada Tank di PT. PERTAMINA Refinery Unit IV Cilacap, Indonesia. Berikut adalah bentuk visualisasi diagram *isoplath* ke dalam *google earth*.



Gambar 2. Hasil proyeksi thermal radiation threat zone model

D. Analisis Konsekuensi Risiko

Kebocoran tangki yang berisi cairan benzena dengan nomor tangki 36 T 102 saat tekanan tinggi langsung *terignisi* sehingga terjadinya *Pool Fire*. *Thermal radiation threat zone* pemodelan *pool fire* (gambar 2), dapat dijabarkan dalam 3 zona yaitu:

1. Zona merah memiliki jarak 402 meter dari sumber kebocoran dengan *thermal radiation* >10,0 kW/m² dalam 60 detik berpotensi menyebabkan kematian,
2. Zona orange memiliki jarak 482 meter dengan *thermal radiation* > 5,0 kW/m² dalam 60 detik berpotensi menyebabkan *narcosis*, sakit kepala, pening/pusing, mengantuk, kebingungan, *tremors*, dan kehilangan kesadaran,
3. Zona kuning memiliki jarak 804 meter dengan *thermal radiation* >2,0 kW/m² dalam 60 detik berpotensi menyebabkan iritasi pada mata

E. Mitigasi Risiko

Sesudah mengetahui *threat zone* kemudian dilakukan penilaian potensi risiko. Penilaian potensi risiko memakai skala *Australian Standard/New Zealand Standard for Risk Management (AS/NZS 4360:2004)*. terdapat dua parameter yang digunakan buat evaluasi yaitu skala *probability* dan *severity* yang bisa dilihat pada Tabel VIII dan Tabel IX. Selain itu ada tabel kategori bahaya yang bisa ditinjau pada Tabel X [17]. Setelah itu penentuan risiko akan dirangkum ke dalam suatu indikator yang akan di analisis dari tingkat *probability* dan *severity*, berikut penjabaran tabel-tabel *mitigasi* risiko [18] [19];

TABEL VII
SKALA STANDAR PROBABILITAS RISIKO

Tingkat	Deskripsi	Keterangan
5	<i>Almost certain</i>	Dapat terjadi setiap saat
4	<i>Likely</i>	Sering terjadi
3	<i>Possible</i>	Dapat terjadi sekali - kali
2	<i>Unlikely</i>	Jarang terjadi
1	<i>Rare</i>	Hampir tidak pernah, sangat jarang terjadi

TABEL VIII
SKALA STANDAR SEVERITY RISIKO

Tingkat	Deskripsi	Keterangan
1	<i>Insignificant</i>	Tidak terjadi cedera, kerugian finansial sedikit
2	<i>Minor</i>	Cedera ringan, kerugian finansial sedikit
3	<i>Moderate</i>	Cedera sedang, perlu penanganan medis
4	<i>Major</i>	Cedera berat > 1 orang, kerugian besar, gangguan produksi
5	<i>Catastrophic</i>	Fatal > 1 orang, kerugian sangat besar dan dampak sangat luas, terhentinya seluruh kegiatan

Pada penelitian ini *mitigasi* risiko dilakukan untuk mengelola risiko – risiko yang mungkin terjadi sehingga dapat meminimalisasi dampak anyg mungkin terjadi. Sebelum dilakukan *mitigasi* risiko terlebih dahulu dilakukan penilaian potensi risiko. Risiko yang akan dibahas merupakan ledakan di tangki dan gangguan pernafasan serta

kehilangan pencerahan pada manusia. berdasarkan risiko tadi ada lima potensi risiko yaitu :

- Kebocoran pada tangki benzena
- Kegagalan pada sistem operasi
- Terdapat benda/indra yang dapat membuat api
- Energi kerja yang kurang terlatih
- Komponen unit yang telah tua.

Kelima potensi risiko ini kemudian dilakukan evaluasi memakai skala *Australian Standard/New Zealand Standard for Risk Management (AS/NZS 4360:2004)* yang terdiri asal skala *probability* berdasarkan Tabel IX [20];

TABEL IX
HASIL PENILAIAN POTENSI RISIKO

Risiko	Potensi Risiko	Probability	Severity	Keterangan
Ledakan Pada Tangki dan	Kebocoran Cairan Benzena	3	5	<i>Extreme Risk</i>
Gangguan Pernafasan dan	Kegagalan Proses Maintenance	2	5	<i>Extreme Risk</i>
	Terdapat peralatan yang dapat menghasilkan api/listrik statis	1	3	<i>Moderate Risk</i>
Kehilangan Kesadaran Pada Manusia	Tenaga kerja yang kurang terlatih	1	3	<i>Moderate Risk</i>
	Komponen unit yang sudah tua	3	3	<i>Moderate Risk</i>

F. Proses Tanggap Darurat

Proses tanggap darurat atau ERP (*Emergency Response Procedure*) merupakan sebuah penanganan yang diperlukan saat keadaan darurat, di mana keadaan tersebut bisa mengancam atau mengganggu jalannya aktivitas operasi dan korban jiwa. ERP dilakukan agar dapat mengevakuasi secara cepat semua yang ada di kawasan operasi seperti pekerja, *staff* dan lainnya. Petugas atau *engineer safety* harus membuat sebuah tim bantuan penanggulangan kebakaran, pengawas K3LL, dll. Sistem tanda bahaya yang dapat diaplikasikan dalam proses tanggap adalah sebagai berikut:

1. Sirene keadaan darurat dibunyikan selama tiga menit secara terus-menerus dan diikuti pengumuman pemberlakuan keadaan darurat oleh *Incident Commander*

2. Sirene indikasi aman dibunyikan 1 menit setelah *safety team* benar-benar sudah mengevakuasi semua keadaan dalam keadaan aman dan diikuti pengumuman berakhirnya keadaan darurat oleh *Incident Commander*
3. Jalur pengungsian dapat dibuat dengan memperhitungkan rute yang paling cepat ke luar dari zona berbahaya dari kebocoran dan ledakan.

IV. PEMBAHASAN

Dari hasil pemodelan *thermal radiation threat zone* dari skenario *pool fire/jet fire explosion*, zona yang terbentuk terdiri dari zona merah, zona oranye, dan zona kuning. Adapun uraian pembahasan sebagai berikut;

1. Ketiga zona tersebut (zona merah, zona oranye, dan zona kuning) mengenai seluruh kawasan PT. PERTAMINA (Persero) *Refinery Unit* dan juga mengenai sedikit area permukiman warga dan sungai di sekitarnya. Hal ini menunjukkan bahwa semakin dekat jarak populasi terhadap sumber kebocoran maka semakin besar *thermal radiation* yang akan diterima, namun hal tersebut tergantung pada lamanya durasi terpapar. Jangka waktu pemaparan yang lama, bahkan dengan tingkat *thermal radiation* yang rendah dapat juga menghasilkan efek fisiologis yang serius. Oleh karena itu, pekerja dan populasi yang berada dalam jangkauan *thermal radiation* dari *jet fire* harus memiliki kesiagaan dalam upaya penyelamatan diri dan pemenuhan alat-alat *safety*.
2. Efek *thermal radiation* juga dapat menyebabkan meledaknya tangki lainnya sehingga akan menimbulkan dampak yang lebih besar lagi sehingga jika ledakan yang terjadi membesar karena area di sekitar dipenuhi dengan bahan kimia yang mudah terbakar maka jangkauan radiasinya akan lebih jauh lagi. Dan kawasan di luar PT. PERTAMINA (Persero) *Refinery Unit IV* akan lebih banyak yang terkena dampaknya, bisa mencapai ke jalan raya hingga kawasan di seberang sungai. Jarak aman bagi warga atau karyawan yang ingin menyelamatkan diri apabila terjadi ledakan dan kebocoran tank ialah berjarak lebih dari ≥ 6 Km.
3. Selain itu upaya dalam mencegah dan menanggulangi ledakan yang diakibatkan oleh kebocoran tangki atau *storage* pada *refinery* maka langkah-langkah yang harus diperhatikan dalam sistem pemeliharaan tangki ada 3 indikator yaitu *basic* terjadinya *jet fire*, *basic* terjadinya VCE (*Vapor Cloud Explosion*), dan *basic* terjadinya BLEVE (*Boiling Liquid Expanding Vapor*

Explosion) [21], yang akan dijabarkan sebagai berikut;

4. *Basic* terjadinya *Jet Fire*
 - a. Adanya energi ledakan,
 - b. Panas dari luar tangki,
 - c. Listrik statis,
 - d. Pelepasan dari *upstream pipeline*,
 - e. Pelepasan dari *upstream pipeline joints*,
 - f. Korosi *Plat Storage Tank*,
 - g. Pelepasan dari *valves*,
 - h. Pelepasan dari *downstream pipeline*,
 - i. Pelepasan dari *downstream pipeline joints*
5. *Basic* VCE
 - a. Energi ledakan,
 - b. Panas dari luar tangki,
 - c. Listrik ,
 - d. Kelebihan tekanan internal,
 - e. *Valve* gagal menutup,
 - f. Kebocoran pada *pipeline*
6. *Basic* BLEVE
 - a. Potensi sumber api eksternal,
 - b. Tekanan mekanis,
 - c. Gelombang tekanan,
 - d. Perubahan fase,
 - e. *Safety release* tidak memadai,
 - f. *Safety* atau relief *valve* terhambat,
 - g. Kegagalan *pressure control*,
 - h. Pemilihan material yang tidak tepat,
 - i. Proteksi korosi yang tidak memadai,
 - j. Cacat tidak terdeteksi saat dilakukan tes material,
 - k. Fabrikasi yang cacat,
 - l. lama penggunaan,
 - m. tidak ada suplai air,
 - n. *deluge valve* gagal membuka

Dari penjabaran *basic* terjadinya *Jet Fire*, VCE, dan BLEVE, dapat dilihat bahwa secara insiden terjadinya ledakan pada tangki juga dipengaruhi oleh kesadaran dan *schedule* pemeliharaan yang dilakukan oleh tim inspeksi dan operator pada *refineri* tersebut. Maka oleh itu SOP dalam pengoperasian dan peralatan *safety* harus diaplikasikan dengan disiplin guna untuk dapat mencegah dan menanggulangi terjadinya kebocoran dan ledakan pada tangki benzena tersebut.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa konsekuensi kebakaran *Jet Fire* akibat kebocoran *storage* 36 T 102 mempunyai zona merah pada jarak 402 meter dari sumber kebocoran, zona oranye pada jarak 482 meter, dan zona kuning pada jarak 804 meter.

Seluruh populasi pekerja di kawasan kilang minyak PT. PERTAMINA (Persero) Refinery Unit IV, mempunyai risiko mengalami kematian karena terpapar *thermal radiation* >10 kW/m².

Audit keandalan *storage* dan keadaan pipa pada kilang-kilang minyak merupakan kunci utama dalam mencegah terjadinya kebocoran dan ledakan.

Pemodelan area tersebut dapat menjadi acuan dalam proses *safety* pada daerah *red zone* tersebut agar meningkatkan keamanan, *safety tools* dan rute evakuasi.

REFERENSI

- [1] I. Rana, S. Dahlberg, C. Steinmaus, and L. Zhang, "Benzene exposure and non-Hodgkin lymphoma: a systematic review and meta-analysis of human studies," *Lancet Planet. Heal.*, vol. 5, no. 9, pp. e633–e643, 2021, doi: 10.1016/S2542-5196(21)00149-2.
- [2] M. L. Faiz, A. U. Abidin, and F. B. Maziya, "Exposure analysis of benzene in workplace control room A and B PT X," *Gac. Sanit.*, vol. 35, pp. S340–S344, 2021, doi: 10.1016/j.gaceta.2021.10.048.
- [3] & R. Rachma Azzavira, Demes Nurmawati, "Pengaruh Kadar Benzena Dalam Darah Dan Karakteristik Pekerja Terhadap Profil Darah Pekerja," *GEMA Lingkungan. Kesehat.*, vol. 19, no. 01, pp. 67–73, 2021.
- [4] & M. R. Dewi Kartikasari, Nurjazuli, "Analisis Resiko Kesehatan Paparan Benzene Pada Pekerja Di Bagian Laboratorium Industri Pengolahan Minyak Bumi," *J. Kesehat. Masy.*, vol. 4, pp. 892–899, 2016, [Online]. Available: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jkm>.
- [5] A. Adhitya and C. Suryadi, "PENGEMBANGAN MODEL PENGELOLAAN RISIKO SISTEM PENDUKUNG K3L DI LABORATORIUM LINGKUNGAN," *Reka Lingkungan.*, vol. 10, no. 1, pp. 79–90, 2022, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.26760/rekalingkungan.v10i1.79-90%0A%7C>.
- [6] May Dwinantono Setyo Nugroho, "GAMBARAN UMUM TENTANG PENERAPAN CONTRACTOR SAFETY MANAGEMENT SYSTEM (CSMS) DI PT . PERTAMINA (PERSERO) REFINERY UNIT IV," in *Laporan Khusus*, Surakarta - Indonesia, 2011.
- [7] P. Supari, "Informasi Perubahan Iklim Kedeputian Bidang Klimatologi Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika," in *BMKG*, S. T. Marlin Denata, S.Tr, Rosi Hanif Damayanti, Ed. Jakarta: BMKG, 2021, pp. 1–27.
- [8] M. Rizki, "Energy Analysis of Steam Cycle Efficiency with Feed Water Heater Modification (Case Study : PT . Pertamina EP Asset 1 Field Lirik)," *J. Ocean. Mech. Aerosp.*, vol. 65, no. 3, pp. 88–93, 2021, [Online]. Available: www.isomase.org.
- [9] D. B. Aviantara and F. Suciati, "Penggunaan Model Matematik Gaussian Dispersion Untuk Pendugaan Perubahan Kualitas Udara Dalam Analisis Dampak Lingkungan," *J. Rekayasa Lingkung.*, vol. 14, no. 1, 2021, doi: 10.29122/jrl.v14i1.4914.
- [10] & M. R. Robert Jones, William Lehr, Debra Simecek-Beatty, *ALOHA (AREAL LOCATIONS OF HAZARDOUS ATMOSPHERES) 5.4.4*, no. NOAA Technical Memorandum NOS OR & R 43. Washington: DEPARTMENT OF COMMERCE • National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) National Ocean Service • Office of Response and Restoration, 2013.
- [11] S. LAB, "Lembaran Data Zat Turunan Minyak Bumi," in *MSDS*, no. 1907, PT.Smart-Lab Indonesia, Ed. Tangerang - Indonesia: PT.Smart-Lab Indonesia, 2021, pp. 1–10.
- [12] & S. S. . Jamilu. H, Abubakar-Zakaria.U, "Thermal And Overpressure Hazards Modelling And Simulation : A Case Study Of Refinery Fired Heater," *J. Niger. Soc. Chem. Eng.*, vol. 36, no. 1, pp. 67–77, 2021, doi: 10.51975/SQYB7600.
- [13] W. Fu, K. Zhang, and J. Wu, "Flammability limits of benzene , toluene , xylenes from 373 K to 473 K and flame-retardant effect of steam on benzene series," *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 137, pp. 328–339, 2020, doi: 10.1016/j.psep.2020.02.027.
- [14] J. Leppert, G. Horner, F. Rietz, J. Ringer, P. Schulze Lammers, and P. Boeker, "Near real time detection of hazardous airborne substances," *Talanta*, vol. 101, pp. 440–446, 2012, doi: 10.1016/j.talanta.2012.09.056.
- [15] Cameo, *ALOHA - Instructor Manual*. United Stated, 2010.
- [16] The CAMEO - Software Suite, *ALOHA Example Scenarios*, no. September. Washington, 2016.
- [17] I. Popchev, I. Radeva, and I. Nikolova, "ASPECTS OF THE EVOLUTION FROM RISK MANAGEMENT TO ENTERPRISE GLOBAL," *Eng. Sci.*, vol. LVIII, 202, no. 1, pp. 16–30, 2021, doi: 10.7546/EngSci.LVIII.21.01.02.
- [18] Standards Australia, *RISK MANAGEMENT AS/NZS 4360:2004*, Thrid Edit. This Joint Australian/New Zealand Standard was prepared by Joint Technical Committee OB-007, Risk Management., 2006.
- [19] M. Ma, A. T. Rofifa, and T. Martiana, "Risk Assessment at the Plate Production Unit of PT . INKA (Persero) Penilaian Risiko pada Unit Produksi Pengerjaan Plat PT . INKA (Persero)," *J. Occup. Saf. Heal.*, vol. 1–15, no. December, pp. 316–330, 2021, doi: 10.20473/ijosh.v10i3.2021.316-330.
- [20] R. Pramasari, M. G. C. Yuantari, K. Ishak, and K. Dwi, "Job Safety Analysis and Hazard Identification of Welding Process in Semarang - JSA Method AS / NZS 4360 : 2004," *Dis. Prev. Public Heal. J.*, vol. 16, no. 1, pp. 62–69, 2022, doi: 10.12928/dpphj.v16i1.4613.
- [21] Center For Chemical Process Safety, "Explosion and Fire Phenomena and Effects," *Guidelines*, vol. 18, no. Safety, pp. 131–148, 2010.