



ARTIKEL PENELITIAN

Kajian dampak paparan radiasi panas saat terjadi tumpahan minyak dan kebakaran tangki di pusat pengumpul produksi minyak PT. X

Krisman J. Sihotang^{1,*} dan Baiduri Widanarko¹

¹Departemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia

Disubmit 28 April 2023; direvisi 29 Mei 2023; diterima 02 Juni 2023



OBJECTIVES Many emergency incidents that occur are caused by the failure of the safety protection layers (SPL) installed in the crude oil tank storage. Referring to the operational conditions at PT X, the results of this study showed that the SPL failure was installed in the T-04 tank at PT X, i.e. operator intervention and breather valve which would result in an oil spill due to the T-04 tank being overfilled, causing flammable vapor which if there is an ignition sources could cause tank fire engulfment. The results of the Layer of Protection Analysis (LOPA) showed that the risk due to the realization of tank fire engulfment was categorized as unacceptable risk level based on the risk matrix referred to by PT X. **METHODS** Assessment of the impact that will be caused is carried out quantitatively using ALOHA (Areal Location of Hazardous Atmosphere) software which is integrated with MARPLOT software. **RESULTS** The results of the study of radiation heat exposure in the operator's room at a distance of 45 m from the T-04 tank is around 12.50 kW/m² which has the potential to cause death, office room space which is 70 m from the T-04 tank is around 6.44 kW/m² which has the potential to cause the second degree burns, public road facilities which is 118 m from T-04 around 2.5 kW/m² has the potential to cause temporary illness. The nearest tank facility, namely the T-03 tank is 30 m from T-04, receive radiation heat exposure around 19.9 kW/m² will yield a domino effect and along with being burned. **CONCLUSIONS** This study provides recommendations for adding Safety Protection Layers to the PT X's oil storage tanks to reduce

the fire risk to an acceptable risk by installing the appropriate SPL, namely PAH (High Pressure Alarm), LAH (High Alarm Level), SIS (Safety Instrumented System) such as PAHH (High-High Pressure Alarm), and LAHH (Level Alarm High-High).

KEYWORDS ALOHA; Heat Radiation Exposure; Quantitative Risk Assessment; Tank Failure

TUJUAN Kejadian darurat yang banyak terjadi disebabkan karena kegagalan *safety protection layers* (SPL) yang terpasang di tangki pengumpul *crude oil*. Mengacu pada kondisi operasional di PT X, hasil penelitian menunjukkan kegagalan SPL terpasang di tangki T-04, yang berupa intervensi operator dan *breather valve* akan mengakibatkan tumpahan minyak karena tangki T-04 *overfilled* yang apabila ada sumber panas dapat menyebabkan tangki terbakar (*tank fire engulfment*). Hasil dari *Layer of Protection Analysis* (LOPA) diperoleh bahwa realisasi *tank fire engulfment* pada tangki T-04 dikategorikan sebagai kejadian dengan tingkat risiko yang tidak dapat diterima berdasarkan matriks risiko yang diacu PT X. **METODE** Kajian dampak yang akan ditimbulkan dilakukan secara kuantitatif dengan menggunakan *software ALOHA* (*Areal Location of Hazardous Atmosphere*) yang terintegrasi dengan *software MARPLOT*. **HASIL** Hasil kajian paparan panas radiasi di ruang operator pada jarak 45 m dari tangki T-04 sekitar 12,50 kW/m² yang berpotensi mengakibatkan kematian, ruang perkantoran yang berjarak 70 m dari tangki T-04 sekitar 6,44 kW/m² yang berpotensi mengakibatkan luka bakar derajat dua, fasilitas umum jalan raya sekitar 2,5 kW/m² berpotensi mengakibatkan sakit sementara, fasilitas tangki terdekat yaitu tangki T-03 berjarak 30 m sekitar 19,9 kW/m² akan mengalami *domino effect* ikut terbakar. **KESIMPULAN** Kajian ini memberikan rekomendasi untuk menambahkan *Safety Protection Layers* pada tangki penampung minyak PT X untuk mengurangi risiko kebakaran menjadi risiko yang dapat diterima dengan memasang SPL yang sesuai yaitu PAH (*Pressure Alarm High*), LAH (*Level Alarm High*), SIS (*Safety Instrumented System*) seperti PAHH (*Pressure Alarm High-High*), dan LAHH (*Level Alarm High-High*).

KATA KUNCI ALOHA; Kegagalan Tangki; Paparan Panas Radiasi; Penilaian Risiko Kuantitatif

*Korespondensi: krisman.j@ui.ac.id

1. PENDAHULUAN

Kasus kecelakaan terjadi diberbagai industri minyak di dunia dalam berbagai bentuk seperti kebakaran, tumpahan minyak, bocoran gas dan lainnya. Periode waktu tahun 1972 sampai tahun 2011 tercatat 53 kasus kecelakaan di industri minyak, 6 kejadian berupa kebocoran gas, 17 kasus kebakaran, 4 kasus ledakan, 20 kasus ledakan yang disertai kebakaran. Kejadian-kejadian tersebut menunjukkan bahwa kecelakaan berupa kebocoran minyak dan kebakaran merupakan kejadian yang sering terjadi di industri minyak (Ramli 2017).

PT X adalah salah satu industri hulu migas yang beroperasi di Sumatera Selatan memiliki Pusat Pengumpul Produksi (PPP) minyak yang menerima pasokan minyak mentah (selanjutnya disebut minyak) dari beberapa Stasiun Pengumpul (SP) di lapangan operasionalnya. Minyak PT X ini dikategorikan sebagai minyak mentah berat yang memerlukan proses mengurangi *Base Sediment and Water (BS&W)* dan kandungan garam dengan menggunakan *demulsifier* serta proses pemanasan menggunakan uap panas hingga 56 °C. (Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Migas Lemigas 2022). Penampungan dan pemrosesan minyak tersebut dilakukan di beberapa tangki PPP salah satunya adalah tangki T-04. Sebagai tangki yang berisi cairan yang mudah terbakar, tangki T-04 memiliki risiko terjadinya pajanan bahan kimia beracun yang terkandung dalam crude oil yang tertumpah karena T-04 mengalami overfill dan akan teruapkan. Selain itu juga risiko untuk terbakar pada saat tumpahan yang teruapkan itu kontak dengan sumber api (*ignition sources*) yang mengakibatkan kebakaran atau tangki disambar petir yang juga dapat mengakibatkan tangki terbakar.

Pusat Pengumpul Produksi (PPP) Minyak PT X berada dekat dengan fasilitas umum, hunian masyarakat, perkantoran PT X dan ruang operator PPP. Tangki T-04 adalah salah satu tangki yang paling dekat dengan fasilitas perkantoran PT X dan ruang operator PPP. Kejadian darurat tumpahan minyak dan kebakaran di tangki T-04 dapat memberikan risiko yang tidak bisa diterima oleh perusahaan dan manusia yang berada di sekitar area PPP. Mengingat minyak yang dikelola di PPP PT X memiliki sifat yang mengandung bahan kimia berba-

haya dan juga memiliki sifat yang mudah terbakar, maka sangat perlu dilakukan penelitian untuk melakukan kajian untuk menilai secara kuantitatif dampak yang ditimbulkan oleh radiasi panas kebakaran tersebut terhadap manusia di sekitar PPP serta dampak domino effect yang berpotensi mengakibatkan kebakaran tangki yang berada di sekitarnya. *Domino accident* dapat diestimasi akan terjadi berdasarkan besarnya *thermal radiation flux* (kW/m²) yang diterima oleh permukaan tangki sebelah. Pada kajian ini dipergunakan ambang batas =15 kW/m² dengan batas kurun waktu pajanan 10 menit (Chen dkk. 2018).

2. METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian potong lintang dengan pendekatan kuantitatif untuk melakukan analisis dampak yang akan ditimbulkan pada saat operasional di PT X mengalami kegagalan operasional yang mengakibatkan terjadi pajanan panas radiasi yang ditimbulkan apabila terjadi kejadian kebakaran. Penelitian ini dilakukan melalui pengumpulan data sekunder baik yang ada di PT X dan studi literatur dengan tanpa melakukan intervensi pada objek penelitian (non experimental). Data yang didapatkan tersebut dipergunakan untuk melakukan penelitian pajanan yang akan terjadi dengan menggunakan *software ALOHA (Areal Location of Hazardous Atmosphere)* dan metode lainnya guna mendapatkan gambaran dampak di lokasi dimana kegagalan tersebut terjadi. Pajanan yang ditimbulkan dari suatu realisasi kegagalan operasional itu akan dilakukan penelitian dengan berdasarkan skenario kegagalan yang mengakibatkan kebakaran tangki T-04 dan menimbulkan menimbulkan pajanan panas radiasi bagi manusia di sekitar. Hasil kajian dampak terhadap kesehatan dan keselamatan manusia yang berada di fasilitas produksi dan fasilitas umum terdekat dengan tangki T-04 yang mengalami kebakaran dapat dipergunakan sebagai acuan untuk upaya pencegahan dan mitigasi mengurangi tingkat risiko yang akan terjadi dari kebakaran tangki di PPP.

2.1 Kajian pajanan panas radiasi

Efek radiasi panas yang dialami orang bergantung pada lamanya waktu mereka terpapar pada tingkat radiasi panas tertentu. Durasi pajanan yang lebih lama, bahkan pada tingkat radiasi panas yang lebih rendah, dapat menghasilkan efek yang serius. Perangkat ALOHA digunakan untuk menghitung pajanan radiasi panas kebakaran tangki T-04 yang diterima lingkungan sekitar. Perangkat ALOHA secara otoma-

TABEL 1. Nilai ambang batas pajanan panas radiasi (LOC = Level of Concern).

LOC	Nilai Ambang Batas	Dampak kehidupan manusia
LOC 1	10 kW/m ²	Kematian jika terpajan dalam kurun waktu 60 detik
LOC 2	5 kW/m ²	Luka Derajat 2 jika terpajan dalam kurun waktu 60 detik
LOC 3	2 kW/m ²	Merasa pusing jika terpajan dalam kurun waktu 60 detik

TABEL 2. Komposisi Crude oil di PT X (Lemigas, No. LRP-006/2022, 34.2 °API, South Palembang Distric Crude Oil, PT.X).

Kandungan Senyawa	Kisar Titik didih, °C	% w (dalam crude oil)
Kondensat, senyawa hidrokarbon <C5	<36,10	0,50
Gasoline	C5 - 100	10,40
Naptha	100 - 180	20,20
Kerosin	180 - 250	16,70
Gasoil	250 - 350	18,00
Heavy Distilate (Pour Point = 42 – 48 °C)	350 - 529	20,60
Residu (Pour Point >52 °C)	>529	13,60
		100

TABEL 3. Data operasional tangki di PPP PT X.

Tank Code		T-04
Parameter	Unit	
Diameter	m	20.005
Height	m	10.618
Capacity	m ³	3227
Max. Temperature	°C	48
Pressure	atm	1
Mean inlet Flowrate	m ³ /hour	62.0963
Max Flowrate	m ³ /hour	62.1318

Iti akan mengkategorikan area – area yang terkena dampak berdasarkan *Level of Concern (LOC)* yang ditunjukkan pada Tabel 1. Input data ke perangkat ALOHA terdiri dari data kondisi cuaca termasuk kecepatan angin, kondisi awan, suhu tanah, kelembaban udara, data sumber yang akan mengakibatkan konsekuensi yang ditinjau mencakup antara lain dimensi tangki, volume minyak dalam tangki, area genangan saat terjadi tumpahan minyak. Selain data diatas juga diperlukan input data *chemical properties*. Keluaran hasil penghitungan dengan perangkat ALOHA berupa grafik yang menggambarkan area berbahaya dan untuk kemudian diintegrasikan secara langsung ke dalam peta menggunakan perangkat MARPLOT ([National Oceanic and Atmospheric Administration \(NOAA\) 2013](#)).

Kecepatan angin sebagai input data ke perangkat ALOHA dalam melakukan kajian pajanan panas radiasi, dihitung dengan menggunakan referensi data yang dikeluarkan oleh *Global Wind Atlas Info* dengan mengacu pada referensi geografis lokasi PPP PT X, yang terletak di garis lintang -3.43802° dan garis bujur 104.23078°, dengan mengambil asumsi bahwa di area PPP PT X memiliki cakupan 10% area dikategorikan paling berangin (*windest area*) pada ketinggian 10 m, maka kecepatan angin adalah 2,20 m/detik ([EnergyData 2021](#)).

2.2 Kajian domino effect

Istilah *domino effect* diartikan sebagai mekanisme perambatan dari skenario kejadian darurat awal seperti kebakaran tangki T-04 yang memberikan pajanan radiasi panas ke area sekitar dan diterima oleh tangki terdekat. Pajanan panas yang diterima tangki terdekat ini dapat mengakibatkan

terjadi realisasi keadaan darurat selanjutnya yaitu kejadian kebakaran tangki sekitar tangki yang sudah terbakar sebelumnya. Keadaan darurat kebakaran sekunder tersebut dapat terjadi apabila *safety protection layers* yang terpasang di fasilitas terdekat gagal mengantisipasi. Kebakaran sekunder bisa serupa dengan kebakaran awal dengan dampak yang bisa berbeda, mungkin lebih parah atau juga bisa dapat menghasilkan kejadian darurat yang berbeda. Kriteria parameter terjadinya *domino effect* oleh pajanan radiasi panas yang diterima oleh fasilitas terdekat adalah 15 kW/ m². Jika mengacu pada *International Conference on Fire Science and Fire Protection Engineering* dengan pajanan radiasi panas = 15 KW/ m² dipergunakan sebagai ambang batas pajanan dalam kurun waktu 10 menit.

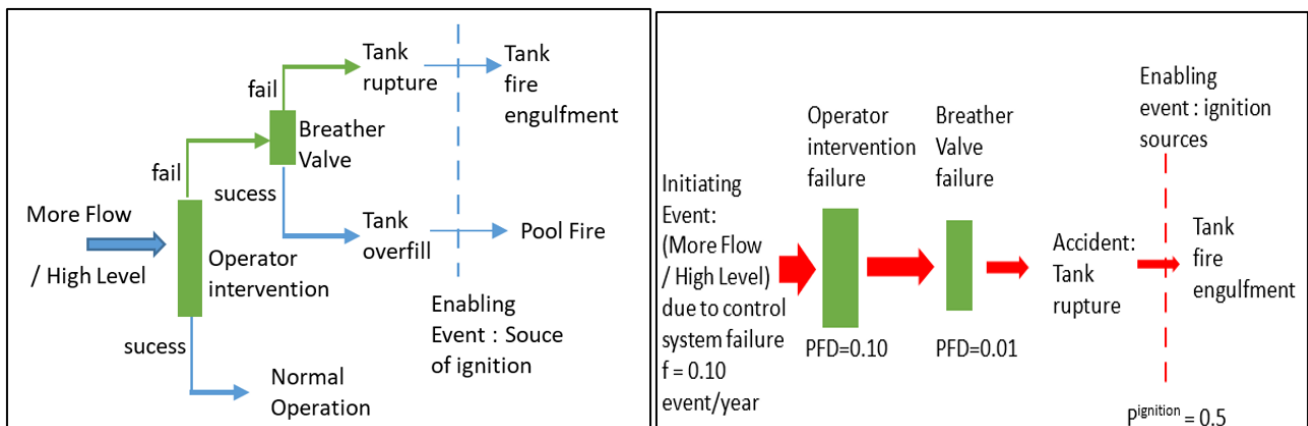
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Komposisi Crude oil

Mengacu pada hasil Analisis Laboratorium No. LRP-006/2022, 34.2 °API, *South Palembang Distric Crude Oil*, PT X ([Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Migas Lemigas 2022](#)), komposisi *crude oil* ditunjukkan pada Tabel 2.

3.2 Data operasional

Penelitian ini dilakukan pada tangki T-04 di PPP PT X di Sumatera Selatan dimana lokasi tangki T-04 ini paling dekat dengan area hunian manusia. Tangki T-04 adalah tangki dengan tutup atas berbentuk kerucut yang dilengkapi dengan breather valve yang difungsikan untuk melepas kelebihan tekanan saat terjadi penyimpangan parameter yang mengakibatkan



GAMBAR 1. LOPA event scenario untuk kejadian kebakaran tangki T-04.



GAMBAR 2. Tata letak tangki T-04 dan keberadaan fasilitas lain.

batkan tekanan dalam tangki T-04 naik. Data operasional di PPP PT X yang didapatkan dilapangan ditunjukkan pada Tabel 3

3.3 Kajian layer of protection analysis (LOPA) event scenario

Urutan kejadian skenario yang ditimbulkan oleh kegagalan sistem proteksi yang dipasang, dilakukan untuk melakukan identifikasi kemungkinan realisasi kejadian darurat yang dapat terjadi di PPP PT X. Skenario untuk terjadinya realisasi kejadian darurat akan diawali dengan penyimpangan parameter proses sebagai kejadian awal. Kejadian awal ini akan ditanggapi oleh sistem proteksi yang dipasang di fasilitas tangki T-04. Terdapat dua pengaman yaitu intervensi operator dan breather valve. Penyimpangan parameter proses, yang bisa terjadi di operasional tangki T-04 adalah aliran minyak

masuk ke tangki T-04 yang berlebihan (*more flow*) atau level permukaan minyak dalam tangki T-04 yang tinggi yang disebabkan oleh kegagalan *less flow crude oil* yang dialirkan ke transfer pump saat ada aliran minyak yang masuk ke Tangki T-04. Penyimpangan ini akan diantisipasi oleh intervensi operator untuk mengalihkan aliran minyak ke tangki yang berdekatan. Jika operator gagal melakukan intervensi, level di tangki T-04 akan naik, dan memampatkan ruang uap di atas permukaan minyak dan meningkatkan tekanan di dalam tangki T-04.

Saat tekanan di dalam tangki T-04 meningkat, *breather valve* yang terpasang akan terbuka untuk melepaskan tekanan ke atmosfer. Jika aliran minyak yang masuk itu tidak bisa diantisipasi, maka tangki T-04 akan mengalami *overfilled* dan mengakibatkan minyak membentuk genangan di *bundwall area*. Kegagalan dari *breather valve* akan menyebabkan

```

ALOHA 5.4.7 - [Text Summary]
File Edit SiteData SetUp Display Sharing Help
Time: April 18, 2023 2041 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
Chemical Name: CRUDE OIL Molecular Weight: 230.00 g/mol
AEGL-1 (60 min): 10400 ppm AEGL-2 (60 min): 160000 ppm AEGL-3 (60 min): 800000 ppm
IDLH: 1100 ppm LEL: 8000 ppm UEL: 60000 ppm
Ambient Boiling Point: 76.7° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.26 atm
Ambient Saturation Concentration: 256,872 ppm or 25.7%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
Wind: 2.2 meters/second from 120° true at 10 meters
Ground Roughness: open country Cloud Cover: 5 tenths
Air Temperature: 30° C
Stability Class: D (user override)
No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:
Burning Puddle / Pool Fire
Puddle Area: 342.89 square meters
Puddle Volume: 1028.69 cubic meters
Initial Puddle Temperature: 56° C
Flame Length: 43 meters Burn Duration: 40 minutes
Burn Rate: 2,530 kilograms/min
Total Amount Burned: 100,651 kilograms

THREAT ZONE:
Threat Modeled: Thermal radiation from pool fire
Red : 56 meters --- (10.0 kW/(sq m) = potentially lethal within 60 sec)
Orange: 82 meters --- (5.0 kW/(sq m) = 2nd degree burns within 60 sec)
Yellow: 131 meters --- (2.0 kW/(sq m) = pain within 60 sec)
    
```

GAMBAR 3. Text summary hasil hitungan tingkat pajanan panas radiasi akibat kebakaran minyak yang tumpah dari tangki T-04 menggunakan software ALOHA.

TABEL 4. Tingkat pajanan panas radiasi menurut LOC ALOHA pada kejadian tangki T-04 mengalami *fire engulfment*.

LOC	Intensitas Radiasi Panas	Jarak terukur dari T-04
LOC 1	10 kW/m ²	56 m
LOC 2	5 kW/m ²	82 m
LOC 3	2 kW/m ²	131 m

tekanan dalam tangki terus naik dan tangki mengalami *over pressure* yang mengakibatkan tangki pecah dan ada tumpahan minyak dari tangki T-04. Kemungkinan kejadian darurat juga bisa terjadi apabila operator gagal mengintervensi kelebihan aliran minyak ke tangki T-04 dengan kondisi *breather valve* berfungsi baik, maka level minyak yang menjadi lebih tinggi akhirnya akan mencapai posisi *breather valve* yang terbuka dan akhirnya terjadi tumpahan minyak melalui *breather valve* yang terbuka tersebut. Keberadaan tumpahan minyak di area *bundwall* akan menguap dan membentuk awan uap *flammable* di area *bundwall* dan akan terbakar jika ada sumber api. Skenario ini digambarkan pada Gambar 1.

Layers of protection analysis (LOPA) dilakukan untuk menghitung kemungkinan frekuensi dari suatu skenario kejadian untuk menimbulkan konsekuensi yang tidak diinginkan. Analisis LOPA untuk realisasi skenario kejadian kebakaran tangki, dimulai dengan deviasi proses aliran minyak ke tangki T-04 berlebihan atau level minyak di tangki T-04 tinggi diikuti dengan kegagalan sistem pengaman berupa intervensi operator dan *breather valve* disertai keberadaan sumber api saat kegagalan itu terjadi. Perhitungan LOPA membutuhkan data *Probability Failure on Demand (PFD)* dari setiap *Safety Protection Layer (SPL)* yang digunakan di setiap skenario yang akan menimbulkan konsekuensi yang dilakukan kajian. Nilai PFD diambil dari buku *Layer of Protection Analysis (LOPA) Simplified Process Risk Assessment, Center for Chemical Process Safety (CCPS) of the American Institute of Chemical Engineer (CCPS 2001)*.

Tingkat keseringan/frekuensi untuk terjadinya realisasi konsekuensi yang dikaji, dipakai persamaan 1 (Crowl dan Lo-

uvar 2002).

$$f_i^c = f_i^I \times PFD_{i1} \times PFD_{i2} \times \dots \times PFD_{ij} \tag{1}$$

1. f_i^c = Frekuensi untuk terjadinya realisasi kejadian, *event/year*
2. f_i^I = Frekuensi untuk terjadinya kejadian awal, *event/year*
3. PFD_{ij} = *Probabiliy failure on demand* dari SPLi

$$f_i^c = 0.1 \times 0.1 \times 0.01 \times 0.5$$

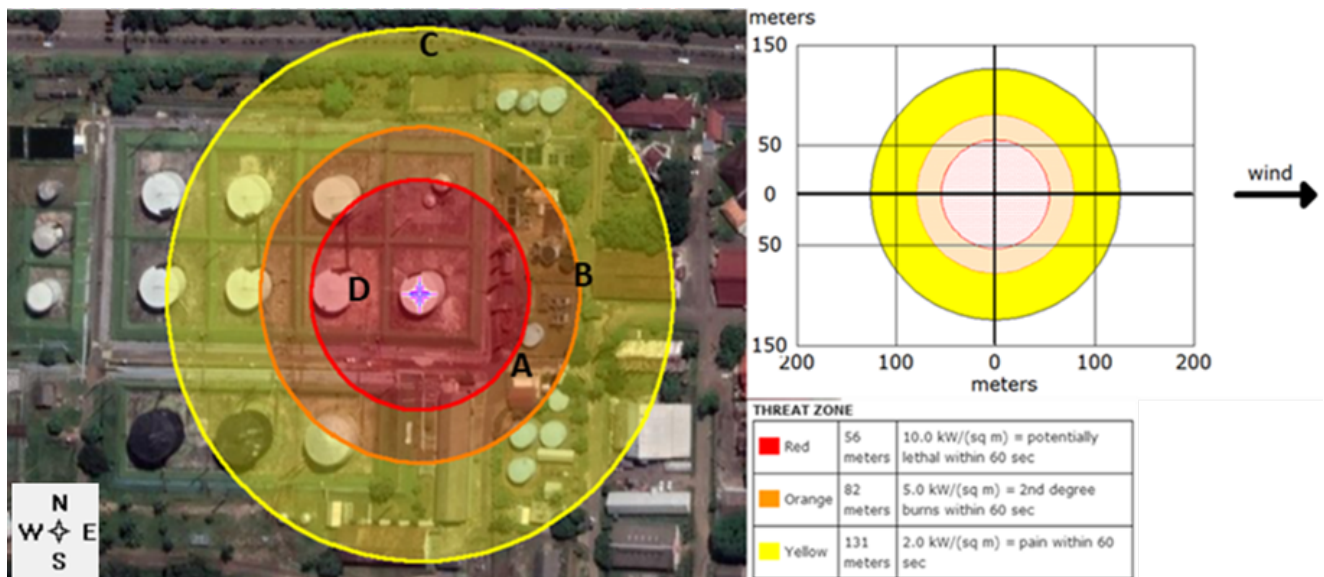
$$f_i^c = 5 \times 10^{-5} \text{kejadian fire engulfment/tahun}$$

Frekuensi terjadinya bahaya kecelakaan yang ditimbulkan oleh terjadinya *fire engulfment*, dengan persamaan diatas terhitung sekitar 5×10^{-5} kejadian per tahun. Mengacu pada Matrik Risiko yang diacu PT. X, tingkat keparahan yang akan ditimbulkan kejadian *fire engulfment* adalah level 5 (tingkat keparahan tertinggi di matriks risiko PT. X) dengan deskripsi berpotensi mengakibatkan *multiple fatality*. Kejadian dengan tingkat keparahan level 5 akan bisa sebagai risiko yang dapat diterima apabila frekuensinya lebih kecil dari 10^{-6} . Frekuensi hasil hitungan kejadian *fire engulfment* 5×10^{-5} masih lebih besar dari 10^{-6} , maka risiko *fire engulfment* tangki T-04 adalah kategori risiko yang tidak bisa diterima perusahaan dan dikategorikan sebagai Major Accident Hazard yang perlu dilakukan kajian dampak radiasi panas dari kebakaran bagi manusia di sekitar tangki T-04.

3.4 Kajian paparan panas radiasi saat tangki T-04 mengalami *tank fire engulfment*

Tangki T-04 adalah tangki minyak mentah dengan 30% isi tangki adalah minyak mentah, sekitar 60% diisi oleh air terproduksi dan sedimen di dasar tangki dan 10% sebagai ruang uap. Diameter tangki 20.9 m dan tingginya 10 m, peta area sekitar tangki T-04 digambarkan pada Gambar 2.

Saat terjadi kegagalan operasional tangki T-04 dan mengalami *tank fire engulfment*, jumlah minyak mentah yang tumpah dan terbakar ditentukan dengan persamaan 2



GAMBAR 4. Hasil simulasi tingkat pajanan panas radiasi akibat kebakaran minyak yang tumpah dari tangki T-04 menggunakan *software ALOHA*.

TABEL 5. Paparan panas radiasi yang diterima oleh manusia dan fasilitas tangki di sekitar tangki T-04 saat mengalami *tank fire engulfment*.

Fasilitas Sekitar Tangki T-04	Posisi lokasi (relatif terhadap sumber panas)	Intensitas Panas Radiasi	Acuan LOC	Potensi Keperahan
Operator’s Room (Titik A)	East : 47,9 m; South : 40,9 m	8.18 kW m ⁻²	LOC 2	Luka Bakar Derajat Dua
Office Room (Titik B)	East : 88,6 m; North : 7,55 m	4.31 kW m ⁻²	LOC 3	Sakit Sementara
Public Road (Titik C)	East : 0 m; North : 118 m	2.46 kW m ⁻²	LOC 3	Sakit Sementara
Tangki T-03 (Titik D)	West : 30 m North : 0 m;	26.2 kW m ⁻²	LOC 1	Tangki T-03 terbakar karena domino effect

$$\text{Minyak tumpah dan terbakar} = 3.14/4 \times (20.9 \times 20.9)m^2 \times 3 m = 1028.69m^3 \quad (2)$$

Menggunakan software ALOHA dihitung tingkat paparan panas radiasi akibat kebakaran minyak yang tumpah dari T-04 pada saat terjadi *tank fire engulfment* dan berdasarkan *Level Of Concern (LOC)* yang tercantum pada *National Oceanic and Atmospheric Administration 2013*, hasil hitungan dapat dituliskan pada persamaan 3.

Hasil hitungan tingkat paparan panas radiasi dari kejadian *tank fire engulfment* tangki T-04 PPP PT X berdasarkan simulasi ALOHA seperti pada Tabel 4.

Hasil hitungan paparan panas radiasi di area yang ditinggali manusia (*human attended area*) ataupun fasilitas umum, jalan raya, pada saat terjadi realisasi MAH (*Major Hazard Accident*) yaitu saat tangki pengumpul *crude oil* T-04, mengalami *tank fire engulfment* dan dengan menggunakan perangkat lunak ALOHA yang terintegrasikan dengan perangkat lunak MARPLOT, didapatkan hasil seperti tertulis pada Tabel 5.

Hasil kajian diatas, akan menjadi bahan informasi bagi Safety Mangement PT X, untuk dijadikan bagian dari PSM (*Process Safety Mangement*) terkait dengan PSAIM (*Process Safety Asset Integrity Management*) dan juga *Safety Information*. Pada saat kajian ini dilakukan, *SPL (Safety Protection Layers)* yang terpasang untuk antisipasi realisasi MAH yaitu terjadinya *tank fire engulfment* di tangki T-04 berjalan baik.

4. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

4.1 Kesimpulan

Dari hasil kajian ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Area pada jarak sampai dengan 56 m dari tangki T-04 akan menerima paparan panas radiasi yang berpotensi mengakibatkan *human fatality* dalam kurun waktu paparan 60 detik (*LOC Red > 10 kW/m²*) pada saat tangki T-04 mengalami *tank fire engulfment*
2. *Human attended area* yaitu Ruang Operator yang berjarak 63 m dari tangki T-04 menerima paparan panas radiasi dari kebakaran tangki T-04 yang akan mengakibatkan operator mengalami luka bakar derajat dua dalam kurun waktu paparan 60 detik
3. Ruang Perkantoran yang berjarak 89 m dan fasilitas umum jalan raya yang berjarak 118 m dari tangki T-04 menerima paparan panas radiasi dari kebakaran tangki T-04 yang akan mengakibatkan orang mengalami sakit sementara apabila terpajan selama 60 detik
4. Fasilitas terdekat tangki T-03 yang berjarak 30 m dari

tangki T-04 akan mengalami *domino effect* ikut terbakar akibat paparan panas radiasi dari kebakaran tangki T-04.

4.2 Rekomendasi

Mencegah kejadian atau mengurangi risiko kejadian kebakaran tangki T-04 di Pusat Pengumpul Produksi (PPP) minyak PT. X, perlu dilakukan manajemen risiko proses sampai mencapai tingkat risiko yang dapat diterima perusahaan. Beberapa upaya yang dapat dilakukan sebagai berikut:

1. Dengan mengacu pada Design Options for Overfill Prevention for Aboveground Storage Tanks (GCPS 2014-AIChE) dan API-2350, diperlukan untuk melakukan penambahan *Safety Protection Layers (SPL)* mencegah terjadinya overfill (*overfill protection*), seperti PAH (*Pressure Alarm High*), LAH (*Level Alarm High*), ataupun penambahan SIS (*Safety Instrumented System*) seperti PAHH (*Pressure Alarm High-High*), dan LAHH (*Level Alarm High-High*) yang sesuai untuk memastikan ada pengurangan tingkat risiko, sehingga risiko yang akan ditimbulkan menjadi *Tolerable Risk* ataupun pada kondisi ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*)
2. Mengacu pada NFPA 15 "Standard for Water Spray Fixed System for Fire Protection", untuk tangki yang berisikan *combustible liquid* seperti tangki di PPP PT. X, diperlukan pemasangan *spray water* di permukaan tangki dengan *flow rate* minimum sebesar 0,15 – 0,50 gpm/ft² sehingga domino effect dari kebakaran tangki terdekat dapat dicegah seperti yang terjadi di tangki T-03 dalam penelitian ini.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada PT. X di Sumatera Selatan yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian ini di Pusat Pengumpul Produksi Minyak yang dimiliki. Disampaikan juga terimakasih kepada Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia yang memberikan dukungan bagi peneliti untuk melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- CCPS. 2001. Layer of protection analysis - Simplified process risk assessment. volume 84. <https://www.wiley.com/en-in/Layer+of+Protection+Analysis%3A+Simplified+Process+Risk+Assessment-p-9780816908110>.
- Chen Fz, Zhang Mg, Song J, Zheng F. 2018. Risk analysis on domino effect caused by pool fire in petroliferous tank farm. *Procedia Engineering*. 211:46–54. doi:10.1016/j.proeng.2017.12.136.

- Crowl DA, Louvar JF. 2002. Chemical process safety: Fundamentals with applications. Prentice Hall PTR. doi:[10.1021/op3003322](https://doi.org/10.1021/op3003322). <https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/prs.12086>.
- EnergyData. 2021. Global wind atlas. <https://globalwindatlas.info/en>.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 2013. Areal locations of hazardous. (November). <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/2669>.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Migas Lemi-gas. 2022. Report crude assay tipe B SPD crude oil 220221160331. Technical report.
- Ramli S. 2017. Manajemen keselamatan proses berbasis risi-ko untuk industri migas dan petrokimia. Jakarta, Indone-sia: Yayasan Pengembang Keselamatan Prosafe Institu-te.