



## **Analisis Risiko Kebakaran dan Ledakan Kegiatan *Unloading* Bahan Bakar Minyak di SPBU dengan menggunakan *Dow's Fire & Explosion Index*, ALOHA dan MARPLOT**

**Budi Yulianto<sup>1\*</sup>, Mila Tejamaya<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Pascasarjana Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia

### **Abstrak**

Proses kegiatan pengiriman BBM ke SPBU dengan proses *unloading* memiliki potensi bahaya yang tinggi karena hubungannya dengan bahan bakar jenis bensin dan solar. Oleh karenanya perlu dilakukan analisis perhitungan level risiko dan permodelan skenario untuk menggambarkan dampak kebakaran dan ledakan, agar dampak yang ditimbulkan dapat diminimalkan dengan melakukan pengendalian dan pencegahan. Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan analisis risiko kebakaran dan ledakan kegiatan *unloading* bahan bakar minyak di SPBU dengan menggunakan *Dow's Fire & Explosion Index*, ALOHA dan MARPLOT. Dalam penelitian ini menggunakan metode semi kuantitatif, dimana penilaian risiko dapat menggunakan metode kuantitatif, kualitatif dan semi kuantitatif. Sampel pada penelitian ini adalah mobil tangki kapasitas 24.000 liter melakukan proses pembongkaran (*unloading*) BBM dengan produk yang diangkut jenis premium di 3 SPBU wilayah Jawa Bagian Barat yang pernah mengalami insiden kebakaran. Instrumen dan analisa risiko bahaya kebakaran dan ledakan menggunakan *Dow's Fire and Explosion Index*. Dari hasil perhitungan *Dow's Fire and Explosion Index* dengan menggunakan software ALOHA versi 5.4.7 dan MARPLOT dapat diketahui klasifikasi risiko dari kejadian kebakaran dan ledakan serta area dampak dari kejadian tersebut. Hasil penelitian ini diketahui bahwa Tingkat risiko kebakaran dan ledakan dari proses *unloading* bahan bakar minyak dari mobil tangki ke SPBU menurut klasifikasi tingkat risiko dengan nilai 122,56 berada pada kategori Intermediate.

**Kata Kunci:** Analisis risiko, bahan bakar minyak, kebakaran, *unloading*.

### **Abstract**

The process of sending fuel to gas stations with the unloading process has a high potential for danger because of its relationship with gasoline and diesel fuel types. Therefore, it is necessary to analyze the risk level calculation and scenario modeling to describe the impact of fire and explosion, so that the impact can be minimized by controlling and preventing. The purpose of this study was to analyze the risk of fire and explosion in fuel oil unloading activities at gas stations using the *Dow's Fire & Explosion Index*, ALOHA and MARPLOT. In this study using semi-quantitative methods, where risk assessment can use quantitative, qualitative and semi-quantitative methods. The sample in this study was a tank car with a capacity of 24,000 liters carrying out the process of unloading fuel with products transported by premium types at 3 gas stations in the West Java region that had experienced fire incidents. Instruments and risk analysis of fire and explosion hazards using the *Dow's Fire and Explosion Index*. From the results of the *Dow's Fire and Explosion Index* calculations using ALOHA software version 5.4.7 and MARPLOT, it can be seen the risk classification of fire and explosion events and the impact area of these events. The results of this study indicate that the risk level of fire and explosion from the process of unloading fuel oil from tank cars to gas stations according to the risk level classification with a value of 122.56 is in the Intermediate category.

**Keywords:** Risk analysis, fuel oil, wildfire, *unloading*.

**Korespondensi\*:** Budi Yulianto, Pascasarjana Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia, Kampus Baru UI Depok Jawa Barat 16424 Indonesia, E-mail: [budi.yulianto4381@gmail.com](mailto:budi.yulianto4381@gmail.com), Phone: +6285216677575

<https://doi.org/10.33221/jikm.v11i04.2016>

Received : 1 Juli 2022 / Revised : 4 Juli 2022 / Accepted : 10 Juli 2022

Copyright © 2022, Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat, p-ISSN: 2252-4134, e-ISSN: 2354-8185

## Pendahuluan

Kegiatan tambang minyak bumi merupakan proses ekstraksi mineral dan bahan tambang dari dalam perut bumi hingga sampai ke permukaan bumi, diolah dengan menggunakan teknologi tinggi hingga menjadi produk-produk bahan bakar minyak, dan seluruh proses itu berisiko tinggi untuk mengakibatkan kebakaran dan ledakan hingga menyebabkan korban jiwa, kerusakan properti dan pencemaran lingkungan.<sup>1,2</sup> Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) memiliki potensi bahaya pencemaran udara dan insiden ledakan dimana menurut *World Health Organization* tahun 2004 dimana lebih dari 2,3 juta jiwa dan kerusakan harta benda senilai 4,5 milyar USD akibat kebakaran yang berkaitan dengan kesalahan penanganan produk bahan bakar.<sup>3</sup> Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum yang terletak di dekat daerah pemukiman tidak hanya akan berpotensi mengakibatkan kebakaran dan ledakan, namun juga menimbulkan kerugian materil dan non materil bagi manusia karena populasi yang besar di daerah pemukiman.<sup>4</sup> Proses *loading* dan *unloading* merupakan kegiatan pemindahan bahan bakar minyak yang memiliki potensi bahaya kebakaran yang tinggi.<sup>5</sup> Dalam proses *unloading* atau pengosongan BBM dari mobil tangki, terdapat situasi berbahaya selama proses tersebut diantaranya campuran gas yang mudah terbakar disebabkan masuknya udara kedalam tangki selama pengosongan karena adanya deflagrasi pada *vapour space*, *over pressure* yang dapat menimbulkan *missile effect*. Adanya pelepasan uap atau gas yang mudah terbakar melalui *venting valve* atau *manhole*. Pelapasan dan penguapan cairan yang mudah terbakar karena pecahnya selang fleksibel atau pipa yang digunakan hingga menimbulkan *pool fire*. *Accident* yang dapat terjadi dari proses *unloading* bahan bakar minyak data menimbulkan *fire and explosion*, *gas cloud*, *BLEVE*, *pool fire*, *flash fire and jet fire*.

PT. X selaku perusahaan pengangkut bahan bakar minyak ke SPBU mengalami

insiden kebakaran mobil tangki yang disebabkan konsentrasi *vapour* saat proses *unloading* BBM di SPBU dengan kerugian yang mencapai  $\pm$  1,3 Milyar.<sup>6</sup> Oleh karenanya perlu dilakukan analisis perhitungan level risiko menggunakan *Dow's Fire & Explosion Index* dan permodelan skenario untuk menggambarkan dampak kebakaran dan ledakan dengan menggunakan *software* ALOHA versi 5.4.7 dan MARPLOT agar dampak yang ditimbulkan dapat diminimalkan serta dapat dilakukan pengendalian dan pencegahannya. Alasan penggunaan acuan index dan *software* tersebut adalah untuk dapat memberikan gambaran yang menyeluruh dan lebih terdeskripsikan dampak kebakarannya. Dimana Penggunaan metode Dow-F&EI akan memberikan informasi mengenai radius kebakaran, kerugian finansial, produk yang dioperasikan, peralatan yang beroperasi, peralatan proteksi yang diaplikasikan. Sementara penggunaan *software* ALOHA dan MARPLOT akan memberikan informasi mengenai luasan area yang termasuk zona merah, oranye dan kuning berdasarkan tekanan ledakannya serta probabilitas fasilitas eksisting yang akan terkena dampaknya. Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan analisis risiko kebakaran dan ledakan kegiatan *unloading* bahan bakar minyak di SPBU dengan menggunakan *Dow's Fire & Explosion Index*, ALOHA dan MARPLOT.

## Metode

Desain studi pada penelitian ini merupakan penelitian deskriptif dengan pendekatan semi kuantitatif. Penelitian ini menganalisis dampak kebakaran dan ledakan jika terjadi kegagalan sistem dalam proses *unloading* bahan bakar serta risiko yang menyebabkan kejadian tersebut di SPBU wilayah Jakarta, Bandung dan Tasikmalaya

Populasi pada penelitian ini adalah seluruh mobil tangki kapasitas 24.000 liter yang berada di area *unloading* bahan bakar minyak dari mobil tangki ke tangki pendam

SPBU di wilayah Jakarta, Bandung dan Tasikmalaya. Sampel pada penelitian ini adalah mobil tangki kapasitas 24.000 liter dengan produk yang diangkut jenis premium dan tangki timbun yang menerima produk premium dari mobil tangki. Responden penelitian ini terdiri dari 2 orang dari Divisi *Health Safety Security Environment (HSSE)* PT. X selaku perusahaan yang ditugaskan melakukan pendistribusian Bahan Bakar Minyak dari Terminal Bahan Bakar Minyak ke SPBU. 1 orang pengawas dari tiap-tiap SPBU yang diteliti yang bertugas melakukan pembongkaran BBM dari Mobil Tangki ke tangki pendam SPBU. 1 orang asisten pengemudi mobil tangki yang mengawasi kegiatan mobil tangki dalam melakukan proses pembongkaran BBM (*unloading*). Unit analisis pengambilan data pada penelitian ini adalah Mobil Tangki yang melakukan proses pembongkaran (*unloading*) BBM produk premium yang memiliki potensi timbulnya kebakaran dan ledakan pada lokasi yang beresiko akibat kebocoran di SPBU. Penelitian dilakukan di satu SPBU wilayah Jakarta (SPBU A) dan satu SPBU di wilayah Bandung (SPBU B) dan satu SPBU wilayah Tasikmalaya (SPBU C) selama 2 bulan dari bulan Maret sampai dengan April 2022.

Untuk teknik pengambilan data terdiri dari dua sumber yaitu data primer dan sekunder. Untuk data primer, yang pertama diperoleh langsung dari lokasi penelitian dengan melakukan observasi pada objek yang akan diteliti dengan menggunakan *checklist* untuk evaluasi operasional *unloading* bahan bakar dari mobil tangki ke tangki pendam SPBU. Kedua, dengan melakukan wawancara terhadap beberapa pengelola dari proses pendistribusian BBM tersebut diantaranya adalah: pekerja PT. X selaku perusahaan yang bertanggung jawab terhadap pendistribusian BBM ke lembaga penyalur dalam hal ini ke SPBU; Supervisor yang bertanggung jawab terhadap pendistribusian BBM dengan menggunakan mobil tangki; petugas HSE *fleet management* yang bertugas melakukan investigasi insiden setiap terjadi insiden

dalam operasional mobil tangki; Pengawas/ Supervisor SPBU selaku penanggung jawab kegiatan *unloading* BBM dari mobil tangki ke tangki pendam SPBU, asisten pengemudi angkutan bahan bakar selaku petugas yang mengawasi serta menjaga keselamatan mobil tangki saat proses *unloading*, praktisi atau pekerja yang berpengalaman di bidang K3 Penanggulangan Kebakaran dan Ledakan. Kegiatan *unloading* BBM dari mobil tangki ke tangki pendam SPBU; Asisten pengemudi angkutan bahan bakar selaku petugas yang mengawasi serta menjaga keselamatan mobil tangki saat proses *unloading*. Selain itu, peneliti juga akan melakukan wawancara dengan praktisi/akademisi yang ahli dibidang K3 Penanggulangan Kebakaran dan Ledakan.

Sementara untuk data sekundernya, peneliti mengambil data dari beberapa sumber yaitu data gambaran umum proses *unloading* bahan bakar minyak dari mobil tangki ke tangki timbun SPBU yang terdapat dalam SOP SPBU; dokumen SPBU yang terdiri dari: *layout* SPBU, gambaran geografi SPBU, sarana pemadam yang dimiliki oleh mobil tangki dan SPBU; Buku panduan standar mobil tangki PT. X yang terdiri dari: spesifikasi mobil tangki, spesifikasi teknis, sistem tanggap darurat kebakaran dan ledakan di SPBU.

Instrument penelitian yang digunakan terdiri dari beberapa jenis, yaitu: pertama, Lembar ceklist observasi berupa lembar ceklist peralatan di mobil tangki, data umum mobil tangki, meliputi: merk, kapasitas angkut, jenis bahan bakar yang diangkut, jenis kendaraan, peralatan pengaman. Selain itu, ceklist observasi juga akan menilai: pemeriksaan proses *unloading* bahan bakar dari mobil tangki ke tangki timbun SPBU, pemeriksaan alat pengaman proses *unloading* mobil tangki antara lain sistem *grounding*, *emergency shutdown*, sistem pneumatik, dan keberfungsian Alat Pemadam Api Ringan (APAR). Kedua, lembar *check list* perhitungan *Dow's Fire & Explosion Index*, dimana hasil perhitungannya menggambarkan klasifikasi level bahaya atau level dari risiko pada

proses *unloading* bahan bakar minyak dari mobil tangki ke tangki pendam SPBU yang menimbulkan pajanan pada area tertentu dan estimasi nilai kerugian. Instrumen yang ketiga adalah pedoman wawancara.

Analisa data pada penelitian ini menggunakan software *Dow's Fire and Explosion Index*, software ALOHA dan MARPLOT. Adapun jenis data yang dianalisis adalah data hasil observasi mobil tangki; data hasil perhitungan *Dow's Fire and Explosion Index*; data output perangkat lunak ALOHA, dan hasil wawancara. Penelitian ini telah melalui prosedur kaji etik oleh Komisi Etik Riset dan Pengabdian Kesehatan Masyarakat Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia, dan dinyatakan layak untuk dilaksanakan, hal ini terbukti dari surat keterangan *ethical approval* nomor: Ket-394/UN2.F10.D11/PPM.00.02/2022.

## Hasil

### 1. Karakteristik SPBU

#### a. SPBU A

SPBU A yang berdiri tahun 2003 terletak di wilayah Jakarta Selatan yang memiliki luas sebesar  $\pm 1650 \text{ m}^2$  dengan fasilitas 4 tangki timbun Pertamina kapasitas 32 KL, Peralite kapasitas 32 KL, Pertamina Dex kapasitas 32 KL dan Pertamina Turbo kapasitas 32KL, SPBU ini memiliki empat area *loading* dengan empat dispenser. SPBU ini memiliki area *unloading* berada di sisi depan SPBU. SPBU ini dilengkapi dengan alat penanggulangan kebakaran yaitu 5 unit APAR DCP 9 kg yang berada di setiap dispenser dan 1 unit APAR CO<sub>2</sub> diruang kantor, APAB DCP 60 kg yang berada di area sisi depan SPBU dan area *unloading* BBM. Sisi selatan SPBU ini terdapat jalan dua arah yang padat lalulintas, di sisi utara berbatasan dengan rumah penduduk dan masjid, sisi timur dan barat berbatasan dengan rumah penduduk.

#### b. SPBU B

SPBU B yang berdiri tahun 2006

terletak di kota Bandung yang memiliki luas area sebesar  $1396 \text{ m}^2$  dengan fasilitas 6 tangki timbun yang terdiri dari tangki Premium 31.677 liter, Peralite 21.772 liter, Solar 46.717 liter, Pertamina 31.911 liter, Pertamina Turbo 21.821 liter dan Dexlite 31.897 liter, dan memiliki 4 dispenser. SPBU ini memiliki area *unloading* yang berada di area dalam sisi kanan yang dibatasi oleh tembok  $\pm 4,5$  meter yang membatasi SPBU dengan warga sekitar. SPBU ini dilengkapi dengan alat penanggulangan kebakaran yaitu 4 unit APAR DCP 9 kg yang berada di setiap dispenser, 1 APAR CO<sub>2</sub> yang berada di ruang kantor, APAB DCP 68 kg.

#### c. SPBU C

SPBU C wilayah Tasilmalaya yang berdiri tahun 2012 memiliki luas area sebesar  $2500 \text{ m}^2$ , memiliki fasilitas 4 tangki timbun, Peralite kapasitas 32 KL, Solar kapasitas 32 KL, Pertamina kapasitas 10 KL dan Dexlite dengan kapasitas 10 KL. SPBU C dilengkapi dengan fasilitas toilet, kantor SPBU, kios pengisian ban Nitrogen dan mushola. SPBU C dikelilingi pagar tembok setinggi 2,5 m yang membatasi SPBU dengan warga sekitar. SPBU ini dilengkapi dengan peralatan penanggulangan kebakaran yaitu 5 unit APAR DCP 9 kg, 1 unit APAR CO<sub>2</sub> 5 kg dan 2 unit APAB DCP 75 kg.

### 2. Karakteristik Mobil Tangki

Mobil tangki yang di teliti merupakan mobil tangki dengan kapasitas 24.000 liter dengan jenis kendaraan trailer dengan menggunakan tangki stainless steel dan *aluminium alloy*. Ketentuan dari kendaraan pengangkut BBM PT. Pertamina (Persero) telah ditentukan pada Buku Panduan Mobil Tangki PT. Pertamina (Persero). Mobil tangki 24.000 liter terdapat 3 kompartemen, dengan masing-masing

kompartemen memiliki kapasitas 8.000 liter. Jaringan kabel listrik dan kabel sensor *overflow*, kabel sensor *elektronik seal* serta selang interlock-udara/pneumatic menggunakan material *plyamide* yang tahan terhadap sinar UV. Mobil tangki dilengkapi dengan pencegah timbulnya listrik statis yang berbahaya terhadap isi muatan. Untuk kendaraan 24.000 liter *semi trailer*, pada setiap kompartemen tangki terhubung dengan chassis bawah tangki semi trailer menggunakan minimal satu sambungan logam tahan karat (*bounding*) dengan nilai tahanan maksimal  $7 \Omega$  (ohm) sesuai dengan ketentuan API RP-2003 ketentuan 4.2.7.

### 3. Hasil Perhitungan *Dow's Fire and Explosion Index*

#### a. Penentuan Faktor Material

Karakteristik *Gasoline* memiliki tingkat bahaya terhadap kesehatan skala 2 yang berarti bila terpajan dalam jumlah yang besar dengan durasi terus menerus dapat menimbulkan gangguan kesehatan, seperti iritasi. Untuk tingkat kemudahan terbakar memiliki skala 3 dimana bahan bakar yang dapat menyala dengan sendirinya pada suhu  $-43^{\circ}\text{C}$  dengan *flammability value Low Explosive Limit* (LEL) 1.4%, *Upper Explosive Limit* (UEL) 7.6%. Nilai reaktifitas ( $N_R$ ), nilai *flammability* ( $N_F$ ) dan material factor (MF) terdapat pada ketentuan dalam *Dow's Fire and Explosion Index* pada *Appendix A*. dimana untuk material *Gasoline* nilai  $N_R = 0$ , Nilai  $N_F = 3$  dan nilai MF = 16.

#### b. Perhitungan *General Process Hazard* (F1)

F1 adalah faktor utama yang berperan dalam menentukan besarnya kerugian dari insiden. Dalam perhitungan *General Process Hazard* memiliki 6 parameter risiko yang ditentukan dengan nilai penalti pada proses

*unloading* bahan bakar minyak di SPBU. Jika terdapat parameter yang tidak penerapannya pada proses maka nilai penalti = 0. Hasil penelitian pada parameter *General Process Hazard*, sebagai berikut:

- 1) Reaksi Eksotermis: Tidak ada penalti (0,00) karena unit proses merupakan tangki timbun sehingga tidak terdapat reaksi eksotermis
- 2) Reaksi Endotermis: Pada proses *unloading* bahan bakar minyak dari mobil tangki ke tangki timbun tidak terdapat reaksi endotermis. Tidak ada penalti (0,00) karena unit proses merupakan tangki timbun sehingga tidak terdapat reaksi endotermis
- 3) Penanganan dan Transfer Material: Pada proses *unloading* di tiga SPBU merupakan proses bongkar muat BBM yang melibatkan bahan mudah terbakar kelas 1 yaitu premium, sehingga nilai penalti parameter ini pada proses *unloading* yaitu 0,50.
- 4) Unit Proses Tertutup: Premium merupakan *flammable liquid* yang memiliki *flash point*  $-43^{\circ}\text{C}$ , dimana proses *unloading* dilakukan pada suhu  $22-32^{\circ}\text{C}$ . Proses *unloading* di SPBU A, B dan C berada di area terbuka, maka nilai penalti parameter ini adalah 0,00.
- 5) Akses: Untuk SPBU A (Jakarta) memiliki dua akses masuk dan keluar dari jalan raya dengan posisi proses *unloading* berada di sisi depan area SPBU. Untuk SPBU B (Bandung) memiliki dua akses masuk dan keluar dari jalan raya dengan proses *unloading* berada di belakang dan sisi kanan area SPBU. Untuk SPBU C (Tasikmalaya) memiliki dua akses masuk dan keluar dari jalan raya dengan proses *unloading* berada di sisi depan area SPBU. Dari ketiga unit proses tersebut memiliki dua akses memadai sehingga tidak ada nilai

penalti pada parameter ini dengan nilai penalti 0,00

- 6) Drainase dan Kontrol Tumpahan: Sistem drainase dan kontrol tumpahan dari ketiga SPBU memiliki drainase namun tidak dapat menampung seluruh jumlah BBM dan area *unloading* berbentuk datar yang memungkinkan BBM dapat tumpah dan menyebar ke area SPBU. Maka nilai penalti dari parameter ini yaitu 0.50.

Perhitungan F1 dengan nilai *Base Factor* 1 untuk proses *unloading*, maka nilai F1 menjadi:  $F1 = 1 + 0 + 0 + 0,5 + 0 + 0 + 0,5 = 2,00$

c. Perhitungan *Special Process Hazard Factor* (F2)

F2 adalah faktor yang dapat meningkatkan probabilitas potensi insiden. F2 merupakan kondisi proses yang spesifik yang berdasarkan sejarah berkontribusi menjadi penyebab utama insiden kebakaran dan ledakan. Pada perhitungan *Special Process Hazard Factor* (F2) pada proses *unloading* BBM dari mobil tangki di SPBU terdapat parameter yang tidak diterapkan maka nilai penaltinya adalah 0, dengan hasil penelitian setiap parameter sebagai berikut:

1) Material Beracun

Nilai penalti pada parameter material beracun pada proses *unloading* parameter *Toxic Material* adalah:  $0,20 \times Nh$   
Material =  $0,20 \times 1 = 0,20$ .

2) Tekanan Sub Atmosfer

Tidak ada penalti (0,00) karena unit proses adalah tangki timbun yang merupakan *atmospheric storage tank*, yaitu tangki yang dioperasikan pada atau sedikit di atas tekanan atmosfer.

3) Temperatur Operasi pada atau dekat dengan *Flammable Range*  
Saat proses *unloading*, bahan bakar

yang turun menuju tangki timbun SPBU sehingga udara luar dapat masuk *pressure vacum vent* yang terletak di sisi *manhole* atas mobil tangki. Maka nilai penalti yang diperoleh dari proses *unloading* pada parameter ini adalah = 0,50.

4) Ledakan Debu

Pada proses *unloading* bahan bakar minyak dari mobil tangki ke tangki pendam SPBU merupakan proses *transfer liquid*. Pada parameter ini penalti tidak diterapkan, sehingga nilai penalti pada parameter ini = 0,00.

5) Tekanan Pelepasan

Pada proses *unloading* bahan bakar dari mobil tangki ke tangki timbun memiliki tekanan normal 1 atm (14,7 psig). Premium yang merupakan *flammable liquid* dengan *flash point* - 43°C. Nilai penalti dapat ditentukan dengan memasukan besar nilai tekanan operasi sebesar 14,7 psig. Sehingga nilai penalti di berdasarkan persamaan sebagai berikut:

Dengan nilai X = 14,7 psig, maka hasil persamaannya yaitu:

$$Y = 0,16109 + ((1,61503 \times 14,7) / 1000)^{80} - 1,42879 (14,7/1000)^2 + 0,5172$$

$$(14,7/1000)^3$$

$$Y = 0,1845$$

Maka nilai penalti pada parameter tekanan pelepasan = 0,1845

6) Temperatur Rendah

Temperatur operasional proses *unloading* BBM dari mobil tangki ke tangki timbun SPBU tidak dilakukan pada suhu dibawah suhu normal, maka nilai penalti = 0,00.

7) Kuantitas Bahan Mudah Terbakar

Nilai penalti pada parameter ini yaitu 0,452. Nilai tersebut didapat dari perhitungan sebagai berikut:

- a. Volume bersih dari jumlah bahan bakar minyak dari mobil tangki pada proses *unloading* di 3 SPBU memiliki volume yang

- sama yaitu 24.000 liter premium, dengan massa jenis premium 0,750 kg/liter.
- b. Massa dari bahan bakar = massa jenis X volume bersih = 24.000 liter X 0,750 kg/liter = 18.000 kg, dimana 1 kg = 2,2046 lb. jadi 18.000 kg sama dengan 39.682,8 lb.
  - c. *Gasoline* memiliki energi (Hc) = 18, 8 X 10<sup>3</sup> BTU/lb, maka total energi dalam mobil tangki BBM = 39.682,8 X 18, 8 X 10<sup>3</sup> BTU = 746.036.640 = 0,746 X 10<sup>9</sup> BTU.
  - d. Pada perhitungan rumus, nilai (X) dalam BTU X 10<sup>9</sup> sehingga nilai dalam BTU adalah 0,746.  

$$\text{LOG (Y)} = -0.40311 + 0.378703 \cdot \text{LOG(X)} - 0.046402 \cdot \text{LOG (X)}^2 - 0.015379 \cdot \text{LOG (X)}^3.$$
- 8) Korosi dan Erusi  
 Belum pernah ditemukan adanya korosi pada tangki pengangkut bahan bakar di mobil tangki. Pada parameter ini nilai penalti = 0,00
  - 9) Kebocoran sambungan dan pengepakan  
 Mendapat penalti 1,5 karena sambungan dari mobil tangka ke tangki pendam menggunakan bagian *coupling* yang tidak terpasang dengan baik atau sdh aus, sehingga terjadi kebocoran bbm atau terlepasnya vapour BBM ke udara
  - 10) Penggunaan Peralatan Pembakar  
 Tidak ada penalti (0,00) karena di sekitar atau pada tangki tidak terdapat peralatan pembakar
  - 11) Sistem Pertukaran Minyak Panas  
 Pemberian nilai penalti pada parameter ini untuk bahan *combustible liquid*, sedangkan premium merupakan *flammable liquid* dengan *flash point* dibawah 100°C, sehingga nilai penalti = 0,00.
  - 12) Peralatan Berputar  
 Tidak ada penalti (0,00) karena tidak menggunakan peralatan berputar.  
 Nilai perhitungan *Special Process Hazard Factor* (F2) yang memiliki *base factor* 1,  

$$F2: 1+0,2+0+0,5+0+0,18+0+0,45+0+1,5+0+0+0 = \mathbf{3,83}$$
  - d. Perhitungan *Fire and Explosion Index*  
 Nilai *Fire and Explosion Index* (F3) yaitu 7,66 yang diperoleh dari perhitungan: F1 X F2 = 2,00 X 3,83 = 7,66  
 Nilai *Fire and Explosion Index* pada proses kegiatan *unloading* bahan bakar minyak dari mobil tangki ke SPBU, merupakan hasil perkalian dari *material factor* dengan nilai F3 dengan persamaan sebagai berikut:  

$$F \ \& \ EI : \text{Material Factor} \times F3 = 16 \times 7,66 = 122,56$$
 F&EI merupakan gambaran potensi bahaya yang ada dalam unit proses yang dapat dikategorikan berdasarkan tingkat bahaya. Tingkat risiko kebakaran dan ledakan dari proses *unloading* bahan bakar minyak dari mobil tangki ke SPBU menurut klasifikasi tingkat risiko dengan nilai 122,56 berada pada kategori **Intermediate**.  
 Nilai hasil perhitungan *Loss Control Credit Factor* (LCCF), terdapat tiga kategori dalam pengendalian kerugian diataranya: kontrol proses (C1), isolasi bahan (C2), perlindungan kebakaran (C3). Dimana LCCF (C total) diperoleh dari perkalian antara C1 x C2 x C3 dan diperoleh hasil 0,80, yang artinya intervensi pengendalian kerugiannya masih kurang maksimal.

**Tabel 1.** Nilai Perhitungan Loss Control Credit Factor (LCCF)

	SPBU A	SPBU B	SPBU C
<b>Process Control Credit Factor (C1)</b>	<b>0,84</b>	<b>0,84</b>	<b>0,84</b>
A. Emergency Power	1,00	1,00	1,00
B. Cooling System	1,00	1,00	1,00
C. Pengendali Ledakan	1,00	1,00	1,00
D. Emergency Shutdown	1,00	1,00	1,00
E. Pengendalian komputerisasi	1,00	1,00	1,00
F. Inert Gas	1,00	1,00	1,00
G. Prosedur Operasi	0,99	0,99	0,99
H. Tinjauan Bahan Kimia	0,91	0,91	0,91
I. Bahaya Proses Lainnya	0,93	0,93	0,93
<b>Material Isolation Credit Factor (C2)</b>	<b>0,98</b>	<b>0,98</b>	<b>0,98</b>
A. Remote Control Valve	1,00	1,00	1,00
B. Tangki Penampungan	1,00	1,00	1,00
C. Drainase	1,00	1,00	1,00
E. Interlock System	0,98	0,98	0,98
<b>Fire Protection Credit Factor (C3)</b>	<b>0,98</b>	<b>0,98</b>	<b>0,98</b>
A. Leak Detection	1,00	1,00	1,00
B. Structural Steel	1,00	1,00	1,00
C. Fire water supply	1,00	1,00	1,00
D. Special system	1,00	1,00	1,00
E. Sprinkler System	1,00	1,00	1,00
F. Water Curtain	1,00	1,00	1,00
G. Foam	1,00	1,00	1,00
H. Hand Extinguisher	0,98	0,98	0,98
I. Cable Protection	1,00	1,00	1,00
Loss Control Credit Factor = C1 X C2 X C3	<b>0,80</b>	<b>0,80</b>	<b>0,80</b>
Radius Paparan F & E X 0,3048 (meter)	37,36	37,36	37,36
Luas Area Paparan ( $\pi r^2$ ) (meter)	4.382,7	4.382,7	4.382,7
Replacement Value (Original Cost x 0,82 x escalation factor)	216.529.200.000	216.529.200.000	94.511.232.000
Damage Factor ( $Y = 0,256741 + 0,019886 * X + 0,011055 * X^2 - 0,00088 * X^3$ )	1,316	1,316	1,316
Base Maximum Probable Property Damage (Base MPPD)	284.952.427.200	189.502.104.960	124.376.781.312
Damage Factor x Value of Area of Exposure			
Estimasi Nilai Kerugian (LCCF x Base MPPD)	229.101.751.469	152.359.692.388	99.998.932.174

#### 4. Perhitungan Aloha dan Marplot

Penelitian dengan menggunakan perangkat lunak ALOHA pada skenario cairan BBM yang terdiri dari unsur Pentana dimana terdapat kebocoran pada proses *unloading* yang terjadi antara *bottom loader* dengan *rubber hose* yang menuju tangki timbun SPBU. ALOHA memiliki kemampuan untuk

memodelkan beberapa jenis skenario yang sering terjadi pada kebocoran bahan kimia, yaitu: *Jet fire*, *Flash fire* dan *Pool fire*. *Pool fire* terjadi ketika cairan mudah terbakar dapat membentuk genangan yang kemudian dapat terbakar. Radius tumpahan BBM yang berada di area bawah mobil tangki sehingga menimbulkan *vapour cloud* sehingga



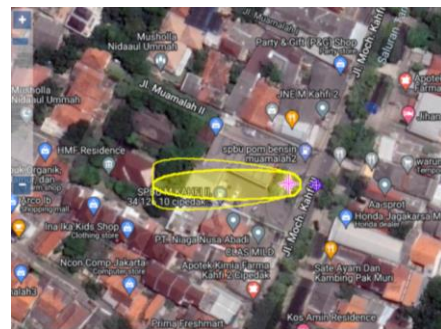
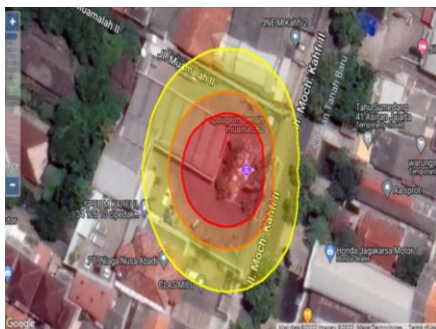
menimbulkan *pool fire* akibat adanya inisiasi dari *spark* (percikan atau bunga api) ataupun dari panas pada lingkungan sekitar. Pada penelitian ini menggunakan *flammable liquid* yaitu premium yang terdiri dari senyawa kimia Pentana

#### a. SPBU A

Tangki pengangkut BBM yang berbentuk silindris dengan diameter 2,1 meter, panjang 6,93 meter dan memiliki volume 24.000 liter. Sesuai dengan gambar diatas dengan jenis kebakaran tipe *pool fire* dengan threat zone pada zona merah yaitu sejauh 19 meter yang memiliki potensi kematian dalam waktu 60 detik, zona orange 23 meter memiliki potensi luka bakar derajat 2 dan zona kuning sejauh 30 meter yang dapat menimbulkan rasa sakit. Panjang dari *flame length* maksimal 11 meter. Hasil kecepatan rata-rata cairan terbakar sebanyak 139 kg/menit atau setara dengan 100 liter/menit. Kebocoran *flammable liquid* berasal dari kebocoran pada *connector rubber hose ke bottom loading*, dengan diameter kebocoran sebesar 4 inch dengan volume yang mengalami kebocoran pada salah satu kompartemen sebanyak 8000 liter.

dengan nilai *Lower Explosive Limit* (LEL) yaitu 14.000 ppm dan *Upper Explosive Limit* (UEL) 150.000 ppm. Nilai *Protective Action Criteria* (PAC-1) yaitu 3.000 ppm, PAC-2 33.000 ppm dan PAC-3 pada 200.000 ppm.

Berdasarkan hasil permodelan dengan menggunakan perangkat lunak ALOHA untuk SPBU Jakarta, diperkirakan terjadi kebocoran BBM Premium yang mengandung zat kimia pentana dimana berlangsung selama 1 jam dengan rata-rata kecepatan aliran sebesar 184 kg/ menit dengan jumlah pentana selama rentang waktu sebesar 4.516 kg. ALOHA memperkirakan bahwa jangkauan penyebaran pentana sebagai berikut: *Flammable area of vapour cloud*, zona merah (8400 ppm = 60% LEL = *Flame Pocket*) pada jarak 15 meter. *Flammable area of vapour cloud*, zona kuning (1400 ppm = 10% LEL) pada jarak 50 meter. Untuk jarak antara 15 meter hingga 50 meter yang merupakan wilayah dengan potensial terjadinya kebakaran jika terjadi ignisi. Pola tersebut dapat berubah sewaktu-waktu, sehingga penetapan zona terancam (*threat zone*) yaitu radius 15 sampai dengan 50 meter.



**Gambar 1.** Hasil ALOHA dan MARPLOT *Pool Fire* dan simulasi *Flammable Area of Vapour Cloud* pada kegiatan *Unloading* mobil tangki di SPBU A (Jakarta)

**b. SPBU B**



**Gambar 2.** Hasil ALOHA dan MARPLOT *Pool Fire* dan simulasi *Flammable Area of Vapour Cloud* pada kegiatan *Unloading* mobil tangki di SPBU B (Bandung)

Dengan karakteristik ukuran tangka yang sama yaitu diameter 2,1 meter, panjang 6,93 meter dan memiliki volume 24.000 liter. Sesuai dengan gambar diatas dengan jenis kebakaran tipe *pool fire* dengan *threat zone* yang sama dengan SPBU A pada zona merah, zona orange dan zona kuning. Permodelan ALOHA zona terancam (*threat zone*), nilai *flammable area vapour cloud* zona merah (8.400 ppm = 60 % LEL = flame pocket), zona kuning (1.400 ppm = 10 % LEL). ALOHA memperkirakan bahwa jangkauan penyebaran pentana sebagai berikut: *Flammable area of vapour cloud*,

zona merah (8.400 = 60 % LEL = flame pocket) pada jarak 15 meter. *Flammable area of vapour cloud*, zona kuning (1.400 = 10 % LEL) pada jarak 58 meter. Pada jarak lebih dari 58 meter konsentrasi *vapour* pentana berada dibawah LEL/ LFL, jika terignisi tidak menimbulkan kebakaran. Untuk jarak di antara 15 meter dengan 58 meter yang merupakan wilayah dengan potensial terjadinya kebakaran jika terignisi. Kondisi tersebut dapat berubah sewaktu-waktu, sehingga penetapan zona terancam (*threat zone*) pada radius 15 sampai dengan 58 meter.

**c. SPBU C**



**Gambar 3.** Hasil ALOHA dan MARPLOT *Pool Fire* dan simulasi *Flammable Area of Vapour Cloud* pada kegiatan *Unloading* mobil tangki di SPBU B (Tasikmalaya)

Sesuai dengan gambar diatas dengan jenis kebakaran tipe *pool fire* dengan *threat zone* pada zona merah yaitu sejauh 17 meter yang dapat menyebabkan kematian dalam waktu 60 detik, zona orange sejauh 20 meter

yang memiliki potensi menyebabkan luka bakar derajat 2 dan zona kuning sejauh 26 meter yang dapat menimbulkan rasa sakit. Panjang *flame length* 10 meter dengan kecepatan rata-rata cairan terbakar

sebanyak 139 kg/menit setara dengan 100 liter per menit. Pemodelan ALOHA zona terancam (*threat zone*), nilai *flammable area vapour cloud* zona merah (8.400 = 60 LEL = *flame*

*pocket*). Zona kuning (1.400 ppm = 10 % LEL) yang nilainya sama dengan SPBU A. ALOHA memperkirakan bahwa jangkauan penyebaran pentana sama dengan SPBU A.

**Tabel 2.** Hasil Akumulasi Simulasi ALOHA dan Marplot

No.	Skenario Kegagalan	Lokasi Simulasi	Hasil Aloha
1.	Kebocoran Bahan Bakar Premium keluar dari <i>rubber hose</i> dalam kondisi terbakar	SPBU A	<i>Pool Fire</i> dengan radius zona merah 19 meter, zona orange 23 meter dan zona kuning 30 meter.
2.	Kebocoran Bahan Bakar Premium keluar dari <i>rubber hose</i> dalam kondisi tidak terbakar dan menimbulkan <i>vapour cloud</i>	SPBU A	<i>Flammable area vapour cloud</i> dengan zona merah dan zona orange 15 meter, zona kuning 58 meter.
3.	Kebocoran Bahan Bakar Premium keluar dari <i>rubber hose</i> menimbulkan <i>vapour cloud</i> yang dapat menyebabkan <i>toxic</i>	SPBU A	Paparan Toxic zona merah PAC-3 dan zona orange PAC-2 sejauh 10 meter, zona kuning PAC-1 sejauh 27 meter.
4.	Kebocoran Bahan Bakar Premium keluar dari <i>rubber hose</i> dalam kondisi terbakar	SPBU B	<i>Pool Fire</i> dengan radius zona merah 19 meter, zona orange 23 meter dan zona kuning 30 meter.
5.	Kebocoran Bahan Bakar Premium keluar dari <i>rubber hose</i> dalam kondisi tidak terbakar dan menimbulkan <i>vapour cloud</i>	SPBU B	<i>Flammable area vapour cloud</i> dengan zona merah sejauh 15 meter, zona kuning 58 meter.
6.	Kebocoran Bahan Bakar Premium keluar dari <i>rubber hose</i> menimbulkan <i>vapour cloud</i> yang dapat menyebabkan <i>toxic</i>	SPBU B	Paparan Toxic zona merah PAC-3 sejauh 10 meter, zona orange PAC-2 sejauh 10 meter, zona kuning PAC-1 sejauh 23 meter.
7.	Kebocoran Bahan Bakar Premium keluar dari <i>rubber hose</i> dalam kondisi terbakar	SPBU C	<i>Pool Fire</i> dengan radius zona merah 17 meter, zona orange 20 meter dan zona kuning 26 meter.
8.	Kebocoran Bahan Bakar Premium keluar dari <i>rubber hose</i> dalam kondisi tidak terbakar dan menimbulkan <i>vapour cloud</i>	SPBU C	<i>Flammable area vapour cloud</i> dengan zona merah sejauh 14 meter, zona kuning 50 meter.
9.	Kebocoran Bahan Bakar Premium keluar dari <i>rubber hose</i> menimbulkan <i>vapour cloud</i> yang dapat menyebabkan <i>toxic</i>	SPBU C	Paparan Toxic zona merah PAC-3 dan PAC-2 sejauh 10 meter, zona kuning PAC-1 sejauh 23 meter.

Berdasarkan *hasil* analisa perhitungan Dow's Fire and Explosion Index didapati jarak radius paparan sebesar 37,36 meter serta berdampak pada:

- 1) Fatality, kerusakan asset, berhentinya bisnis penyaluran

BBM dan usaha UMKM yang berada di area SPBU

- 2) Luka berat dan kerusakan asset bisnis dan usaha
- 3) Luka ringan, paparan panas dari kebakaran dan ledakan

## Pembahasan

Hasil analisa tingkat risiko kebakaran dan ledakan dengan menggunakan perhitungan Dow's Fire & Explosion Index dengan nilai 122,56 dengan kategori Intermediate. Pada proses unloading BBM dengan kapasitas BBM sebesar 24.000 liter membutuhkan pengendalian khusus serta mitigasi risiko yang dapat menyebabkan kerugian baik kerugian jiwa maupun kerugian harta benda. *Dow's Fire & Explosion Index* digunakan untuk membantu engineer dalam menganalisa bahaya pada setiap unit proses serta membuat keputusan penting dalam mengurangi dampak keparahan dan kemungkinan insiden.<sup>7</sup>

Dalam perhitungan nilai kerugian pada SPBU A sebesar Rp. 229.101.751460,-, SPBU B sebesar 152.359.692.388,-, SPBU C sebesar 99.998.932.174,-. Pada perhitungan nilai kerugian merupakan hasil perkalian dari nilai *Lost Control Credit Factor* (LCCF) yang merupakan gabungan dari *Process Control Credit Factor* (C1), *Material Isolation Credit Factor* (C2) dan *Fire Protection Credit Factor* (C3). Semakin besar nilai LCCF maka dapat meningkatkan jumlah kerugian akibat kebakaran dan ledakan yang semakin besar. Namun jika nilai LCCF semakin kecil maka nilai kerugian semakin berkurang, oleh karenanya perlu dilakukan implementasi sistem pada kegiatan operasional, baik secara administrasi maupun implementasi sarana fasilitas pencegah kebakaran yang disesuaikan potensi risiko yang mungkin muncul. Untuk nilai C1 dapat berupa implementasi pengendalian potensi kebakaran dan ledakan pada proses operasional, untuk nilai C2 dapat berupa penerapan teknologi atau rekayasa *engineering* pada peralatan proses guna mencegah timbulnya kebakaran dan ledakan, sedangkan nilai C3 dapat berupa implementasi peralatan identifikasi potensi bahaya kebakaran dan implementasi peralatan pemadam kebakaran.

Dari hasil penelitian, diketahui bahwa tingkat risiko kebakaran dan ledakan dari proses *unloading* bahan bakar minyak

diperoleh nilai F&EI adalah sebesar 122,56. Berdasarkan Pedoman Dow's Fire and Explosion Index, diketahui bahwa unit proses dengan kisaran F&EI sebesar 97 – 127 masuk dalam klasifikasi tingkat bahaya intermediate. Menurut Nedved, nilai F&EI menunjukkan suatu ukuran dari bahaya potensial pada suatu bagian site jika terjadi kecelakaan. Teknik Dow Index tidak dapat mengetahui hubungan antara segi-segi safety yang ditentukan dengan bahaya yang diidentifikasi, kecuali hanya dalam sifat kualitatif. Oleh karena itu, diperlukan metoda atau alat analisis bahaya yang lain.<sup>8</sup> Sehingga pada penelitian ini dilengkapi dengan perhitungan ALOHA dan Marplot.

Pada area *unloading* BBM di SPBU tidak tersedia fasilitas drainase yang dapat menampung 50% total kapasitas BBM yang ada di mobil tangki dengan kapasitas 24.000 liter. Guna menghindari bahaya aliran BBM yang tumpah dan pengalir ke luar SPBU diharapkan untuk menambah fasilitas drainase khusus tumpahan BBM di area *unloading* SPBU dengan ketentuan sesuai penilaian *Dow's Fire & Explosion Index* yaitu 50% kapasitas terbesar tangki penampung BBM yang dibuat khusus kemudian dapat ditampung di dalam tangki penampungan darurat.

Kebocoran dari proses operasional dipengaruhi oleh banyak parameter diantaranya suhu udara, kelembaban relatif dan kecepatan angin. Sebagian besar kecelakaan disebabkan oleh tidak ada prosedur yang dilaksanakan dengan baik khususnya prosedur tanggap darurat dimana kecelakaan dipengaruhi oleh batas waktu.<sup>9</sup>

Berdasarkan hasil dari simulasi ALOHA yang telah dilakukan superimposisi MARPLOT dimana skenario bahan bakar yang terbakar dan bahan bakar yang tidak terbakar yang dapat menyebabkan terjadinya *pool fire*. Luas tumpahan bahan bakar berhubungan dengan besar kecilnya api yang dihasilkan, hal tersebut dapat dipengaruhi oleh dinding ruang dan penghalang dilantai.<sup>10</sup> Efek kebakaran *pool fire* pada tangki yang berdekatan dapat menimbulkan respon termal terhadap cairan

yang ada ditangki dapat berpotensi menimbulkan eskalasi kebakaran.<sup>11</sup> Skenario saat bahan bakar rilis ke udara walau tidak menimbulkan kebakaran namun dapat menimbulkan efek *toxic* diantaranya SPBU A yang terletak di Jakarta dan SPBU B di kota Bandung, bahwa jarak dari sumber kebocoran pada zona merah dan orange sejauh 10 meter dengan kandungan pentana 33.000 s.d 200.000 ppm dan untuk zona kuning sejauh 27 meter dengan kandungan pentana sebesar 3000 ppm. Untuk SPBU C yang terletak di Bajar Ciamis bahwa jarak dari sumber kebocoran ke zona merah dan orange sejauh 10 meter dengan konsentrasi pentana sebesar 33.000 s.d 200.000 ppm dan untuk zona kuning sejauh 23 meter dengan konsentrasi 3000 ppm.

Berdasarkan hal tersebut dimana uap bensin mengandung zat berbahaya yang dapat menyebabkan peningkatan morbiditas dan mortalitas bagi manusia yang terpapar. Bensin juga dapat menyebabkan mual, muntah, sakit kepala, pusing, mengantuk, *tremor*, hilang kesadaran, iritasi mata dan kulit. Untuk paparan kronis menyebabkan gangguan perkembangan sel darah merah.<sup>12</sup> Pelepasan uap pentana bukan hanya menimbulkan kerugian bagi manusia namun dapat merugikan masyarakat umum, diantaranya masyarakat yang beraktivitas mencari nafkah di area SPBU yang masuk kedalam radius paparan. Keselamatan lingkungan dimana terjadi kontaminasi dan pencemaran terhadap tanah, air permukaan, air tanah, dll. Keselamatan pekerja dan konsumen yang beraktivitas diantaranya operator, pengawas, pengemudi dan asisten pengemudi mobil tangki BBM serta konsumen.<sup>13</sup> Proses pengendalian risiko terhadap terjadinya kebocoran pada proses kegiatan *unloading* BBM Premium perlu dilakukan. Pada hirarki pengendalian risiko terdiri dari eliminasi, substitusi, administrasi, rekayasa engineering, Alat Pelindung Diri.<sup>14</sup>

## Kesimpulan

Faktor risiko kebakaran dan ledakan pada proses kegiatan *unloading* BBM di SPBU yaitu risiko pada proses. Proses

pemasangan rubber hose dan bottom loader yang tidak baik atau tidak sempurna sehingga dapat menyebabkan vapour keluar ke area unloading dan keudara dimana berpotensi terignisi sehingga dapat menyebabkan kebakaran dan ledakan. Pada tingkat risiko kebakaran dan ledakan pada kegiatan operasional *unloading* dimana pada hasil perhitungan *Dow's Fire & Explosion Index* yaitu *intermediate*. Besar radius paparan yaitu 37,36 meter dan luas area paparan sebesar 4.382,7 m<sup>2</sup>. Nilai kerugian sesuai dengan perhitungan *Dow's Fire & Explosion Index*, diperhitungkan dari nilai *Actual Maximum Probable Property Damage*. Dimana untuk 3 (tiga) SPBU tersebut (SPBU A, B dan C), nilai kerugiannya berkisar dari Rp. 99.998.932.174,- sampai dengan Rp. 284.952.427.200,-

## Daftar Pustaka

1. Rochmaningrum F. Perkembangan tambang minyak blok cepu dan pengaruhnya terhadap sosial ekonomi masyarakat desa ledok tahun 1960-2004. *J indones hist.* 2012;1(2):92–9.
2. Kholil PA, Budihardjo MA, Muhammad F, Karno K. Penilaian daur hidup proses distribusi bbm di pt pertamina (persero) fuel terminal parepare. *J ilmu lingkungan.* 2022;20(3):685–95.
3. Kweku Taylor T, Sichinsambwe C, Chansa B. Public perceptions on location of filling stations in the city of kitwe in zambia. *Dev ctry stud vol 6* [internet]. 2016;6(6):133–51. Available from: [www.iiste.org](http://www.iiste.org)
4. Ma G, Huang Y. Safety assessment of explosions during gas stations refilling process. *J loss prev process ind* [internet]. 2019;60:133–44. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2019.04.012>
5. Ilmansyah Y, Mahbubah NA, Widyaningrum D. Penerapan job safety analysis sebagai upaya pencegahan kecelakaan kerja dan perbaikan keselamatan kerja di pt shell indonesia. *Profisiensi.* 2020;8(1).
6. Patraniaga. Kebakaran mobil tangki b 9069 tfu di spbu. 2017.
7. Affuwani N, Amiruddin J, Yoga NG. Analysis of risk and loss of fire and explosion on the pertamax tank at public fuel filling station (spbu) x using dow's fire and explosion index method. 2021;4:13–22.
8. Lestari F, Nurdiansyah W. Potensi bahaya kebakaran dan ledakan pada tangki timbun bahan bakar minyak (bbm) jenis premium di depot x tahun 2007. *Makara technol ser.*

- 2010;11(2):59–64.
9. Tseng Jm, Su TS, Kuo CY. Consequence evaluation of toxic chemical releases by aloha. *Procedia eng.* 2012;45:384–9.
  10. Hurley Mj, Gottuk D, Hall JR, Harada K, Kuligowski E, Puchovsky M, et al. Handbook of fire protection engineering, fifth edition. *Sfpe handbook of fire protection engineering, fifth edition.* 2016. 1–3493 p.
  11. Pantousa D. Numerical study on thermal buckling of empty thin-walled steel tanks under multiple pool-fire scenarios. *Thin-walled struct* [internet]. 2018;131(july):577–94. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2018.07.025>
  12. Nurhalimah DS, Rahimah SB, Setiapiagung D. Scoping review: pengaruh paparan bensin terhadap kadar alt dan ast pada pekerja spbu. *J integr kesehat sains.* 2021;3(1):72–9.
  13. Wijayanto S. Analisis konsekuensi kebakaran dan ledakan pada aktivitas pengangkutan bahan bakar minyak dengan menggunakan truk tangki. Universitas indonesia; 2014.
  14. Ramadhan F. Analisis kesehatan dan keselamatan kerja (K3) menggunakan metode hazard identification risk assessment and risk control (HIRARC). *Semin nas ris terap.* 2017;(november):164–9.