



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS KONSEKUENSI DISPERSI GAS, KEBAKARAN,
DAN LEDAKAN AKIBAT KEBOCORAN TABUNG PROPANA,
BUTANA, PENTANA, HEKSANA 6 KG DI KALIANYAR
TAHUN 2012 DENGAN PIRANTI LUNAK BREEZE**

SKRIPSI

AFRI DIAN SARI

0806335486

**FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA**

JUNI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS KONSEKUENSI DISPERSI GAS, KEBAKARAN,
DAN LEDAKAN AKIBAT KEBOCORAN TABUNG PROPANA,
BUTANA, PENTANA, HEKSANA 6 KG DI KALIANYAR
TAHUN 2012 DENGAN PIRANTI LUNAK BREEZE**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana

AFRI DIAN SARI

0806335486

**FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA**

JUNI 2012

HALAMAN PERNYATAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Afri Dian Sari

NPM : 0806353436

Tanda Tangan : 

Tanggal : 29 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Afri Dian Sari
NPM : 0806335486
Program Studi : Kesehatan Masyarakat
Judul Skripsi : Analisis Konsekuensi Dispersi Gas, Kebakaran,
Dan Ledakan Akibat Kebocoran Tabung Propana,
Butana, Pentana, Heksana 6 Kg Di Kalianyar Tahun
2012 Dengan Piranti Lunak Breeze

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Kesehatan Masyarakat pada Program Studi Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : dra. Fatma Lestari M.Si., Ph.D


(.....)

Penguji : DR. dr. Zulkifli Djunaedi, M.App.Sc.


(.....)

Penguji : Dr. Alfajri Ismail, M. Si


(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 29 Juni 2012

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Afri Dian Sari

Tempat Tanggal Lahir : Tangerang, 07 Maret 1990

Jenis Kelamin : Perempuan

Agama : Islam

Alamat : Pondok Lestari Blok B8/12 Ciledug Tangerang
15157

Nomor HP : 085214066719

Email : afridiansari@yahoo.com;

Pendidikan Formal :

No.	Tahun	Pendidikan
1.	1994-1996	TK Budi Mulia, Ciledug
2.	1996-2002	SD Budi Mulia, Ciledug
3.	2002-2005	SMP Negeri 11, Jakarta
4.	2005-2008	SMA Negeri 70, Jakarta
5.	2008-2012	Universitas Indonesia, Program Sarjana Kesehatan Masyarakat, Program Studi Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Depok

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi tepat pada waktunya. Shalawat serta salam penulis sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabat.

Skripsi ini berjudul “*Analisis Konsekuensi Dispersi Gas, Kebakaran, dan Ledakan Akibat Kebocoran Tabung Propana, Butana, Pentana, dan Heksana 6 kg di Kalianyar Tahun 2012 dengan Menggunakan Piranti Lunak BREEZE*”. Skripsi ini disusun untuk memberikan informasi dan pengetahuan kepada para pembaca mengenai bidang ilmu tanggap darurat. Selain itu, skripsi ini juga dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program Sarjana Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa dalam skripsi ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun diperlukan oleh penulis untuk menyempurnakan skripsi ini. Banyak pihak sudah membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Fatma Lestari selaku pembimbing skripsi, pembimbing magang, dan pembimbing akademik penulis selama melaksanakan perkuliahan di FKM. Terima kasih atas seluruh saran, kritik, arahan, dan masukan yang telah diberikan tanpa pamrih.
2. Dr. dr. Zulkifli Djunaidi, M.AppSc dan Dr. Alfajri Ismail, M.Si yang bersedia meluangkan waktu untuk menjadi penguji skripsi saya
3. Keluarga yang telah memberikan dukungan materil dan moril. Kedua orang tua dan adik tersayang yang selalu berada di samping penulis dan memberikan semangat untuk dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Penulis mempersembahkan skripsi ini untuk kedua orang tua yang telah merawat dan membimbing hingga detik ini.
4. ABNORMALS Crew (Gepe, Ririn, Agil, Monic, Rido, Roiyan, Arif,

Habib, Udi, Nisa, Listy, Kezia). Terima kasih sudah menjadi sahabat yang super dan mengisi hari-hari penulis selama masa perkuliahan dengan canda dan tawa. Terima kasih atas dukungannya selama penulisan skripsi ini

5. Special thanks untuk Gepe, teman se-PA, senasib, sepenanggunang mulai dari masa-masa awal kuliah, magang, sampai penulisan skripsi ini. You are rock.
6. Kak Ike yang sudah menjadi tempat bertanya dan berkeluh kesah penulis. Terima kasih atas masukan, bantuan, dan handbook-handbook yang sangat membantu dalam penyusunan skripsi ini
7. Teman-teman K3 yang tidak bisa disebutkan satu per satu. Terima kasih buat hari-hari perkuliahan yang membahagiakan
8. Teman-teman angkatan FKMUI 2008 yang satu perjuangan untuk menyelesaikan kuliah dan skripsi di tahun ini. Sampai bertemu di Balirung September 2012
9. Seluruh pihak yang telah membantu penulis selama masa kuliah hingga penyusunan skripsi ini.

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Afri Dian Sari
NPM : 0806335486
Program Studi : S1 - Reguler
Departemen : Keselamatan dan Kesehatan Kerja
Fakultas : Kesehatan Masyarakat
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**“Analisis Konsekuensi Dispersi Gas, Kebakaran, dan Ledakan Akibat
Kebocoran Tabung Propana, Butana, Pentana, dan Heksana 6 kg di
Kaliyantar Tahun 2012 dengan Piranti Lunak BREEZE”**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 29 Juni 2012

Yang menyatakan



(Afri Dian Sari)

vi

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini, saya:

Nama : Afri Dian Sari

Nomor Pokok Mahasiswa : 0806335486

Mahasiswa Program : Sarjana Kesehatan Masyarakat

Tahun Akademik : 2008

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan skripsi saya yang berjudul :

Analisis Konsekuensi Dispersi Gas, Kebakaran, dan Ledakan Akibat Kebocoran Tabung Propana, Butana, Pentana, dan Heksana 6 kg di Kalianyar Tahun 2012 dengan Menggunakan Piranti Lunak BREEZE

Apabila suatu saat nanti terbukti saya melakukan plagiat maka saya akan menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 29 Juni 2012



(Afri Dian Sari)

ABSTRAK

Nama : Afri Dian Sari

Peminatan : Keselamatan dan Kesehatan Kerja

Judul : “Analisis Konsekuensi Dispersi Gas, Kebakaran, dan Ledakan Akibat Kebocoran Tabung Propana, Butana, Pentana, Heksana 6 kg di Kalianyar tahun 2012 dengan Piranti Lunak BREEZE”

Produk baru sedang dikembangkan Pemerintah untuk memenuhi kebutuhan energi dalam negeri. Sumber energi ini memiliki komposisi utama propana, butana, pentana, dan heksana dengan ukuran tabung 6 kg. Penelitian ini membahas mengenai analisis konsekuensi dispersi gas, kebakaran, dan ledakan jika terjadi kebocoran pada tabung. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan data sekunder yang menggunakan Piranti Lunak BREEZE *Incident Analyst*. Hasil penelitian menyarankan agar pihak yang bertanggung jawab dalam pembuatan dan penanganan tabung harus memperhatikan aspek K3 untuk menghindari kebocoran pada tabung. Selain itu, masyarakat sebagai pengguna perlu diinformasikan mengenai bahaya, efek, dan penanganan dalam penggunaan sumber energi ini.

Kata Kunci: Analisis konsekuensi, Dispersi gas, Kebakaran, Ledakan, BREEZE

ABSTRACT

Nama : Afri Dian Sari
Peminatan : Keselamatan dan Kesehatan Kerja
Judul : “Consequence Analysis Gas Dispersion, Fire, and Explosion 6 kg Tank Leaking of Propane, Butane, Pentane, Hexane at Kalianyar 2012 with BREEZE Software”

A new product is being developed by government to provide energy in the country. This energy source has a main composition of propane, butane, pentane, and hexane with the size of tank is 6 kg. This study discuss about consequence analysis gas dispersion, fire, and explosion if there is a leaking in the tank. This study uses a quantitative approach with secondary data and using BREEZE Incident Analyst Software. This study suggest that the party which handled and made the tank to pay attention at safety and health aspect. So that, the leaking of the tank can be avoided. In addition, the people as users have to be informed about danger, effect, and how to handled this product.

Keywords: Consequence Analysis, Gas Dispersion, Fire, Explosion, BREEZE

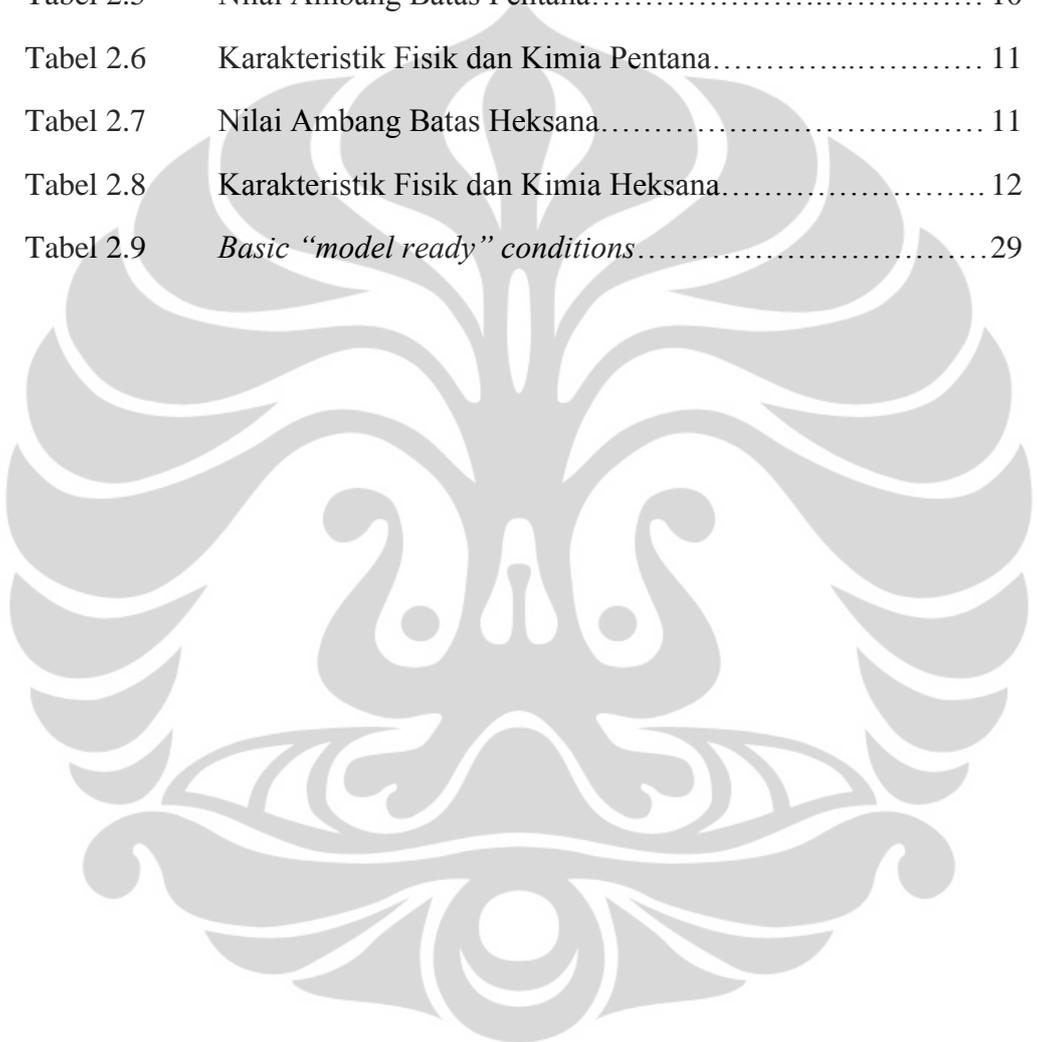
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
RIWAYAT HIDUP.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH.....	vii
LEMBAR PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT.....	viii
ABSTRAK.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Pertanyaan Penelitian.....	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
1.6 Ruang Lingkup.....	6
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 GPC (<i>Gasified Petroleum Condensate</i>).....	8
2.1.1 Propana.....	9
2.1.2 Butana.....	9
2.1.3 Pentana.....	10
2.1.4 Heksana.....	11
2.2 Tabung SNI.....	12
2.3 Pelepasan Hidrokarbon (<i>Hydrocarbon Release</i>).....	13
2.3.1 Pelepasan Gas.....	14
2.3.2 Pelepasan Cairan.....	16
2.4 Dispersi Gas.....	17
2.4.1 <i>Buoyant (Light)</i>	17
2.4.2 <i>Neutrally Buoyant</i>	17
2.4.3 <i>Dense (Heavy)</i>	17
2.5 Kebakaran.....	18
2.5.1 Definisi Kebakaran.....	18

2.5.2	Tipe Kebakaran Hidrokarbon.....	20
2.5.3	BLEVEs.....	23
2.6	Ledakan Gas.....	25
2.7	Ledakan Awan Uap (<i>Vapor Cloud Explosion</i>)	26
2.8	BREEZE <i>Incident Analyst</i>	28
2.9	Piranti Lunak Pemodelan.....	37
2.9.1	ALOHA.....	37
2.9.2	FLACS.....	37
2.9.3	OSIRIS.....	38
2.10	Perbandingan BREEZE <i>Incident Analyst</i> dan ALOHA.....	39
3.	KERANGKA TEORI, KERANGKA KONSEP, DAN DEFINISI OPERASIONAL	
3.1	Kerangka Teori.....	41
3.2	Kerangka Konsep.....	43
3.3	Definisi Operasional.....	44
4.	METODE PENELITIAN.....	46
4.1	Desain Penelitian.....	46
4.2	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	46
4.3	Unit Analisis.....	46
4.4	Pengumpulan dan Manajemen Data.....	46
4.5	Analisis Data.....	47
4.6	Asumsi yang Digunakan.....	47
4.7	Keterbatasan Penelitian.....	48
5.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	49
5.1	Karakteristik Penggunaan Tabung Bahan Bakar.....	51
5.2	Simulasi Skenario Propana.....	53
5.3	Simulasi Skenario Butana.....	58
5.4	Simulasi Skenario Pentana.....	64
5.5	Simulasi Skenario Heksana.....	70
6.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	77
6.1	Kesimpulan.....	77
6.2	Saran.....	78
	DAFTAR PUSTAKA.....	81
	LAMPIRAN.....	85

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Nilai Ambang Batas Propana.....	9
Tabel 2.2	Karakteristik Fisik dan Kimia Propana.....	9
Tabel 2.3	Nilai Ambang Batas Butana.....	10
Tabel 2.4	Karakteristik Fisik dan Kimia Butana.....	10
Tabel 2.5	Nilai Ambang Batas Pentana.....	10
Tabel 2.6	Karakteristik Fisik dan Kimia Pentana.....	11
Tabel 2.7	Nilai Ambang Batas Heksana.....	11
Tabel 2.8	Karakteristik Fisik dan Kimia Heksana.....	12
Tabel 2.9	<i>Basic “model ready” conditions</i>	29



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pohon Kejadian Pelepasan Gas dan/atau Cairan.....	13
Gambar 2.2	<i>Fire Triangle</i>	19
Gambar 2.3	<i>Fire Tetrahedron</i>	20
Gambar 2.4	<i>Jet Fire</i>	21
Gambar 2.5	<i>Pool Fire</i>	22
Gambar 2.6	<i>Fire Ball</i>	23
Gambar 2.7	<i>Confined Explosion Within a Tank</i>	25
Gambar 2.8	<i>Gas Explosion in a Partly Confined Area with Process Equipment</i>	26
Gambar 2.9	Tampilan Awal BREEZE Incident Analyst.....	29
Gambar 5.1	Peletakkan Tabung di Ruangan.....	52
Gambar 5.2	Kondisi Ruangan dengan Sirkulasi Udara Buruk.....	52
Gambar 5.3	Kerapatan Rumah di Kalianyar.....	53
Gambar 5.4	Grafik Dispersi Toksik Propana.....	54
Gambar 5.5	Hasil Simulasi Kebakaran (<i>Thermal Radiation</i>) Tabung Propana 6 kg dalam Format Peta.....	56
Gambar 5.6	Hasil Simulasi <i>Free Air Explosion Overpressure</i> Tabung Propana 6 kg dalam Format Peta.....	57
Gambar 5.7	Hasil Simulasi <i>Surface Explosion Overpressure</i> Tabung Propana 6 kg dalam Format Peta.....	57
Gambar 5.8	Grafik Dispersi Toksik Butana.....	60
Gambar 5.9	Hasil Simulasi Kebakaran (<i>Thermal Radiation</i>) Tabung Butana 6 kg dalam Format Peta.....	62
Gambar 5.10	Hasil Simulasi <i>Free Air Explosion Overpressure</i> Tabung Butana 6 kg dalam Format Peta.....	63
Gambar 5.11	Hasil Simulasi <i>Surface Explosion Overpressure</i>	

	Tabung Butana 6 kg dalam Format Peta.....	63
Gambar 5.12	Grafik Dispersi Toksik Pentana.....	66
Gambar 5.13	Hasil Simulasi Kebakaran (<i>Thermal Radiation</i>)	
	Tabung Pentana 6 kg dalam Format Peta.....	68
Gambar 5.14	Hasil Simulasi <i>Free Air Explosion Overpressure</i>	
	Tabung Pentana 6 kg dalam Format Peta.....	69
Gambar 5.15	Hasil Simulasi <i>Surface Explosion Overpressure</i>	
	Tabung Pentana 6 kg dalam Format Peta.....	69
Gambar 5.16	Grafik Dispersi Toksik Heksana.....	72
Gambar 5.17	Hasil Simulasi Kebakaran (<i>Thermal Radiation</i>)	
	Tabung Heksana 6 kg dalam Format Peta.....	73
Gambar 5.18	Hasil Simulasi <i>Free Air Explosion Overpressure</i>	
	Tabung Heksana 6 kg dalam Format Peta.....	74
Gambar 5.19	Hasil Simulasi <i>Surface Explosion Overpressure</i>	
	Tabung Heksana 6 kg dalam Format Peta.....	75

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : ICSC Propana
- Lampiran 2 : ICSC Butana
- Lampiran 3 : ICSC Pentana
- Lampiran 4 : ICSC Heksana
- Lampiran 5 : MSDS Natural Gas Condensate



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin tingginya kegiatan ekonomi dan penduduk secara global akan berakibat langsung dengan peningkatan kebutuhan energi. Situasi ini juga terjadi di Indonesia. Peningkatan kebutuhan energi terus meningkat dari tahun ke tahun, baik energi yang dapat diperbaharui maupun tidak. Salah satu sumber energi yang populer di Indonesia ialah energi yang berasal dari minyak dan gas bumi, yang termasuk ke dalam golongan sumber daya tidak dapat diperbaharui. Direktur Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi Kementerian ESDM yang dikutip dari Detik Finance menyatakan bahwa kebutuhan energi Indonesia sudah lebih dari 1 miliar setara barel minyak. Angka setiap tahun bertambah 7%. Pemakaian ini jauh lebih tinggi dari pertambahan penduduk dan pertumbuhan ekonomi Indonesia (Nurismarsyah, 2011).

Salah satu sumber energi yang sempat menjadi komoditas utama ialah minyak tanah. Minyak tanah digunakan sebagai bahan bakar rumah tangga dan industri kecil menengah. Minyak Tanah, yang biaya produksinya setara dengan Avtur, selama ini dikonsumsi oleh sebagian besar masyarakat berpenghasilan rendah yang terkonsentrasi di perdesaan. Sehingga pemerintah memberikan subsidi harga. Kebijakan yang sudah berlangsung bertahun-tahun ini cukup membebani keuangan negara. Konsumsi minyak tanah di Indonesia mencapai kisaran 12 juta kilo liter per tahun. Besaran subsidi pemerintah mencapai sekitar Rp25 triliun. Angka ini berubah sesuai dengan basis asumsi harga minyak mentah dunia maupun volume. (ESDM, 2010)

Untuk mengatasi masalah tersebut, pemerintah melakukan program konversi minyak tanah ke LPG ukuran 3 kg pada tahun 2007. Sejak diluncurkannya program tersebut, penggunaan LPG terus meningkat di kalangan masyarakat luas terutama dari kalangan rumah tangga dan Usaha Kecil Menengah (UKM). Konsumsi LPG 3 kg diperkirakan akan terus meningkat seiring dengan program konversi tersebut. Pemerintah menargetkan

pengguna gas LPG kemasan 3 kg pada akhir 2012, tahun berakhirnya program konversi tersebut, ialah sebesar 42 juta KK dengan konsumsi 70,89% dibanding penggunaan gas dengan ukuran lain. Angka ini meningkat tajam dibanding pada tahun 2007, yaitu sebesar 12,08 juta KK dengan konsumsi LPG 19,08%. (Departemen ESDM, 2007).

Sejalan dengan adanya konversi minyak tanah ke gas LPG, pemerintah mengimpor pasokan LPG untuk memenuhi pasokan dalam negeri. Pada tahun 2010, kebutuhan LPG dalam negeri diperkirakan mencapai 5-6 juta ton. Dari jumlah itu, baru sekitar 2 juta ton yang bisa dipenuhi dari kilang dalam negeri dan sisanya akan diimpor dari luar negeri (Wahyuni, 2007). Data lain juga menyebutkan bahwa Pertamina akan mengimpor 3,7 juta ton LPG secara bertahap mulai 2010 untuk memenuhi konversi 10 juta kiloliter minyak tanah dengan 5,7 juta ton LPG setiap tahun. Mulai 2012, Pertamina akan mengimpor LPG sebanyak 3,7 juta ton LPG (Kementerian BUMN, 2006)

Meningkatnya konsumsi LPG di dalam negeri merupakan kesuksesan program konversi minyak tanah ke LPG. Kesuksesan ini juga menimbulkan efek negatif, yaitu tingginya kasus kebakaran dan ledakan pada tabung LPG, baik ukuran 3 kg, 2 kg, dan 50 kg. Tabung ukuran 3 kg merupakan ukuran tabung yang dibagikan gratis oleh pemerintah sebagai bagian dari program konversi tersebut. LPG ukuran 3 kg adalah tabung yang paling sering mengalami kebocoran dan menimbulkan dampak negatif. Berdasarkan data Pusat Studi Kebijakan Publik (Puskepi) yang dilansir rakyat merdeka, sejak 2008–Juli 2010 tercatat 189 kasus ledakan tabung LPG 3 kg. Dari 61 kasus ledakan gas elpiji yang terjadi pada 2008, 27 orang menderita luka-luka dan 19 rumah hancur. Pada 2009 dari 50 kasus ledakan, 12 orang meninggal dunia dan 38 orang menderita luka-luka (RM, 2010). Pada tahun 2010 jumlahnya naik drastis menjadi 106 kasus dengan jumlah korban sebanyak 251 orang, dimana korban luka sebanyak 226 orang, dan korban jiwa sebanyak 26 orang (RM, 2011).

Dalam rangka memenuhi permintaan bahan bakar yang tinggi di dalam negeri sekaligus untuk mengatasi kekurangan pasokan LPG ke masyarakat karena rendahnya produksi di Indonesia, pemerintah mulai mencari sumber

energi alternatif (bahan bakar) yang berbasis pada sumber daya dalam negeri. Salah satu sumber energi dalam negeri yang belum dimanfaatkan secara maksimal ialah kondensat. Kondensat yang diproduksi oleh sumur minyak merupakan hasil kondensasi dari gas hidrokarbon (berbentuk cair) dan masih memiliki kandungan kondensat yang tidak stabil (*unstable condensate*) sebesar 10% hingga 20%, yang mudah menguap. Proses pemanfaatan ini merupakan nilai tambah yang dikembangkan Pertamina untuk mengurangi kehilangan (*loses*) alamiah dari kondensat. Selain itu, *unstable condensate* juga mengurangi nilai keekonomian proses apabila tercampur dengan kondensat yang dipakai dalam proses pengolahan di kilang. Proses pengambilan *unstable condensate* juga meningkatkan efisiensi operasi kilang (Pertamina, 2005).

Pertamina mulai mengembangkan kondensat sebagai salah satu sumber energi bagi masyarakat dengan nama *Gasified Petroleum Condensat* (GPC). GPC yang dikembangkan Pertamina terdiri dari 60 persen LPG (propana dan butana) dan 40 persen kondensat. Kondensat tersebut juga terdiri dari beberapa zat, dengan komposisi terbesar berupa zat pentana dan heksana. Produk ini masih dikembangkan dan dilakukan uji coba oleh Pertamina. Pada tahun 2005, prototipe GPC sudah diluncurkan dengan ukuran tabung 3 kg. Dalam waktu dekat Pertamina berencana akan meluncurkan GPC dengan ukuran tabung resmi 6 kg untuk menjawab tantangan kebutuhan sumber energi Indonesia.

Untuk menghindari terulangnya kejadian kebakaran dan ledakan yang serupa dengan LPG 3 kg akibat kebocoran pada tabung sehingga menimbulkan kerugian materi maupun non materi, perlu dilakukan analisis konsekuensi pada produk baru yang akan diluncurkan oleh Pertamina yaitu, GPC. *Gasified Petroleum Condensat* (GPC) yang terdiri dari bahan-bahan toksik dan mudah terbakar memiliki risiko tinggi untuk menimbulkan kerugian pada masyarakat apabila terjadi kebocoran pada tabungnya. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian dalam bentuk simulasi kejadian dispersi, kebakaran, dan ledakan GPC (gas propana, butana, pentana, dan heksana) untuk mengetahui sejauh mana jangkauan wilayah dampak (*threat zone*)

apabila terjadi kebocoran gas pada tabung. Dengan demikian, konsekuensi dari kejadian tersebut dapat diminimalisasi di kemudian hari dengan melakukan upaya pencegahan dan pengendalian.

Simulasi akan dilakukan dengan daerah percontohan pada Kalianyar Kecamatan Tambora Jakarta Barat. Kelurahan Kalianyar, Tambora, Jakarta Barat, tercatat sebagai terpadat se-DKI Jakarta. Berdasarkan data registrasi Oktober 2010 dari Dinas Kependudukan dan Catatan Sipil (Dukcapil) DKI, Kelurahan Kalianyar yang berpenduduk 24.651 jiwa memiliki kepadatan 77.034,38 jiwa per km persegi. Sementara untuk kecamatan, Kecamatan Tambora merupakan yang terpadat dengan total penduduk 213.677 jiwa dan tingkat kepadatan 39.496,67 jiwa per km persegi (Maharani, 2011).

1.2 Rumusan Masalah

Peningkatan jumlah pemakaian LPG yang berbanding terbalik dengan produksi di dalam negeri, mendorong pemerintah menciptakan energi alternatif baru yang dinamakan *Gasified Petroleum Condensat* (GPC). Sama halnya dengan LPG, GPC terdiri dari bahan-bahan toksik dan mudah terbakar sehingga memiliki risiko tinggi untuk menimbulkan kerugian materi dan non materi pada masyarakat apabila terjadi kebocoran pada tabungnya.

Kalianyar, Tambora merupakan wilayah terpadat di DKI Jakarta. Apabila terjadi kasus kebakaran dan ledakan pada wilayah ini, efek yang timbul juga semakin besar.

Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian berupa simulasi dispersi gas, kebakaran, serta ledakan GPC (propana, butana, pentana, dan heksana) untuk mengetahui jangkauan wilayah dampak (*threat zone*) yang ditimbulkan akibat kebocoran tabung GPC 6 kg di Kalianyar. Dengan demikian, konsekuensi dari peristiwa tersebut dapat diminimalisasi di kemudian hari dengan melakukan berbagai upaya pencegahan dan pengendalian.

1.3 Pertanyaan Penelitian

1. Berapa jauh wilayah yang terkena dampak dispersi gas, kebakaran, dan ledakan bila terjadi kasus kebocoran tabung propana 6 kg di Kalianyar pada tahun 2012?
2. Berapa jauh wilayah yang terkena dampak dispersi gas, kebakaran, dan ledakan bila terjadi kasus kebocoran tabung butana 6 kg di Kalianyar pada tahun 2012?
3. Berapa jauh wilayah yang terkena dampak dispersi gas, kebakaran, dan ledakan bila terjadi kasus kebocoran tabung pentana 6 kg di Kalianyar pada tahun 2012?
4. Berapa jauh wilayah yang terkena dampak dispersi gas, kebakaran, dan ledakan bila terjadi kasus kebocoran tabung heksana 6 kg di Kalianyar pada tahun 2012?

1.4 Tujuan Penelitian

1.1.1 Tujuan Umum

Mengetahui konsekuensi dispersi gas, kebakaran, serta ledakan apabila terjadi kasus kebocoran tabung propana, butana, pentana, heksana 6 kg di Kalianyar pada tahun 2012

1.1.2 Tujuan Khusus

1. Diketuinya jangkauan wilayah yang terkena dampak dispersi gas, kebakaran, dan ledakan bila terjadi kasus kebocoran tabung propana 6 kg di Kalianyar pada tahun 2012
2. Diketuinya jangkauan wilayah yang terkena dampak dispersi gas, kebakaran, dan ledakan bila terjadi kasus kebocoran tabung butana 6 kg di Kalianyar pada tahun 2012
3. Diketuinya jangkauan wilayah yang terkena dampak dispersi gas, kebakaran, dan ledakan bila terjadi kasus kebocoran tabung pentana 6 kg di Kalianyar pada tahun 2012
4. Diketuinya jangkauan wilayah yang terkena dampak dispersi gas, kebakaran, dan ledakan bila terjadi kasus kebocoran tabung heksana 6 kg di Kalianyar pada tahun 2012

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1 Bagi Penulis

Penelitian ini dapat mengaplikasikan ilmu yang didapat dari perkuliahan dan studi literatur. Selain itu, dapat menganalisis jangkauan wilayah dampak (*threat zone*) dispersi gas, kebakaran, serta ledakan apabila terjadi kasus kebocoran tabung GPC (propana, butana, heksana, dan pentana) 6 kg menggunakan piranti lunak pemodelan BREEZE *Incident Analyst*.

1.5.2 Bagi Pembaca

Pembaca dapat mengetahui jangkauan wilayah dampak (*threat zone*) dispersi gas, kebakaran, serta ledakan apabila terjadi kasus kebocoran tabung GPC (propana, butana, heksana, dan pentana) 6 kg di Kalianyar. Penelitian ini dapat dijadikan tolak ukur atau gambaran apabila terjadi kasus yang serupa di wilayah lain dengan karakteristik wilayah dan kondisi atmosfer yang sama.

1.5.3 Bagi Pemerintah/Instansi Terkait

Penelitian ini dapat digunakan sebagai sumber rujukan mengenai kemungkinan terjadinya kebocoran tabung GPC (propana, butana, pentana, heksana). Dengan demikian, pemerintah/instansi terkait dapat lebih berhati-hati dalam pengadaan dan penanganan produk GPC.

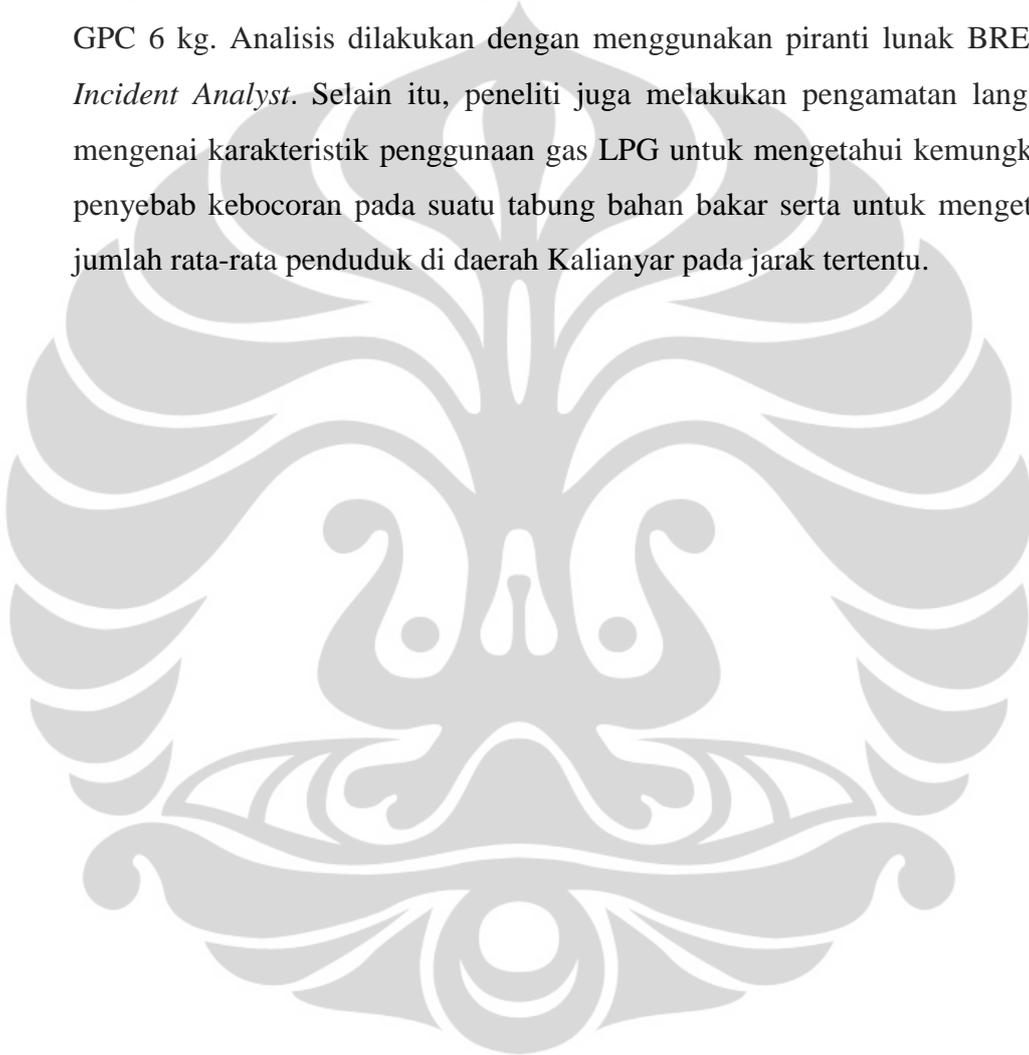
1.5.4 Bagi Departemen K3 FKM UI

Penelitian ini dapat menambah jenis ilmu pengetahuan dan informasi, terutama yang berhubungan dengan dispersi gas, kebakaran, dan ledakan. Selain itu, melalui penelitian ini, piranti lunak pemodelan BREEZE *Incident Analyst* yang dimiliki oleh Departemen K3 FKM UI dapat dimanfaatkan secara maksimal.

1.6 Ruang Lingkup

Penelitian ini merupakan simulasi kejadian dispersi gas, kebakaran, serta ledakan apabila terjadi kasus kebocoran tabung GPC 6 kg di Kalianyar pada tahun 2012. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April-Mei tahun

2012. Penelitian dilakukan karena GPC merupakan produk baru yang serupa dengan LPG, terdiri dari bahan-bahan toksik dan mudah terbakar (propana, butana, pentana, heksana) sehingga memiliki risiko tinggi untuk menimbulkan kerugian materi dan non materi pada masyarakat apabila terjadi kebocoran pada tabungnya. Sehingga, simulasi kejadian dispersi gas, kebakaran, dan ledakan perlu dilakukan untuk mengetahui jangkauan wilayah yang terkena dampak (*threat zone*) dispersi gas, kebakaran, dan ledakan akibat kebocoran GPC 6 kg. Analisis dilakukan dengan menggunakan piranti lunak BREEZE *Incident Analyst*. Selain itu, peneliti juga melakukan pengamatan langsung mengenai karakteristik penggunaan gas LPG untuk mengetahui kemungkinan penyebab kebocoran pada suatu tabung bahan bakar serta untuk mengetahui jumlah rata-rata penduduk di daerah Kalianyar pada jarak tertentu.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 GPC (*Gasified Petroleum Condensate*)

Gasified Petroleum Condensate atau yang dapat disingkat GPC, merupakan produk hasil inovasi Pertamina. Produk ini dikembangkan oleh Penelitian dan Laboratorium Pengolahan PT Pertamina (Persero) bekerjasama dengan Daerah Operasi Hulu Sumatera Bagian Selatan (DOH SBS) sejak tahun 2003. GPC merupakan bahan bakar yang terdiri dari aerosol dari *natural gas condensate/petroleum condensate* sebagai cairan dan LPG sebagai bahan *propellant*/pembakar. Kondensat yang diproduksi oleh sumur minyak merupakan hasil kondensasi dari gas hidrokarbon (berbentuk cair) dan masih memiliki kandungan kondensat yang tidak stabil (*unstable condensate*) sebesar 10% hingga 20%, yang mudah menguap. Proses pemanfaatan ini merupakan nilai tambah yang dikembangkan Pertamina untuk mengurangi kehilangan (*loses*) alamiah dari kondensat. Selain itu, *unstable condensate* juga mengurangi nilai keekonomian proses apabila tercampur dengan kondensat yang dipakai dalam proses pengolahan di kilang. Proses pengambilan *unstable condensate* juga dapat meningkatkan efisiensi operasi kilang. (Pertamina, 2005)

Gasified Petroleum Condensate (GPC) memiliki nilai bakar hingga 12.000 kalori/gram atau lebih tinggi dibanding minyak tanah yang memiliki nilai bakar 9.900 kalori/gram. Oleh karena itu, bahan bakar ini jauh lebih ekonomis dibanding minyak tanah serta bersih dan ramah lingkungan karena tidak meninggalkan sisa pembakaran atau jelaga, tidak mengeluarkan asap hitam, dan proses pembakaran lebih cepat dengan hanya sedikit modifikasi pada kompor. GPC dapat digunakan sebagai bahan bakar rumah tangga, pedagang makanan, dan untuk bahan bakar (*burner*) di industri. (Pertamina, 2005)

Pada tahun 2006, Pertamina sudah melakukan ujicoba dan pengenalan kepada masyarakat di lingkungan perusahaan perminyakan tersebut, di daerah Palembang. Hasil dari ujicoba tersebut didapatkan bahwa penggunaan energi

GPC lebih efisien dan cukup aman serta lebih gampang dibanding dengan memakai bahan bakar minyak tanah. (Ant, 2006)

2.1.1 Propana

Zat ini memiliki rumus kimia $C_3H_8/CH_3CH_2CH_3$ dengan berat molekul 44,1. Propana sangat mudah terbakar serta dalam bentuk gas atau bercampur dengan udara mudah meledak. Propana merupakan zat kimia tidak berbau, selain itu merupakan gas yang dicairkan, bertekanan, dan tidak berwarna. Gas ini lebih berat dibanding udara. Zat ini dapat diabsorpsi tubuh melalui inhalasi.

Tabel 2.1 Nilai Ambang Batas Propana

OSHA PEL	TWA 1000 ppm (1800 mg/m ³)
NIOSH REL	TWA 1000 ppm (1800 mg/m ³)
NIOSH IDLH	2100 ppm LEL

Sumber: NIOSH, 2007

Tabel 2.2 Karakteristik Fisik dan Kimia Propana

Boiling point	-42°C
Melting point	-189°C
Solubility in water, ml/100 ml	at 18°C: 6.5
Relatif vapour density (air = 1)	1.6
Flash point	< -104 <i>Flammable Gas</i>
Auto-ignition temperature	450°C
Explosive limits, vol% in air	2.1-9.5

Sumber: NIOSH, 2007

2.1.2 Butana

Zat ini memiliki rumus kimia C_4H_{10} dengan berat molekul 58,1. Butana sangat mudah terbakar serta dalam bentuk gas atau bercampur dengan udara mudah meledak. Serupa dengan propana, butana dalam bentuk gas dicairkan tidak berbau dan berwarna. Gas ini lebih berat dari udara.

Tabel 2.3 Nilai Ambang Batas Butana

TLV	800 ppm; 1900 mg/m³
OSHA PEL	none
NIOSH REL	TWA 800 ppm (1900 mg/m ³)
NIOSH IDLH	No data

Sumber: NIOSH, 2007

Tabel 2.4 Karakteristik Fisik dan Kimia Butana

Boiling point	-1°C
Melting point	-138°C
Solubility in water, ml/100 ml	at 20°C: 3.25
Relatif density (water = 1)	0.6
Flash point	< -104 <i>Flammable Gas</i>
Auto-ignition temperature	287°C
Explosive limits, vol% in air	1.8-8.4

Sumber: NIOSH, 2007

2.1.3 Pentana

Zat dengan nama lain *amyl hydride* ini termasuk ke dalam zat yang sangat mudah terbakar, beracun, serta campuran uap toluen dengan udara juga mudah meledak. Zat ini memiliki berat molekul sebesar 72,2. Pentana merupakan cairan tidak berwarna dengan bau yang khas. Uapnya lebih berat dibanding udara. Rute pajanan dari toluen ialah inhalasi dan ingesti. Efek dari pajanan jangka pendek (akut) dapat menyebabkan aspirasi di dalam paru-paru dengan risiko pneumonitis kimia. Zat ini juga dapat menimbulkan efek pada sistem syaraf pusat. Pajanan jangka panjang pada kulit dapat menimbulkan dermatitis.

Tabel 2.5 Nilai Ambang Batas Pentana

TLV	600 ppm
OSHA PEL	TWA 1000 ppm (2950 mg/m ³)
NIOSH REL	TWA 120 ppm (350 mg/m ³)
NIOSH IDLH	1500

Sumber: NIOSH, 2007

Tabel 2.6 Karakteristik Fisik dan Kimia Pentana

Boiling point	36°C
Melting point	-129°C
Solubility in water, ml/100 ml	None
Relatif density (water = 1)	0.63
Flash point	-49°C
Auto-ignition temperature	309°C
Explosive limits, vol% in air	1.5-7.8

Sumber: NIOSH, 2007

2.1.4 Heksana

Heksana atau *hexyl hydride* merupakan zat yang sangat mudah terbakar. Zat dengan berat molekul 86,2 ini juga dapat menimbulkan ledakan saat berada pada fase uap atau bercampur dengan udara. Heksana merupakan cairan tidak berwarna, mudah menguap, dan memiliki bau khas. Uap heksana lebih berat dari udara. Zat ini dapat menimbulkan efek toksik akut dan kronik jika memajan manusia. Efek akut dari pajanan heksana dapat mengiritasi kulit. Jika tertelan cairan heksana dapat menyebabkan aspirasi pada paru-paru dan berisiko menimbulkan *chemical pneumonitis*. Pemajanan dengan tingkat tinggi dapat menyebabkan ketidaksadaran. Pajanan berulang heksana menimbulkan efek jangka panjang berupa dermatitis pada kulit, merusak sistem saraf pusat dan tepi.

Tabel 2.7 Nilai Ambang Batas Heksana

TLV	50 ppm
OSHA PEL	TWA 500 ppm (2950 mg/m ³)
NIOSH REL	TWA 50 ppm (350 mg/m ³)
NIOSH IDLH	1100

Sumber: NIOSH, 2007

Tabel 2.8 Karakteristik Fisik dan Kimia Heksana

Boiling point	69°C
Melting point	-95°C
Solubility in water, ml/100 ml	0.0013
Relatif density (water = 1)	0.7
Flash point	-22°C
Auto-ignition temperature	225°C
Explosive limits, vol% in air	1.1-7.5

Sumber: NIOSH, 2007

2.2 Tabung SNI

Jenis bahan bakar GPC belum diluncurkan secara resmi oleh Pertamina sehingga jenis dan standar tabung yang digunakan juga belum diketahui secara pasti. GPC merupakan zat yang terdiri dari campuran kondensat dan LPG. Oleh karena itu, berikut akan dijabarkan mengenai SNI dari tabung LPG.

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1452:2011 yang merupakan revisi dari SNI 1452:2007, bahan yang disyaratkan sebagai bahan baku tabung LPG ialah baja. Tabung baja LPG ialah tabung bertekanan yang dibuat dari baja lembaran, pelat, dan gulungan canai panas (Bj TG) untuk tabung LPG dan dilengkapi dengan katup (valve) (SNI 1452:2011).

Berikut adalah konstruksi umum dari tabung LPG.

- Badan tabung merupakan konstruksi dua bagian terdiri dari bagian atas dan bawah (*top and bottom*).
- Katup (*valve*)
Katup yang berfungsi membuka dan menutup secara otomatis atau manual yang dilengkapi dengan karet perapat digunakan pada tabung baja LPG
- Cincin leher (*neck ring*)
Berfungsi sebagai dudukan katup
- Pegangan tangan (*hand guard*)

Berfungsi sebagai pelindung katup (*valve*) dan atau sebagai pegangan pengangkat serta dapat digunakan sebagai tempat penandaan identitas tabung baja LPG

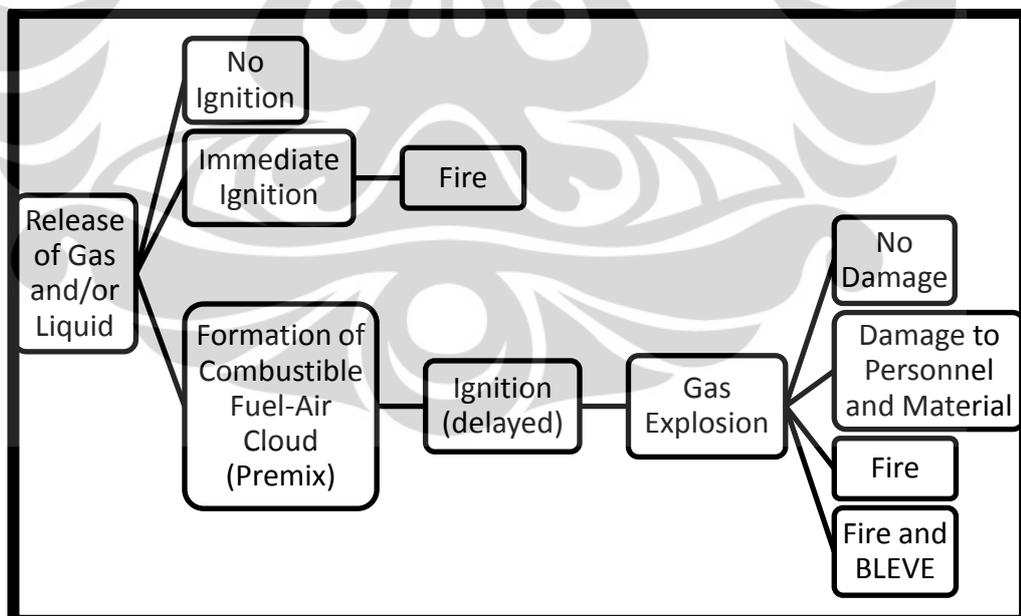
- Cincin kaki (*foot ring*)

Berfungsi sebagai penyangga badan tabung dan dapat digunakan sebagai tempat penandaan identitas tabung baja LPG

2.3 Pelepasan Hidrokarbon (*Hydrocarbon Release*)

Pelepasan hidrokarbon pada industri perminyakan terdiri dari gas, mist atau cairan pada kondisi atmosfer atau bertekanan. Pelepasan gas dan mist dianggap lebih signifikan karena zat tersebut sudah dalam keadaan mudah terignisi. Selain itu, keberadaan awan uap yang jika terignisi akan menghancurkan dengan cepat di alam luas dibandingkan dengan kebakaran cairan yang kemungkinan kecil untuk terignisi, biasanya bersifat lokal dan relatif dapat diatasi. Pelepasan tersebut dapat disebabkan oleh eksternal atau internal korosi, internal erosi, kerusakan metalurgi, kesalahan operator.

Berikut adalah pohon kejadian yang menunjukkan konsekuensi dari pelepasan gas mudah terbakar atau penguapan cairan ke atmosfer:



Gambar 2.1 Pohon Kejadian Pelepasan Gas dan/atau Cairan

Sumber: Sumber: Bjerketvedt, D., Bakke and Wingerden, 1997

Secara umum kebocoran hidrokarbon dikategorikan sebagai:

- *Catastrophic Failure*, wadah atau tangki terbuka seluruhnya dan melepaskan isinya. Jumlah dari pelepasan tergantung dari ukuran kontainer.
- *Long Rupture*, bagian dari pipa dihilangkan menyebabkan dua sumber gas
- *Open Pipe*, ujung dari pipa terbuka seluruhnya mengekspos keseluruhan area dari pipa (ledakan gas pengeboran)
- *Short Rupture*, sebuah sobekan terjadi pada pipa atau selang. Luas penampang dari bukaan akan serupa dengan luas penampang pada pipa atau selang (contoh: *pipe seam split*)
- *Leak*, kebocoran biasanya dikembangkan dari kegagalan katup atau pompa kemasan segel, korosi atau erosi setempat, dan biasanya “kecil” sampai “seukuran lubang pin” (contoh kebocoran korosi atau erosi)
- *Vents, Drains, Sample Ports Failures*, diameter kecil dari pipa dan katup terbuka atau rusak yang melepaskan uap atau cairan ke lingkungan secara tidak terduga
- *Normal Operation Releases*, proses penyimpanan atau ventilasi pembuangan, katup *outlet*, tangki tertutup yang dianggap dalam keadaan normal dan dapat diterima, lepas ke atmosfer (Nolan, 1996)

2.3.1 Pelepasan Gas

Ada beberapa faktor yang menentukan kecepatan pelepasan dan geometri awal dari pelepasan gas hidrokarbon. Hal yang paling signifikan ialah apakah gas tersebut di bawah tekanan atau lepas pada kondisi atmosfer. Tergantung dari sumber pelepasan gas yang keluar dapat berlangsung dari beberapa menit atau hari, sampai suplai terisolasi, habis, atau sepenuhnya tertekan. Sumber umum durasi panjang adalah reservoir bawah tanah atau pipa panjang tanpa kemampuan isolasi menengah. (Nolan, 1996)

Jika pelepasan berada di bawah kondisi atmosfer, gas akan naik atau turun tergantung pada *vapor density* dan akan diarahkan sesuai angin. Jika tidak terdapat angin, *heavier gas* akan terkumpul pada titik terendah. Biasanya pelepasan gas atmosfer terdispersi relatif dekat dengan sumber, sekitar 3 meter (10 ft) (NFPA 30, Table 5-3.5.3 dalam Nolan, 1996). Pelepasan atmosfer ini, jika terignisi akan terbakar relatif dekat dengan sumber, biasanya pada posisi vertikal dengan nyala yang pendek. (Nolan, 1996)

Gas bertekanan akan terlepas sebagai jet dan akan diarahkan tergantung pada sifat kegagalan. Seluruh atau sebagian dari gas jet dapat dibelokkan oleh struktur lingkungan atau peralatan. (Nolan, 1996)

Jika kemampuan isolasi yang cukup tersedia dan berfungsi, pelepasan awal akan ditandai dengan tingginya aliran dan momentum yang menurun sebagaimana isolasi yang diberikan telah menurun atau habis. Dalam beberapa diameter pipa pada titik pelepasan, tekanan dari gas yang lepas menurun. Gas yang lepas biasanya sangat turbulen dan udara akan segera ditarik ke dalam campuran. Campuran dari udara juga akan mengurangi kecepatan dari gas jet. Pelepasan ini biasanya memproduksi gas uap (*vapor cloud*), yang jika tidak diignisi akan terdispersi di atmosfer. Dimana proses dispersi turbulen yang lazim (seperti aliran tekanan tinggi, angin, kongesti, dll), gas akan menyebar diantara dimensi horizontal dan vertikal sementara pencampuran dengan oksigen di udara terus berlanjut. Awalnya, gas lepas dibawah UEL tetapi dengan efek dispersi dan turbulensi mereka dengan cepat masuk ke dalam batas *flammable*. Jika tidak terignisi dan diberi jarak yang cukup, gas tersebut akhirnya akan terdispersi dibawah LEL. (Nolan, 1996)

2.3.2 Pelepasan Cairan

Pelepasan cairan dapat dikelompokkan menjadi *contained*, *allowed to runoff or spread to lower surface*. Jika cairan termasuk golongan yang mudah menguap, disipasi oleh penguapan dapat terjadi ketika tingkat penguapan sama dengan tingkat penyebaran. Cairan tersebut akan segera menyebar dan membentuk sebuah “kolam”. Hal ini bergantung pada viskositas cairan non-volatile. Semakin tinggi viskositas, semakin lama waktu yang diperlukan untuk menyebar. (Nolan, 1996)

Cairan yang berada di bawah tekanan (kebocoran pipa, kegagalan segel pompa), akan terlempar dengan jarak tertentu dari sumber, sementara kebocoran pada kondisi atmosfer akan terpancar pada titik pelepasan. Karakteristik lain dari pelepasan cairan ialah flash point nya. Cairan dengan flash point tinggikan tidak sedang dioperasikan pada suhu di atas flash point nya lebih aman dibandingkan cairan dengan flash point yang lebih rendah. Sebagian besar kebakaran cairan lebih mudah ditangani dibandingkan dengan kebakaran pada gas yang rentan terhadap kemungkinan ledakan jika lepas dari sumber yang tidak terisolasi. (Nolan, 1996)

Pelepasan cairan dapat dikategorikan sebagai berikut:

- *Leaks dan Drips*. Leaks dan drips dikategorikan sebagai pelepasan dengan diameter kecil berfrekuensi tinggi. Tipe ini biasanya disebabkan oleh kegagalan berupa korosi dan erosi dari pipa, peralatan, dan kegagalan perawatan gasket dan katup.
- *Streams*. Pelepasan ukuran medium dengan frekuensi sedang sampai tinggi. Biasanya bukaan pipa dengan diameter kecil yang belum secara memadai ditutup.
- *Sprays dan Mists*. Pelepasan ukuran medium dengan frekuensi sedang yang segera bercampur dengan udara. Biasanya berupa pipa gasket, segel pompa, dan kegagalan katup yang berada di bawah tekanan tinggi.

- *Ruptures*. Pelepasan ukuran besar dengan frekuensi yang sangat rendah. Biasanya terjadi pada bejana, jalur pipa tangki atau kegagalan selang dari sumber internal, eksternal, faktor lain, atau kondisi kebakaran (seperti BLEVE).
(Nolan, 1996)

2.4 Dispersi Gas

Sebuah model dispersi pada dasarnya adalah prosedur komputasi untuk memprediksi konsentrasi yang sesuai dengan arah angin dari sumber, berdasarkan pengetahuan tentang karakteristik emisi, lahan (kekasaran permukaan, topografi lokal, bangunan terdekat), dan kondisi atmosfer (kecepatan angin, stabilitas, dll). Pemodelan harus mampu memprediksi kecepatan difusi berdasarkan perhitungan variabel meteorologi seperti kecepatan angin, turbulensi atmosfer, dan efek termodinamik. (Macdonald, 2003)

Secara umum, gas dikategorikan menjadi tiga berdasarkan kepadatannya:

2. 4.1 *Buoyant (Light)*

Buoyant gas merupakan gas yang lebih ringan daripada udara dan biasanya menyebar ke atas menjauhi sumber pelepasan. *Buoyant gas* jarang menjadi perhatian kecuali pelepasan terjadi dalam kondisi cuaca yang stabil. (Johnson, 1998)

2. 4.2 *Neutrally Buoyant*

Neutrally buoyant gas memiliki kepadatan yang sama dengan udara. Maka dari itu, dispersi dari gas ini sangat besar dipengaruhi oleh kondisi meteorologi selama dan setelah pelepasan. Dalam sebagian besar kondisi cuaca, pelepasan dari *neutrally buoyant gas* beracun atau mudah terbaaar dapat menyebabkan situasi berbahaya pada jarak yang luas di permukaan tanah. (Johnson, 1998)

2. 4.3 *Dense (Heavy)*

Dense gas dapat menimbulkan bahaya yang signifikan hampir di semua kondisi atmosfer dan cuaca. Mulanya, *dense gas* akan menyebar pada jarak radial yang sama di sekitar lokasi pelepasan untuk

membentuk awan ‘pancake’ di permukaan tanah karena efek gravitasi. Awan ini mungkin akan tetap di permukaan tanah dan gas berada pada konsentrasi tinggi untuk jangka waktu yang lama. Oleh karena itu, keberadaan angin yang berlawanan arah tidak selalu menjamin bahwa kontak dengan gas pelepasan akan dihindari. (Johnson, 1998)

2.5 Kebakaran

2.5.1 Definisi Kebakaran

Kebakaran adalah reaksi oksidasi eksotermik yang terjadi pada fase gas, dihasilkan dari campuran gas mudah terbakar dengan udara atau pengertian oksidatif lainnya (Assael dan Kakosimos, 2010). Sedangkan, definisi lain dari kebakaran adalah api yang tidak terkendali artinya di luar kemampuan dan keinginan manusia (Ramli, 2007). Terdapat beberapa teori mengenai kejadian kebakaran, yaitu:

- Teori Segitiga Api (*Fire Triangle*).

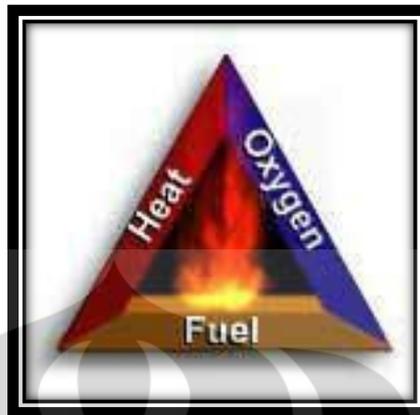
Menurut teori ini, api tidak terjadi begitu saja tetapi merupakan suatu proses kimiawi antara uap bahan bakar dengan oksigen dan bantuan panas. Kebakaran terjadi karena adanya 3 faktor yang menjadi unsur api yaitu bahan bakar, sumber panas, dan oksigen. Berikut adalah penjelasan ketiga unsur di dalam teori *fire triangle*:

- Bahan bakar (*fuel*), yaitu unsur bahan bakar baik padat, cair atau gas yang dapat terbakar dan bercampur dengan oksigen dari udara.
- Sumber panas (*heat*), yang menjadi pemicu kebakaran dengan energi yang cukup untuk menyalakan campuran antara bakar dan oksigen dari udara
- Oksigen, yang terkandung dalam udara. Tanpa adanya udara atau oksigen, maka proses kebakaran tidak dapat terjadi.

(Ramli, 2007).

Ketiga komponen harus ada pada waktu yang sama untuk dapat menimbulkan kebakaran. Api akan terus menyala hingga satu atau lebih dari komponen tersebut dihilangkan dan metode pemadaman

tradisional terlibat dalam menghilangkan bahan bakar, sumber panas, dan oksigen. (NFPA, 2012)

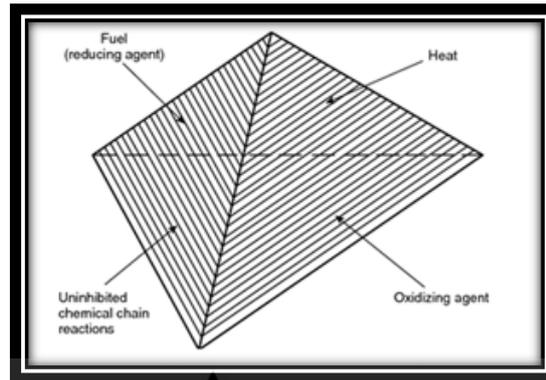


Gambar 2.2 *Fire Triangle*

Sumber: OSHA, 2012

- Teori *Fire Tetrahedron*

Dalam beberapa tahun terakhir, terdapat teori yang menyebutkan bahwa ada unsur keempat yaitu reaksi berantai tak terbatas yang ditambahkan ke dalam penjelasan kebakaran. Reaksi berantai ini merupakan umpan balik dari sumber panas ke bahan bakar untuk menghasilkan bahan bakar gas yang digunakan dalam nyala. Dengan kata lain, reaksi berantai menyediakan panas yang dibutuhkan untuk membuat api tetap menyala. Dengan tambahan komponen keempat ini, kebakaran digambarkan sebagai *Fire Tetrahedron*. Penambahan reaksi berantai membuat penjelasan mengenai mekanisme kejadian kebakaran lebih akurat. (NFPA, 2012)



Gambar 2.3 *Fire Tetrahedron*

Sumber: NFPA, 2012

2. 5.2 Tipe Kebakaran Hidrokarbon

- *Jet Fire*

Kebanyakan dari kebakaran yang melibatkan gas di industri minyak dan gas akan dihubungkan dengan tekanan tinggi dan dinamakan “*jet*” fires. *Jet fire* adalah aliran bertekanan dari *combustible gas* atau *atomized liquid* (seperti pelepasan bertekanan tinggi dari pipa gas atau kejadian ledakan sumur) yang terbakar. Jika pelepasan langsung terignisi setelah kejadian pelepasan (dalam 2-3 menit), akan menghasilkan *jet flame* yang hebat. *Jet fire* ini stabil pada titik yang dekat dengan sumber pelepasan, hingga pelepasan tersebut berhenti. *Jet fire* biasanya bersifat lokal tetapi sangat merusak segala sesuatu di dekatnya. Selain itu *jet fire* juga menimbulkan radiasi panas (*thermal radiation*), *jet fire* menyebabkan pemanasan konveksi di wilayah sekitar penyalaan. Kecepatan tinggi dari pelepasan gas ke udara menjadi *jet gas* menyebabkan pembakaran lebih efisien dibanding *pool fire*. (Nolan, 1996)



Gambar 2.4 *Jet Fire*

Sumber: Assael, Marc J. and Kakosimos, Konstantinos E., 2010

- *Pool Fire*

Pool fire memiliki beberapa karakteristik dari *jet fire* vertikal tetapi konveksi panas yang dihasilkan lebih sedikit. Perpindahan panas pada objek dapat melalui konveksi dan radiasi. Setelah kolam cairan terignisi, gas akan menguap dengan cepat dari kolam karena dipanaskan oleh radiasi dan konveksi dari penyalaan. Mekanisme pemanasan ini menimbulkan umpan balik dimana gas menguap dari permukaan cairan. Permukaan yang terbakar membesar seiring dengan proses pemanasan radiasi dan konveksi yang berkelanjutan ke lingkungan hingga seluruh permukaan cairan terbakar. Konsekuensi dari *pool fire* direpresentasikan secara numerik dengan zona api dengan tingkat radiasi panas yang berbeda-beda. (Nolan, 1996)



Gambar 2.5 *Pool Fire*

Sumber: Sumber: Park, Kyoshik, dkk, 2006

- *Flash Fire*

Jika pelepasan *combustible gas* tidak segera terignisi, awan akan terbentuk. Awan ini akan melayang dan terdispersi oleh angin atau ventilasi alami. Jika gas terignisi pada titik ini, tetapi tidak meledak, ini akan menimbulkan *flash fire*, dimana seluruh awan gas akan terbakar dengan cepat. Hal ini tidak menyebabkan *fatality*, tetapi akan menghancurkan struktur baja. Jika pelepasan gas tidak terisolasi pada waktu ini, *flash fire* akan kembali menjadi *jet fire* pada sumber pelepasan. (Nolan, 1996)

- *Fire Ball*

Fire ball atau bola api dapat terjadi akibat aliran dan ignisi sangat cepat dari gas mudah terbakar bertekanan. Biasanya *fire ball* hasil dari ignisi cepat yang mengikuti kejadian yang disebut BLEVE (*Boling Liquid Expanding Vapor Explosion*), tetapi ini juga dapat muncul selama ignisi dari campuran gas mudah terbakar. *Fire ball* dapat meradiasikan panas dalam jumlah besar yang dapat menyebabkan kehancuran, luka, atau kematian di area

yang lebih luas dibanding radius kebakaran. (Assael and Kakosimos, 2010)

Pengertian lain dari *fire ball* ialah pembakaran awan bahan bakar-udara, yang energinya diemisikan dalam bentuk radiasi panas. Bagian dalam dari awan hampir seluruhnya terdiri dari bahan bakar, sedangkan lapisan luar (yang pertama kali terignisi) terdiri dari campuran bahan mudah terbakar-udara. Kekuatan daya apung dari gas panas meningkat, sehingga pembakaran awan cenderung naik, meluas, dan mengasumsikan bentuk bola. (CCPS, 1994)



Gambar 2.6 *Fireball*

Sumber: Park, Kyoshik, dkk, 2006

2. 5.3 BLEVEs

BLEVE adalah konsekuensi dari kegagalan yang disebabkan faktor eksternal (seperti kebakaran) dari wadah bertekanan yang berisi gas atau cairan yang disimpan pada tekanan lebih tinggi dibanding lingkungan. Penyerapan panas menyebabkan pendidihan dan peningkatan dari tekanan internal, yang berhubungan dengan penurunan ketahanan permukaan logam karena peningkatan temperatur sehingga menghasilkan kerusakan wadah dan ledakan. Pelepasan energi menghasilkan gelombang udara yang sangat cepat,

radiasi panas, dan pecahan dari wadah yang berterbangan. (Assael and Kakosimos, 2010)

Tipe kecelakaan BLEVE timbul dari penurunan tekanan dinding kontainer atau pipa hingga titik yang tidak dapat menahan tekanan tersebut karena desain dan konstruksi dari container. Kegagalan katastropik yang tiba-tiba dari penahan menyebabkan pelepasan hebat dari isi kontainer dan menghasilkan *fireball* dalam ukuran besar. (Nolan, 1996)

Biasanya BLEVE terjadi setelah kontainer logam telah dipanasi diatas 538 °C (1000 °F). logam tersebut tidak dapat menahan tekanan internal sehingga kegagalan terjadi. Cairan yang terkandung di dalam container biasanya bertindak sebagai penyerap panas. Sebagian besar BLEVE terjadi ketika cairan dari kontainer berkurang 1/2 hingga 1/3 bagian. Energi dari penguapan cairan mengakibatkan bagian dari *container* terlempar sejauh 0.8 km (1/2 mil) dari kehancuran dan *fatality* dari kejadian kecelakaan tersebut hingga 244 meter (800 ft). (Nolan, 1996)

BLEVE dapat dibedakan menjadi dua tipe berdasarkan perkembangannya:

- Tahap Pertama BLEVE – Biasanya ditemui ketika terjadi peningkatan tekanan gas tertutup (karena api eksternal) yang cukup untuk membuat keretakan awal dan menghancurkan wadah. Dalam beberapa kasus, ketebalan dinding wadah 4 mm dan kecepatan dari gas keluar adalah sekitar 15 m/s
- Tahap Kedua BLEVE – Pada kasus ini, gas dilepaskan dari celah kecil di dinding wadah. Penurunan tekanan menyebabkan hubungan langsung dan pendidihan terus menerus, pelepasan uap dalam jumlah besar, dan peningkatan tekanan dan ledakan wadah. Hal ini terjadi di dalam wadah dengan kecepatan gas keluar dari retakan sekitar 1 m/s (Assael and Kakosimos, 2010)

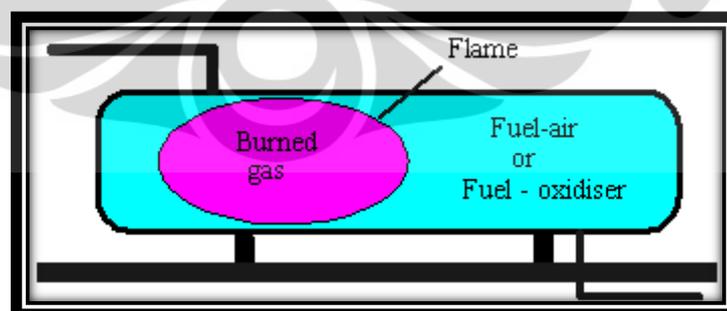
2.6 Ledakan Gas

Ledakan didefinisikan sebagai kejadian yang mengarah pada peningkatan tekanan dengan pesat. Peningkatan tekanan ini bisa disebabkan oleh reaksi nuklir, hilangnya penahan dari wadah bertekanan, peledakan tinggi, pembakaran debu, mist atau gas (termasuk uap) di udara atau pengoksidasi lainnya. Sedangkan ledakan gas ialah sebuah proses dimana pembakaran dari campuran awan gas, misalnya bahan bakar-udara atau bahan bakar-pengoksidasi, menyebabkan kenaikan tekanan dengan cepat. Ledakan gas dapat terjadi di dalam pipa atau peralatan proses, di gedung atau lepas pantai, di area proses terbuka atau di unconfined area.

Konsekuensi dari ledakan gas tergantung dari lingkungan dimana awan gas terbentuk. Ada tiga jenis ledakan menurut Bjerketvedt, Bakke dan Wingerden (1997) dalam *Gas Explosion Handbook*, yang diklasifikasi berdasarkan lingkungan dimana ledakan tersebut terjadi yaitu:

- Ledakan Gas di Ruang Terbatas (*Confined Gas Explosions*)

Ledakan Gas di Ruang Terbatas (*confined gas explosions*) adalah ledakan di dalam tangki, peralatan proses, pipa, saluran air, sistem pembuangan, ruangan tertutup dan di dalam instalasi bawah tanah. *Confined explosions* juga disebut sebagai ledakan internal (*internal explosions*). Ciri-ciri dari tipe ledakan ini adalah proses pembakaran tidak perlu cepat untuk menimbulkan keseriusan.

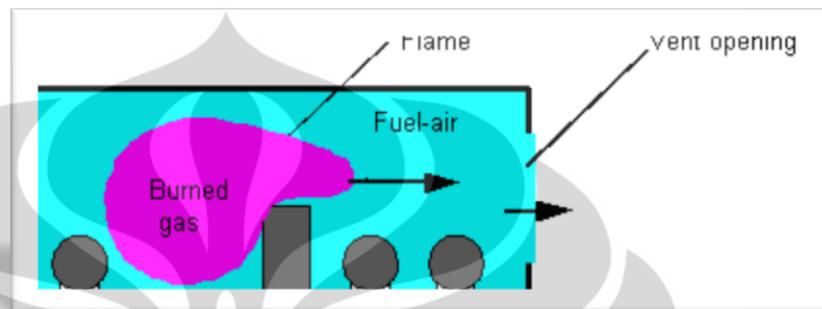


Gambar 2.7 *Confined Explosion Within a Tank*

Sumber: Bjerketvedt, D., Bakke and Wingerden, 1997

- Ledakan Gas di Ruang Setengah Terbatas (*Partly Confined Gas Explosions*)

Ledakan gas di ruang setengah terbatas terjadi ketika bahan bakar lepas secara tidak sengaja di dalam bangunan yang setengah terbuka, misalnya di ruang kompresor atau *offshore*. Bangunan akan membatasi ledakan dan tekanan ledakan hanya dapat dikurangi melalui area ventilasi.



Gambar 2.8 *Gas explosion in a partly confined area with process equipment.*

Sumber: Bjerketvedt, D., Bakke and Wingerden, 1997

- *Unconfined Gas Explosions*

Kata tidak terbatas (*unconfined*) digunakan untuk menggambarkan ledakan yang terjadi di area terbuka seperti *process plants*. Banyak hasil penelitian yang menggambarkan bahwa tipe ledakan ini hanya akan menghasilkan kelebihan tekanan yang kecil ketika terbakar (*flash fire*).

2.7 Ledakan Awan Uap (*Vapor Cloud Explosion*)

Jika awan mudah terbakar (*flammable cloud*) terbentuk selama kebocoran gas mudah terbakar (*flammable gas*) terjadi, penyalaan/ignisi langsung dapat menimbulkan *flash fire*. Tetapi, jika penyalaan/ignisi tertunda (5-10 menit), kemudian ledakan gas uap (*vapor cloud explosion*) dapat terjadi. Variabel yang mempengaruhi perubahan dan intensitas dari ledakan adalah:

- Tipe dan kuantitas dari zat yang mudah terbakar
- Rentang waktu dari terjadinya kebocoran sampai dengan penyalaan
- Konfigurasi ruang dimana kebocoran terjadi
- Posisi dan jumlah dari sumber penyalaan dalam kaitannya dengan tempat kebocoran

Untuk menyimulasikan atau memprediksi efek dari ledakan awan uap, terdapat beberapa tipe yang dapat digunakan, yaitu:

- Model analisis empiris yang biasanya didasari dari kurva tunggal dari kelebihan tekanan sebagai fungsi jarak, dengan parameter seperti:

- o Bagian dari energi yang dilepaskan sebagai *shock wave* (TNT method). Menurut metode ini, kekuatan dari ledakan gas uap setara dengan ledakan massa TNT. Manfaat dari penggunaan metode TNT ialah sederhana untuk digunakan. Hubungan antara massa hidrokarbon dan massa TNT ialah sebagai berikut:

$$W_{\text{TNT}} \approx 10 * (\text{percent yield of TNT}) * W_{\text{HC}}$$

(Bjerketvedt, D., Bakke and Wingerden, 1997)

Berdasarkan pengalaman, faktor *yield (percent yield of TNT)* berada pada rentang 3%-5% (Gugan, 1978 in Bjerketvedt, D., Bakke and Wingerden, 1997).

- o Kekuatan dari ledakan (multi-Energi method)
- o Kecepatan ekspansi penyalan (Baker-Strehlow method)

- Model komputerisasi 3D CFD yang biasanya didasari:

- o Analisis turbulen (CFX, EXSIM, NEWT, REACFLOW, dll) atau
- o Hubungan empiris (FLACS, AutoReaGas, COBRA, dll)

(Assael and Kakosimos, 2010)

VCE dimulai dengan pelepasan cairan/gas mudah terbakar dalam tangki penyimpanan, proses atau pipa yang menguap dalam jumlah besar. Pertama, bahan yang lepas harus merupakan mudah terbakar serta tekanan atau suhu dalam kondisi yang sesuai. Beberapa bahan termasuk gas yang dicairkan serta bertekanan (*liquefied gases under pressure*) seperti propana dan butan, cairan mudah terbakar, dan gas mudah terbakar yang tidak dicairkan. Kedua, awan dengan ukuran yang cukup untuk terignisi (fase dispersi). Ketiga, awan tersebut harus berada di dalam rentang mudah terbakar untuk dapat menyebabkan kelebihan tekanan. Keempat, efek ledakan yang dihasilkan dari VCE dapat bervariasi dan ditentukan oleh kecepatan dari propagasi nyala. Pada banyak kasus, tipe propagasi penyalan dari VCE

adalah deflagrasi. Di bawah kondisi yang tidak biasa, detonasi dapat terjadi. (CCPS, 1994)

2.8 BREEZE *Incident Analyst*

BREEZE merupakan piranti lunak perencanaan tanggap darurat untuk pemodelan efek dari pelepasan zat kimia. Dalam melakukan pemodelan skenario kebocoran gas, terdapat beberapa variabel/data masukan yang akan mempengaruhi hasil akhir dari pemodelan tersebut. Variabel tersebut terdapat pada komponen skenario settings pada *Incident window breeze*.

Berikut adalah variabel-variabel tersebut:

- Tanggal dan waktu
Waktu dari pelepasan bisa menjadi penting untuk banyak skenario. Breeze *Incident Analyst* akan menggunakan informasi ini untuk menentukan tingkat stabilitas ketika observasi meteorologi digunakan, untuk membantu menentukan jumlah dari radiasi matahari yang digunakan untuk perhitungan penguapan, serta untuk memastikan tingkat stabilitas yang dipilih sesuai dengan data meteorologi yang digunakan
- Sistem kordinat
Pada breeze terdapat dua sistem koordinat yang dapat digunakan yaitu relatif dan Universal Tranverse Mecator (UTM). Ketika menggunakan sistem UTM, peta akan menggambarkan zona UTM global. Peta ini membantu pengguna untuk menentukan zona UTM pada skenario.
- Zat kimia
Breeze menyediakan lebih dari 150 daftar zat kimia yang bisa dipilih oleh pengguna berdasarkan nama, ID, atau CAS. Selain itu, pengguna juga bisa melakukan modifikasi zat kimia pada piranti ini. Modifikasi dilakukan dengan menambah *database* zat kimia pada Breeze.
- Meteorologi
Parameter yang harus dimasukkan pada variabel meteorologi ialah shu, tekanan, kelembaban relatif, arah angin, kecepatan angin, tinggi anemometer, tinggi lapisan inverse, tingkat stabilitas, kekasaran

permukaan. Breeze menyediakan kondisi cuaca dasar (model ready) yang bisa diubah sesuai dengan skenario yang ditentukan.

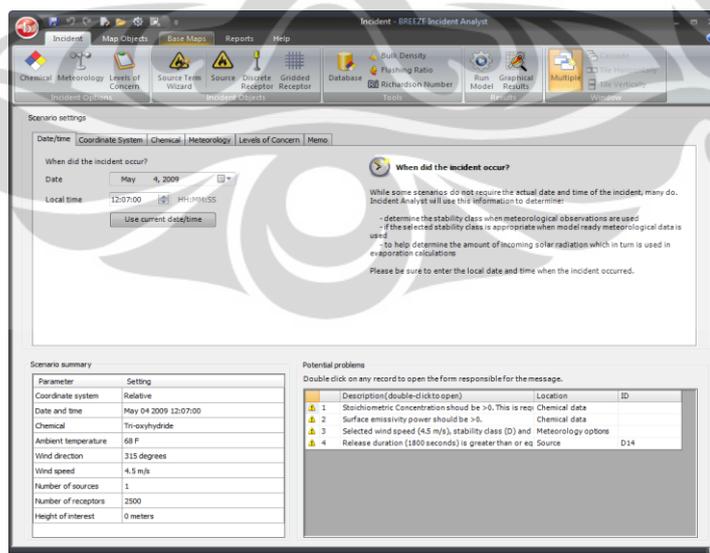
Tabel 2.9 Basic “model ready” conditions

Parameter	Value	Units
Temperature	68	F
Pressure	1	Atm
Relative Humidity	50	%
Wind Direction	315	Degrees
Wind Speed	4.5	m/s
Anemometer Height	10	Meters
Inversion Layer Height	0	Meters
Stability Class	D	
Surface Roughness	0.1	meters

Sumber: Breeze Software

- *Levels of Concern*

Setiap skenario pemodelan dapat menggambarkan hingga tiga *levels of concern* (LOC) untuk setiap bahaya (toksisitas, kelebihan tekanan, radiasi panas). Untuk setiap LOC, Breeze *Incident Analyst* akan mengestimasi zona bahaya dimana konsentrasi zat kimia, kelebihan tekanan, dan/atau radiasi panas diprediksi melebihi LOC pada suatu waktu setelah pelepasan dimulai.



Gambar 2.9 Tampilan Awal Breeze Incident Analyst
Sumber: Trinity Consultants, 2012

Setelah seluruh variabel pada komponen setting sudah terisi, langkah selanjutnya ialah menentukan skenario kebocoran pada komponen source term wizard. Pada penelitian ini, bahan kimia disimpan dalam tangki. Oleh karena itu, variabel sumber yang akan dijelaskan ialah variabel sumber berupa tangki. Variabel yang harus diisi tersebut ialah:

- Jenis sumber (tangki, pipa, tumpukan, penguapan kolam)
- Dimensi tangki (bentuk, tinggi, diameter, dan volume)
- Keadaan zat kimia yang tersimpan yang akan menentukan karakteristik pelepasan akhir (*liquefied gas/pressurized, liquefied gas/refrigerated, liquid at ambient conditions, compressed gas*)
- Kondisi tangki yang akan menentukan kecepatan pelepasan (suhu, tekanan, jumlah zat kimia yang tersimpan ketika pelepasan terjadi)
- Karakteristik pelepasan (orientasi pelepasan berupa vertikal/horizontal, tinggi sumber kebocoran dari tanah, dan teknik mengukur durasi pelepasan zat kimia dari tangki)

Terdapat tiga pemodelan bahaya utama yang dapat dilakukan BREEZE, yaitu:

- ✓ Dispersi Gas Toksik (Dispersi Atmosferik Zat Kimia)

Evaluasi toksisitas udara yang terkontaminasi dengan melakukan pemodelan berupa pergerakan dan dispersi dari awan gas kimia. Bahaya toksik dievaluasi menggunakan standar pemodelan dispersi industri untuk menghitung konsentrasi pada jarak yang sesuai dengan arah angin dari sumber. Breeze mengkategorikan pemodelan dispersi gas toksik menjadi dua, yaitu:

- Model *Neutrally Buoyant*

Kategori ini dapat melakukan pemodelan pada pelepasan gas tumpukan/pipa vertikal, tumpahan cairan, dan penguapan kolam

- AFTOX

AFTOX ialah pemodelan untuk pelepasan gas *neutrally buoyant* dan tumpahan cairan yang menguap menjadi *neutrally buoyant*. Pelepasan gas terbatas pada *neutrally buoyant* (non-

dense, non-buoyant) tanpa kecepatan dan sumber yang berasal dari titik (non-area). Tumpahan cairan terbatas pada pelepasan fase tunggal dari cairan bervolatilitas rendah. Pemodelan AFTOX mengasumsikan bahwa:

- Penggunaan ini terbatas pada pelepasan gas *neutrally buoyant* atau tumpahan cairan yang menguap menjadi gas *neutrally buoyant*
- Pemodelan mengasumsikan atmosfer dalam kondisi datar tanpa ada gangguan. Selain itu, AFTOX terbatas pada kondisi dengan lapisan gas terdispersi lebih besar dibanding kekasaran tanah sekitar

(Trinity Consultants, 2004)

○ INPUFF

INPUFF digunakan untuk simulasi dispersi atmosfer dari *neutrally buoyant*. Skala dari pemodelan ialah dari puluhan meter hingga puluhan kilometer. Angin di dalam INPUFF diasumsikan homogen untuk periode rata-rata keseluruhan. INPUFF dapat digunakan pada pelepasan tiba-tiba dari zat *neutrally buoyant* pada periode waktu yang singkat atau pemodelan tipe *plume* terus menerus dari tumpukan. Ciri-ciri dari pemodelan INPUFF ialah:

Pemodelan INPUFF memiliki beberap asumsi yaitu:

- Penggunaan model ini terbatas pada pelepasan gas *neutrally-buoyant*
- Model mengasumsikan kondisi atmosfer yang datar tanpa gangguan
- Arah angin konstan terhadap tinggi
- Tidak mempertimbangkan reaksi kimia

(Trinity Consultants, 2004)

- Model *Dense Gas*

Serupa dengan model *neutrally buoyant*, model *dense gas* juga dapat melakukan pemodelan pada pelepasan gas tumpukan/pipa vertikal, tumpahan cairan, dan penguapan kolam (Breeze software). Tetapi, kelebihan dari pemodelan ini dapat melakukan pemodelan pada tumpukan/pipa horizontal. (Trinity Consultants, 2004)

Pemodelan *dense gas* dilakukan pada pelepasan zat kimia toksik yang lebih berat daripada udara, campuran fase aerosol dan gas, dan atau suhu pelepasan dibawah suhu lingkungan. Awan dari *dense gas* memiliki kecenderungan untuk jatuh menuju tanah. Meskipun pelepasan berupa jet yang bergerak vertikal, *plume* akan berhenti bergerak ke atas dan turun mengikuti arah angin. Pelepasan *dense gas* biasanya membutuhkan pemodelan kolam cairan sebagai sumber dari awan *dense gas*.

o *DEGADIS*

Dense Gas Dispersion (DEGADIS) dikembangkan oleh U.S. Coast Guard/U.S.EPA untuk pemodelan pelepasan yang lebih berat dibanding udara, pelepasan berasal dari sumber tunggal. DEGADIS berguna untuk proses kimia yang membutuhkan penyimpanan bertekanan yang jika terjadi pelepasan akan menghasilkan emisi dengan kecepatan tinggi.

Secara keseluruhan, jenis pemodelan pelepasan DEGADIS adalah sebagai berikut:

- *Continous Release* (Pelepasan Terus Menerus): Pelepasan stabil dari *dense gas* dengan kecepatan konstan ke atmosfer dalam periode waktu yang lama. Hasil dari pemodelan ini adalah estimasi konsentrasi pada jarak sesuai arah angin yang bervariasi yang ditentukan oleh pemodelan
- *Finite Duration Release* (Pelepasan Durasi Terbatas): Pelepasan stabil dari *dense gas* dengan kecepatan konstan ke atmosfer dalam periode waktu yang singkat. Hasil dari

pemodelan ini disajikan dengan waktu atau jarak tergantung dari parameter yang paling sesuai

- *Transient Release* (Pelepasan Sementara): kecepatan pelepasan bervariasi dari waktu ke waktu. Hasil dari pemodelan ini disajikan dengan waktu atau jarak tergantung dari parameter yang paling sesuai
- *Jet Release* (Pelepasan Jet): Pelepasan vertikal dari *dense* gas atau aerosol dengan menggunakan pemodelan matematika Ooms.
- *Liquid Spill* (Tumpahan Cairan): Cairan diasumsikan membentuk kolam pada tanah, dengan kecepatan penguapan dihitung dengan menggunakan salah satu dari tiga pemodelan penguapan yang tergabung ke dalam DEGADIS. Hasil dari pemodelan penguapan dijalankan sebagai pelepasan terus menerus atau terbatas. Pilihan tumpahan cairan hanya akan tersedia apabila titik didih normal zat kimia lebih tinggi dibanding udara ambient.

(Trinity Consultants, 2004)

Selain itu, pemodelan DEGADIS memiliki asumsi dan keterbatasan:

- Penggunaan pemodelan terbatas pada pelepasan *dense* gas atau tumpahan cairan yang menguap menjadi *dense* gas
- Antara DEGADIS dan pemodelan jet plume mengasumsikan aliran atmosfer datar tanpa ada gangguan, seperti gedung atau pohon.
- Pemodelan jet hanya dapat dilakukan untuk pelepasan vertikal. Jika pelepasan jet tidak tegak lurus dengan tanah, hasil pemodelan tidak akan akurat. SLAB akan lebih cocok untuk pelepasan jet horizontal

(Trinity Consultants, 2004)

○ *SLAB*

SLAB melakukan simulasi pada dispersi atmosferik yang lebih padat dari udara. Sumber dapat dimodelkan sebagai pelepasan *continuous*, *finite duration*, atau *instantaneous*. Pelepasan *continuous* dan *finite duration* cocok untuk diterapkan untuk sumber pada kolam *evaporasi*, horizontal, dan vertikal jet. Sedangkan, pelepasan *instantaneous* digunakan untuk sumber *instantaneous volume*. Tipe dari pelepasan SLAB adalah sebagai berikut.

- *Ground-level Evaporating Pool*

- *Elevated Horizontal Jet*

Horizontal jet adalah sumber tegak lurus ke arah angin dan kecepatan sumber menunjuk langsung ke arah angin.

- *Stack or Elevated Vertikal Jet*

Vertikal jet adalah sumber parallel ke tanah dan kecepatan sumber menunjuk langsung berlawanan arah angin

- *Instantaneous Release*

Pelepasan terus menerus merupakan kombinasi dari dua sumber yaitu sumber volum terus menerus dengan massa total dan durasi singkat, ground-level, sumber area dengan kecepatan sumber dan durasi tumpahan. Pelepasan terus menerus cocok untuk pelepasan kolam penguapan ketika durasi tumpahan sangat singkat dan kestabilan tidak dapat dicapai di dalam awan terdispersi.

- *Liquid Spill*

Tumpahan cairan adalah pelepasan dari kimia yang sedang di tahap cairan. Cairan diasumsikan untuk membentuk kolam di tanah dan kecepatan penguapan dihitung menggunakan pemodelan penguapan.

(Trinity Consultants, 2004)

Sumber diasumsikan hanya menjadi uap atau campuran uap dan droplet cairan, kecuali sumber kolam penguapan. Beberapa asumsi dari pemodelan SLAB adalah:

- Penggunaan SLAB terbatas pada pelepasan *dense* gas atau tumpahan cairan yang menguap menjadi *dense* gas
- Pemodelan SLAB mengasumsikan kondisi atmosfer datar tanpa ada gangguan (bangunan, pohon, dll). Penggunaan SLAM terbatas pada kondisi dimana kedalaman dar lapisan gas terdispersi lebih banyak dibandingkan kekasaran permukaan sekitar

(Trinity Consultants, 2004)

✓ Kebakaran

BREEZE dapat melakukan tiga tipe pemodelan kebakaran, yaitu:

- *Confined Pool Fire*

Tipe ini melakukan pemodelan kebakaran yang terjadi pada cairan yang terignisi di area terbatas seperti tanggul atau tangki. Tanggul dapat berbentuk lingkaran atau segi empat. Pemodelan menghitung jarak radiasi pada tingkat berbeda yang ditentukan pengguna dan memungkinkan untuk perhitungan dari peningkatan suhu dinamis dari target terdekat. (Trinity Consultants, 2012)

- *Unconfined Pool Fire*

Tipe ini melakukan pemodelan kebakaran yang terjadi ketika kolam tak terbatas dari bahan bakar gas yang dicairkan terignisi. Pemodelan menghitung jarak radiasi pada tingkat berbeda yang ditentukan pengguna dan menghitung fluks radiasi sebagai fungsi dari waktu pada jarak tertentu penyebaran kolam. (Trinity Consultants, 2012)

- BLEVEs

Tipe ini melakukan pemodelan kebakaran yang mungkin timbul dari kebocoran atau pecahnya pipa bertekanan dan berisi gas yang dicairkan di bawah tekanan. Pemodelan ini menghitung jarak

radiasi pada tingkat berbeda yang ditentukan pengguna dan dapat menghitung dimensi nyala api jet berkecepatan tinggi dari pipa yang pecah. (Trinity Consultants, 2012)

Untuk pemodelan kebakaran Breeze melakukan perhitungan dan menggambarkan berupa radiasi panas dengan satuan kW/m^2 dan perbandingan suhu dengan grafik waktu untuk kebakaran tumpahan cairan terbatas (*confined liquid pools*). (Trinity Consultants, 2012)

✓ Ledakan (kelebihan tekanan dari ledakan)

Berikut adalah pendekatan dari pemodelan ledakan:

- U.S. Army TNT Equivalency. Model ini didasari dari cara bekerja U.S. Army. Model ini menggunakan hubungan proporsional antara massa mudah terbakar di awan dan berat equivalent dari TNT dan mengasumsikan bahwa keseluruhan massa mudah terbakar dilibatkan di dalam ledakan dan ledakan berpusat pada lokasi tunggal. Model menggunakan satu atau dua kurva ledakan, tergantung dari jenis pemodelan ledakan (ledakan permukaan/free burst atau ledakan udara bebas/free-air burst)
- U.K. HSE TNT Equivalency. Model ini didasari dari cara bekerja U.K. Health and Safety Executive (HSE). Model ini serupa dengan pemodelan U.S. Army TNT Equivalency.
- TNO Multy-Energi. Model ini memperlakukan potensi ledakan awan uap sebagai angka yang setara dengan *charge* bahan bakar. Ledakan awan uap dimodelkan sebagai rangkaian sub-ledakan dengan setiap sub sesuai dengan sumber ledakan potensial dalam awan.
- Baker-Strehlow. Model ini didasari dari cara bekerja Baker dan Strehlow serta mempertimbangkan variabilitas kekuatan ledakan dengan menyatakan ledakan itu sebagai *charge* bahan bakar dengan karakteristik masing-masing.

(Trinity Consultants, 2012)

Breeze melakukan estimasi nilai kelebihan tekanan dari ledakan awan uap dengan membagi zona bahaya menjadi tiga dengan *levels of concern* yang berbeda. (Trinity Consultants, 2012)

2.9 Piranti Lunak Pemodelan

2.8.1 ALOHA

ALOHA (*Areal Locations of Hazardous Atmosphere*) adalah program komputer yang dikembangkan oleh *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) dan *Environmental Protection Agency* (EPA). Program ini didesain khusus untuk digunakan oleh orang-orang yang memberi perhatian khusus pada pelepasan zat kimia, serta untuk rencana tanggap darurat dan pelatihan. ALOHA dapat menggambarkan tiga kategori bahaya yaitu, dispersi gas toksik, kebakaran, dan ledakan. ALOHA menggunakan beberapa model yang berbeda, termasuk model dispersi udara (*air dispersion*) yang berguna untuk mengestimasi pergerakan dan dispersi dari awan gas kimia (*chemical gas clouds*). Dengan model ini, ALOHA mampu mengestimasi dispersi gas toksik, nilai kelebihan tekanan dari ledakan awan uap (*vapor cloud explosion*), atau area mudah terbakar (*flammable*) dari awan uap. ALOHA menggunakan model tambahan untuk mengestimasi bahaya yang berhubungan.

Program pemodelan ini dapat diunduh secara gratis. Selain itu, tahapan dalam menggunakan ALOHA juga termasuk sederhana dan mudah dipahami. Oleh karena itu, ALOHA banyak digunakan untuk mengetahui konsekuensi dari kebocoran suatu gas atau cairan.

2.8.2 FLACS

Flame Acceleration Simulator (FLACS) merupakan alat *computational fluid dynamic* (CFD) untuk melakukan pemodelan ventilasi, dispersi gas, prediksi, dan analisis konsekuensi dari ledakan awan uap (*vapor cloud explosions*) serta ledakan pada proses area kompleks. FLACS digunakan untuk kuantifikasi dan manajemen dari risiko ledakan di industri perminyakan *offshore* dan industri kimia *onshore*. (Hansen, dkk., 2010)

FLACS tidak dapat diunduh secara gratis. Piranti lunak pemodelan ini secara komersial tersedia pada GEXCON.

Perkembangan dari FLACS dimulai pada tahun 1980 dengan bantuan dari tujuh perusahaan besar minyak dan gas. FLACS-86 berkembang seiring dengan aktivitas penelitian yang ada. Perkembangan tersebut terus berlangsung hingga tahun 2000. (Hansen, dkk, 2010)

FLACS terdiri dari beberapa versi yang telah tersedia secara komersial yaitu:

- FLACS full version, untuk analisis dispersi dan ledakan HC dan H₂
- FLACS-DISPERSION, untuk analisis dispersi (toksik, mudah terbakar/*flammable*, LNG, dll)
- FLACS-GASEX, untuk analisis ledakan gas
- FLACS-HYDROGEN, untuk analisis dispersi dan ledakan hydrogen
- FLACS-ENERGY, ledakan ruang transformator sekunder
- DESC, untuk pemodelan ledakan debu
(<http://www.environmental-expert.com/software/flacs-cfd-software-18972/view-comments>)

(Hansen, dkk., 2010)

2. 8.3 OSIRIS

Piranti lunak pemodelan ini dikembangkan oleh LGEI sejak tahun 1995. *Outil de Simulation des Risques* (OSIRIS) merupakan alat simulasi bahaya untuk pelatihan pada petugas pemadam kebakaran atau pabrikan yang berhubungan dengan transportasi bahan berbahaya. Piranti lunak ini memungkinkan seseorang untuk mendapatkan jawaban cepat yang berhubungan dengan daerah yang tersentuh oleh kecelakaan dan menyediakan bantuan pengambilan keputusan terbaik yang sesuai untuk diimplementasikan serta intervensi yang efisien. (Tixier, dkk., 2002)

OSIRIS dapat melakukan tipe simulasi kecelakaan yang berbeda-beda seperti perhitungan aliran kebocoran, perhitungan aliran penguapan, simulasi dispersi gas toksik, simulasi ledakan, dan simulasi

kebakaran. Hasil dari piranti lunak ini berupa nilai numerik, grafik evolusi jarak, dan jarak yang terkena efek dari suatu kejadian kecelakaan. (Tixier, dkk., 2002)

Dalam melakukan pemodelan, piranti lunak ini membutuhkan data-data seperti karakteristik produk (fisik-kimia dan toksikologi), serta kondisi meteorologi. Piranti lunak yang tidak dapat diunduh secara bebas ini memberikan jawaban cepat daerah yang terkena dampak dari suatu kecelakaan dan menyediakan bantuan untuk pengambilan keputusan yang paling sesuai untuk diterapkan serta intervensi yang efisien. (Tixier, dkk., 2002).

2.10 Perbandingan BREEZE *Incident Analyst* dan ALOHA

Secara garis besar BREEZE *Incident Analyst* serupa dengan ALOHA. Dalam melakukan pemodelannya kedua software ini membutuhkan data-data berupa jenis zat kimia, data meteorologi, data penampung zat kimia, serta data scenario kebocoran yang akan dilakukan pemodelan. Kedua software ini mampu melakukan pemodelan yang sama yaitu dispersi gas toksik, kebakaran, dan ledakan. Hal yang membedakan ialah jenis scenario yang dapat dilakukan. ALOHA dapat melakukan pemodelan dengan scenario zat kimia di dalam tangki ikut terbakar atau tidak. Sehingga piranti lunak ini dapat memberikan hasil analisis berupa *toxic, flammable, dan explosion area of vapor cloud*.

Meskipun secara keseluruhan piranti lunak ini memiliki persamaan. Tetapi, BREEZE *Incident Analyst* memiliki beberapa kelebihan dibanding ALOHA. BREEZE *Incident Analyst* dapat melakukan pemodelan dengan ukuran tangki yang kecil. Sedangkan, ALOHA memberikan persyaratan bahwa tinggi minimum tangki penyimpan zat kimia ialah 50 cm. Kelebihan dari BREEZE *Incident Analyst* tersebut mendukung penelitian ini karena tangki penyimpan GPC hanya memiliki tinggi 37,7 cm. Selain itu BREEZE *Incident Analyst* juga dapat melakukan scenario dengan lebih rinci. Dengan begitu, hasil analisis dari pemodelan

yang dilakukan dapat mendekati dengan situasi sebenarnya. Tetapi, tidak seperti ALOHA, BREEZE *Incident Analyst* tidak dapat melakukan pemodelan kebocoran di bagian katup.

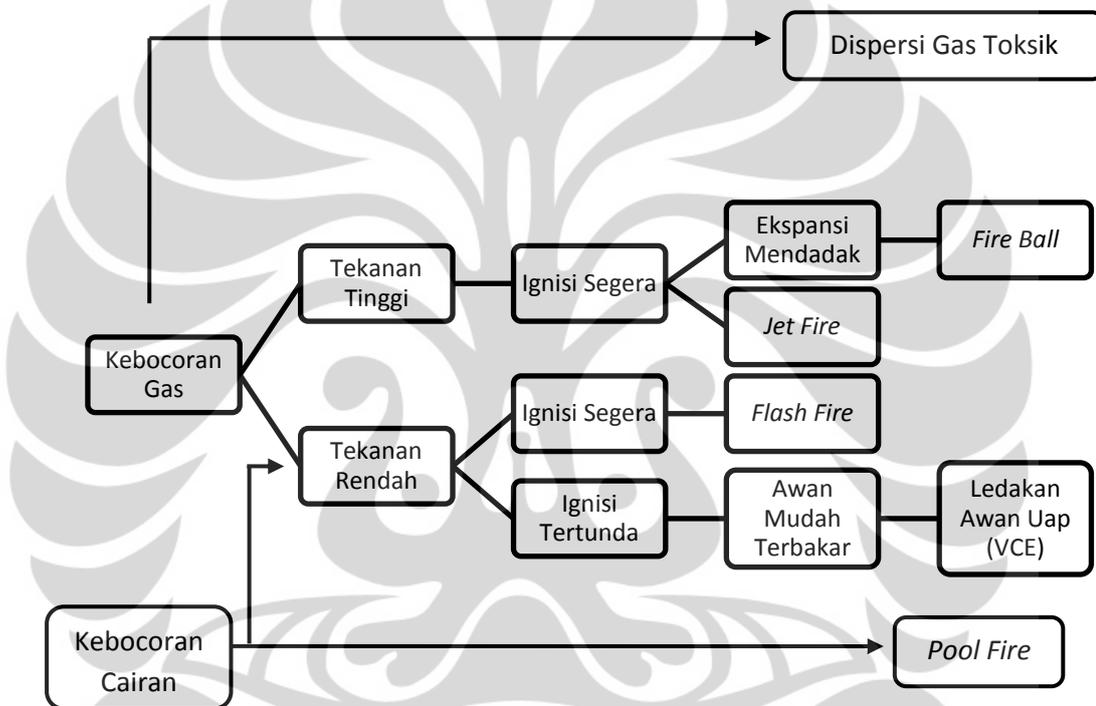


BAB 3

KERANGKA TEORI DAN KONSEP

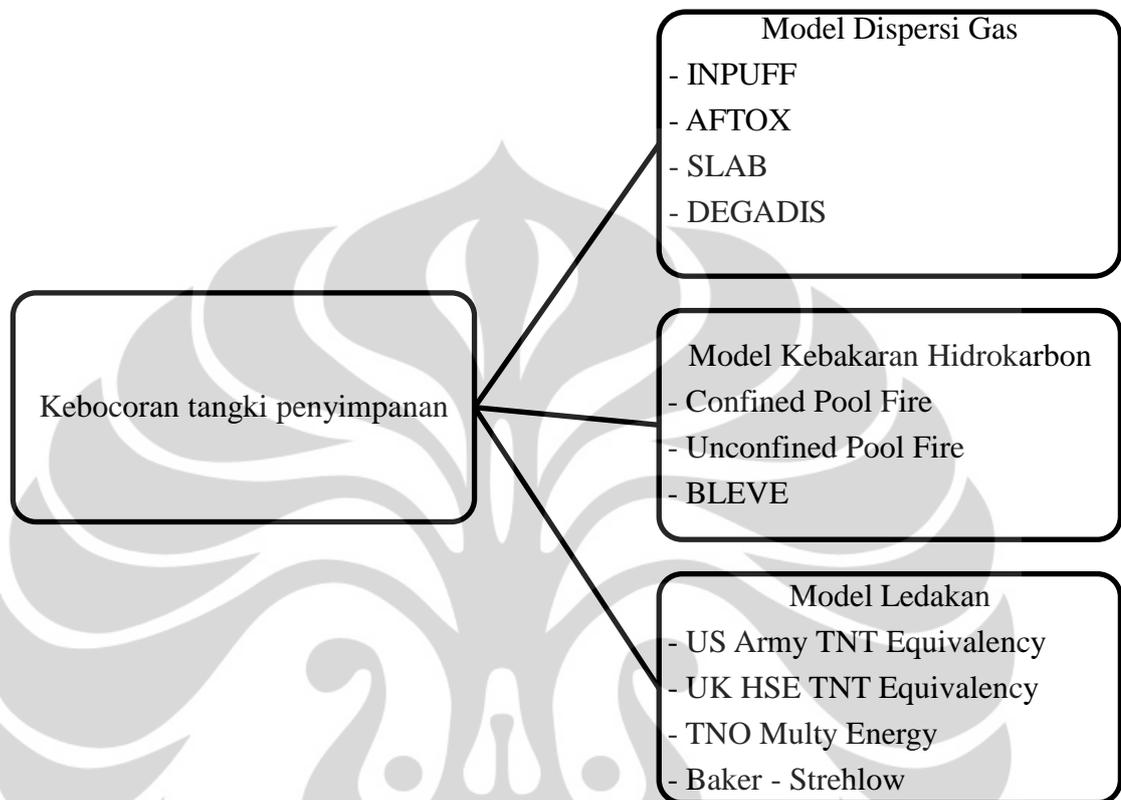
3.1 Kerangka Teori

Menurut Assael dan Kakosimos dalam *Fires, Explosions, and Toxic Gas Dispersions (Effects Calculation and Risk Analysis)* konsekuensi yang memungkinkan jika bahan bakar gas atau cair bocor ditunjukkan dalam bagan berikut.



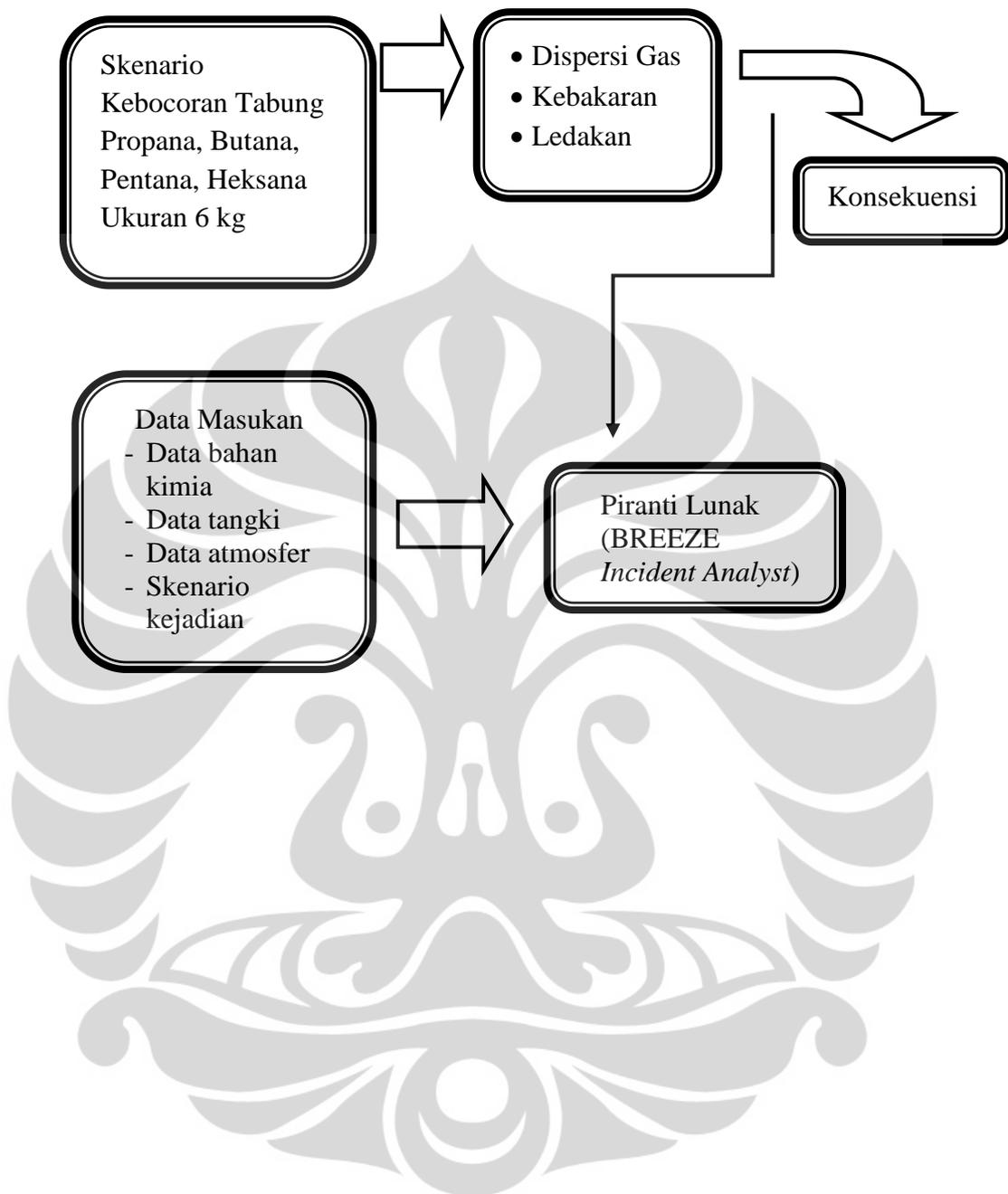
Sumber: Assael, M. J. dan Kakosimos, K. E., 2010

Piranti lunak BREEZE *Incident Analyst* dapat melakukan tiga pemodelan, yaitu pemodelan dispersi gas, kebakaran hidrokarbon, dan ledakan. Berikut adalah kerangka teori pemodelan BREEZE *Incident Analyst*.



Sumber: BREEZE *Incident Analyst Software*, 2011

3.2 Kerangka Konsep



3.3 Definisi Operasional

No.	Variabel	Definisi	Alat Ukur	Cara Ukur	Skala Ukur	Hasil Ukur
Variabel Dependen						
1.	Pemodelan kejadian dispersi gas, kebakaran, dan ledakan	Pemodelan penyebaran gas, radiasi panas, dan <i>overpressure</i>	BREEZE Sofware	Simulasi dan Analisis	Ordinal	Hasil simulasi dampak berupa <i>threat zone</i> penyebaran gas, radiasi panas, dan kelebihan tekanan (<i>overpressure</i>)
Variabel Independen						
2..	Data Bahan Kimia	Informasi mengenai bahan kimia yang akan dilakukan pemodelan (propana, butan, heksana, pentana)	BREEZE software	Data bahan kimia yang terdapat pada BREEZE	Rasio	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Molecular Weight</i>: g/mol • <i>Boiling Point</i>: °C • <i>Critical Temperature</i>: °C • <i>Critical Pressure</i>: atm • <i>Critical volume</i> • <i>Liquid Heat Capacity</i>: J/kg • <i>Heat of vaporization</i>: J/kg
3.	Data Sumber Kebocoran	Informasi mengenai sumber kebocoran bahan kimia yaitu tabung GPC ukuran 6 kg	Data Sekunder	Spesifikasi tabung GPC ukuran 6 kg	Rasio	<ul style="list-style-type: none"> • Jenis Sumber: tangki, pipa, tumpukan, penguapan kolam • Dimensi Tangki: diameter (m), panjang (m), volume (L) • Keadaan zat kimia yang tersimpan: <i>liquefied gas/pressurized, liquefied gas/refrigerated, liquid at ambient conditions, compressed gas</i> • Kondisi Tangki: suhu (°C), tekanan (atm), jumlah zat kimia yang tersimpan ketika pelepasan terjadi (% volume)

4.	Data Atmosfer	Informasi mengenai keadaan atmosfer di area proyeksi	Data sekunder kondisi atmosfer ketika pemodelan dilakukan (<i>running</i>)	Data atmosfer yang terdapat pada BREEZE	Rasio	<ul style="list-style-type: none"> • Kecepatan angin: m/s • Arah angin: derajat • Tinggi angin dari daratan: m • Tekanan: atm • Temperature udara: °C • Tingkat kestabilan: A-F • Kelembaban: % • Kekasaran tanah:
5.	Skenario Kejadian	Informasi mengenai jenis kejadian yang mungkin terjadi akibat kebocoran tabung GPC ukuran 6 kg	BREEZE software	Analisis antara skenario kejadian dengan skenario yang disediakan BREEZE software	Rasio	<ul style="list-style-type: none"> • Dispersi Gas: INPUFF, AFTOX, SLAB, DEGADIS • Kebakaran: <i>Confined Pool Fire, Unconfined Pool Fire, BLEVE</i> • Ledakan: US Army TNT Equivalency, UK HSE TNT Equivalency, TNO Multy Energi, Baker - Strehlow

BAB 4

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian kuantitatif yang menggunakan data sekunder dan observasi lapangan. Tahapan dari penelitian ini dimulai dari menentukan skenario kebocoran tabung GPC yang dapat menimbulkan dispersi gas, kebakaran dan, ledakan. Skenario kebocoran dan data sekunder lainnya kemudian dimasukkan dan diolah ke dalam piranti lunak BREEZE *Incident Analyst* untuk mendapatkan jangkauan wilayah yang terkena dampak dispersi gas, kebakaran, dan ledakan apabila terjadi kasus kebocoran tabung GPC 6 kg. Observasi lapangan bertujuan untuk mengetahui karakteristik penggunaan tabung bahan bakar pada penduduk. Dengan demikian, informasi mengenai kemungkinan penyebab kebocoran akibat penggunaan tabung dapat diketahui. Hal ini bisa dijadikan pembandingan pada penggunaan tabung GPC. Selain itu, observasi lapangan juga bertujuan untuk mengetahui populasi penduduk berdasarkan jarak tertentu untuk mengetahui jumlah orang yang masuk ke dalam zona berbahaya berdasarkan hasil simulasi.

4.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Kalianyar Kecamatan Tambora, Jakarta Pusat pada bulan April-Mei 2012

4.3 Unit Analisis

Unit analisis dari penelitian ini ialah tabung GPC ukuran 6 kg.

4.4 Pengumpulan dan Manajemen Data

Data yang dikumpulkan untuk penelitian ini berupa data primer dan sekunder. Data primer didapatkan melalui observasi lapangan di salah satu wilayah RT yang terdapat pada kelurahan Kalianyar. Data primer tersebut berupa karakteristik penggunaan gas LPG. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kemungkinan-kemungkinan penyebab kebocoran pada tabung

bahan bakar lain dan dapat dijadikan pembanding untuk tabung GPC. Selain itu, data primer lain yaitu berupa jumlah penduduk pada jarak tertentu untuk mengetahui jumlah manusia yang terkena dampak kejadian berdasarkan hasil simulasi. Data-data sekunder pada penelitian ini meliputi data mengenai karakteristik bahan kimia GPC (propana, butana, pentana, heksana), data tabung GPC, data atmosfer, serta data skenario kebocoran pada tabung GPC 6 kg. Data tersebut kemudian dimasukkan ke dalam piranti lunak BREEZE *Incident Analyst* untuk membuat simulasi dispersi gas, kebakaran, dan ledakan akibat kebocoran tabung GPC 6 kg.

4.5 Analisis Data

Keseluruhan dari data sekunder dimasukkan ke dalam piranti lunak BREEZE *Incident Analyst*. Langkah analisis data dengan menggunakan BREEZE *Incident Analyst* adalah sebagai berikut:

1. Menentukan karakteristik lokasi kejadian, waktu, serta koordinat penelitian
2. Menentukan jenis bahan kimia yang dijadikan sebagai objek penelitian
3. Menggambarkan kondisi atmosfer ketika simulasi dilakukan
4. Menentukan skenario kebocoran
5. Pilih *run model* dari menu *display* pada piranti lunak BREEZE *Incident Analyst* untuk menampilkan area yang terkena dampak dispersi gas, kebakaran, dan ledakan dari skenario kebocoran

4.6 Asumsi yang Digunakan

1. Kondisi atmosfer pada saat terjadinya kebocoran diasumsikan tetap
2. Kondisi atmosfer di setiap skenario diasumsikan sama
3. Kondisi atmosfer yang digunakan merupakan kondisi atmosfer ruang terbuka rata-rata harian wilayah Jakarta
4. Waktu kebocoran diasumsikan sama ketika penulis melakukan pemodelan dengan BREEZE *Incident Analyst*

4.7 Keterbatasan Penelitian

1. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ike Pujiriani pada tahun 2011 menunjukkan bahwa BREEZE tidak dapat melakukan penelitian pada bahan kimia campuran berupa LPG. Dengan demikian, dilakukan penelitian terpisah diantara komponen dari LPG tersebut yaitu, propana dan butana. Oleh karena itu, pada penelitian ini, analisis konsekuensi GPC dilakukan berdasarkan empat jenis bahan kimia yang merupakan komposisi utama dari GPC, yaitu LPG (Propana dan Butana) dan kondensat (Pentana dan Heksana).
2. BREEZE *Incident Analyst* tidak dapat melakukan pemodelan kebocoran di bagian katup
3. Pemilihan skenario disesuaikan dengan kemampuan penulis dalam menganalisa kebocoran tabung GPC ukuran 6 kg.
4. Jangkauan zona tidak aman dari kejadian kebakaran dan ledakan akibat kebocoran tabung GPC sangat kecil. Sehingga, hasil pemodelan tersebut tidak dapat diproyeksikan menggunakan peta/google earth

BAB 5

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini membahas mengenai analisis konsekuensi kejadian dispersi toksik, kebakaran, dan ledakan apabila terjadi kebocoran tabung GPC ukuran 6 kg. Analisis dilakukan dengan Piranti Lunak BREEZE *Incident Analyst*. Hasil dari penelitian simulasi kejadian ini berupa tiga level jangkauan wilayah (*threat zone*).

Simulasi dilakukan dengan asumsi kondisi atmosfer rata-rata harian ruang terbuka DKI Jakarta sebagai berikut:

- Suhu : 27 °C
- Kelembaban : 85%
- Arah angin : bertiup dari arah barat (270°)
- Kecepatan angin : 2,5 m/s
- Tekanan udara : 1 atm
- Tingkat stabilitas : D

Selain memerlukan kondisi atmosfer, dalam melakukan penelitian ini diperlukan data masukan berupa dimensi dan kondisi tabung, dalam hal ini tabung GPC ukuran 6 kg. Berikut adalah data mengenai tabung yang dilakukan penelitian:

- Tinggi : 0,377 m
- Diameter : 0,246 m
- Tekanan : 4319,84 mmHg
- Suhu : 27 °C
- Jenis tangki : vertikal

Titik koordinat lokasi simulasi juga diperlukan pada penelitian ini. Titik sembarang dipilih di daerah Kalianyar, yang dijadikan daerah percontohan pada penelitian ini. Titik sembarang tersebut bertujuan untuk mendapatkan koordinat X dan Y yang diperlukan sebagai data masukan ke dalam BREEZE *Incident Analyst*

Berdasarkan dasar pemilihan tersebut, didapatkan koordinat lokasi penelitian sebagai berikut:

- Koordinal Lokasi : *Universal Transverse Mecator (UTM)* zona 48 dengan *hemisphere southern*
- X Coordinate : 699610,89
- Y Coordinate : 9318793,82

Setelah keseluruhan data atmosfer, tabung, zat, koordinat lokasi, dan kebocoran yang akan dilakukan pemodelan dimasukkan ke dalam piranti lunak BREEZE *Incident Analyst*, tahap berikutnya piranti lunak tersebut akan *run* dan memberikan hasil jangkauan wilayah (*threat zone*) berupa *Level of Concern (LoC)* untuk masing-masing skenario. Berikut adalah *Level of Concern* dari pemodelan dispersi toksik, kebakaran, dan ledakan:

a. Dispersi Toksik

Untuk dispersi toksik, batas dari AEGL berbeda-beda untuk tiap zat. Berikut akan dijelaskan mengenai efek dari tiap LoC.

- *Acute Exposure Guideline Levels (AEGL) 1* — hijau
Konsentrasi zat yang diperkirakan populasi umum, termasuk individu rentan, bisa mengalami ketidaknyamanan, iritasi, atau efek tertentu pada indera tanpa gejala. Namun efek bersifat sementara dan dapat pulih setelah pajanan berakhir
- *Acute Exposure Guideline Levels (AEGL) 2* — kuning
Konsentrasi zat yang diperkirakan populasi umum, termasuk individu rentan, bisa mengalami sesuatu yang bersifat tidak dapat pulih atau serius, efek merugikan bagi kesehatan dalam jangka waktu panjang atau ketidakmampuan melarikan diri
- *Acute Exposure Guideline Levels (AEGL) 3* — merah
Konsentrasi zat yang diperkirakan populasi umum, termasuk individu rentan, bisa mengalami hal yang mengancam kehidupan berupa efek kesehatan atau kematian

(EPA dan NOAA, 2007)

b. Kebakaran

- Kuning: 2 kW/m^2 — rasa sakit dalam waktu 60 detik
- Oranye: 5 kW/m^2 — luka bakar tingkat dua dalam waktu 60 detik
- Merah: 10 kW/m^2 — berpotensi mematikan dalam waktu 60 detik (EPA dan NOAA, 2007)

c. Ledakan

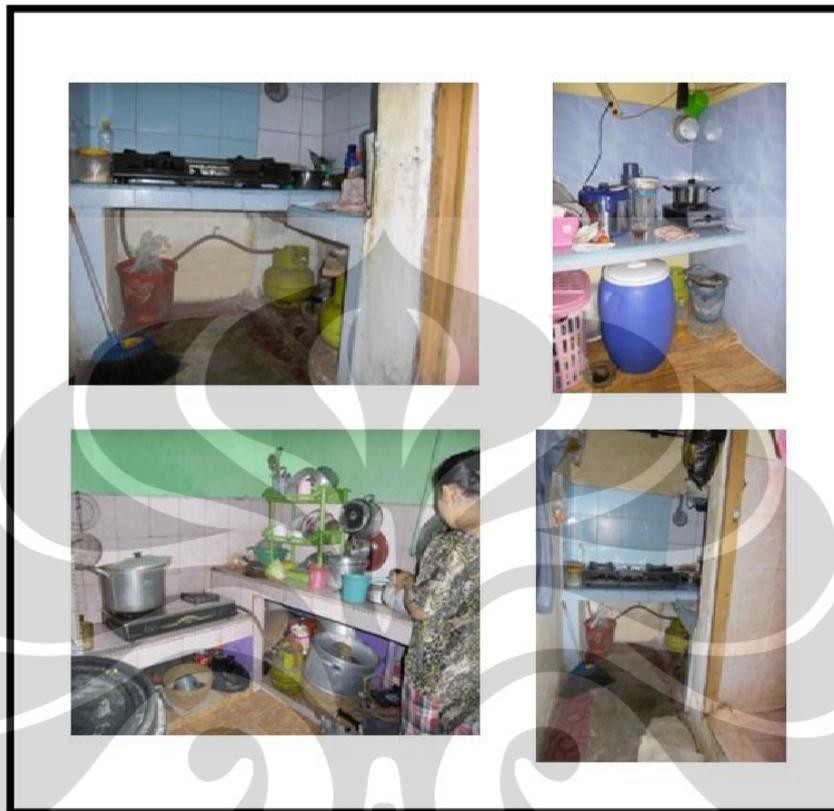
- Kuning: 1 psi — menghancurkan kaca
- Oranye: 3,5 psi — luka serius
- Merah: 8 psi — menghancurkan gedung (EPA dan NOAA, 2007)

5.1 Karakteristik Penggunaan Tabung Bahan Bakar

Penulis melakukan observasi lapangan mengenai karakteristik penggunaan tabung bahan bakar pada penduduk di Kalianyar. Penulis memilih secara acak salah satu RT di Kelurahan Kalianyar. Kemudian, beberapa rumah pada RT tersebut diobservasi untuk melihat karakteristik atau perilaku penggunaan tabung bahan bakar jenis lain. Penggunaan tabung yang diobservasi ialah tabung ukuran 3 kg. Berikut adalah karakteristik penggunaan tabung bahan bakar pada penduduk Kalianyar:

- Pada rumah-rumah yang dijadikan objek penelitian, seluruhnya menggunakan tabung LPG ukuran 3 kg sebagai bahan bakar rumah tangga
- Tabung diletakkan di bagian bawah
- Peletakkan tabung berdekatan dengan lokasi kegiatan mencuci
- Sebagian besar penduduk menggunakan tabung LPG pada ruangan tertutup tanpa ventilasi. Sehingga apabila terjadi kebocoran, gas yang terakumulasi di dalam ruangan akan semakin banyak.
- Penduduk sudah mengetahui cara memasang dan melepas tabung dari regulator dengan benar

Berikut adalah gambaran mengenai karakteristik penggunaan tabung LPG pada penduduk di daerah Kalianyar:



Gambar 5.1
Peletakkan Tabung di Ruangan



Gambar 5.2
Kondisi Ruangan dengan Sirkulasi Udara Buruk



Gambar 5.3
Kerapatan Rumah di Kalianyar

5.2 Simulasi Skenario Propana

Pada Tanggal 02 Mei 2012 pukul 13.39, terjadi kebocoran tabung Propana ukuran 6 kg di Kalianyar, Jakarta Barat. Saat terjadi kebocoran, tabung berisi 80% propana ($0,014 \text{ m}^3$) dari kapasitas keseluruhannya sebesar $0,018 \text{ m}^3$. Kebocoran disimulasikan berukuran 1 mm dan berada di dasar tabung. Pemilihan skenario ini didasari karena tabung yang diletakkan di bagian bawah dan dekat dengan lokasi kegiatan mencuci rentan terjadi kebocoran di bagian bawah tabung. Pada saat kejadian, diasumsikan kondisi atmosfer sesuai dengan parameter yang dijelaskan sebelumnya, yaitu kondisi atmosfer rata-rata harian ruang terbuka di wilayah DKI Jakarta. Berdasarkan hasil dari keluaran Breeze *Incident Analyst*, zat propana memiliki karakteristik sebagai berikut:

- *Molecular weight* : 44,097 g/g-mole
- *Boiling point* : 231,078 K
- *Critical temperature* : 369,8 K
- *Critical pressure* : 41,94 atm
- *Critical volume* : $203 \text{ cm}^3/\text{g-mol}$
- *Liquid heat capacity* : 500,5 J/kg-K
- *Heat of vaporization* : 425.740 J/kg
- *Flammable*

Hasil dari pemodelan tersebut ialah sebagai berikut:

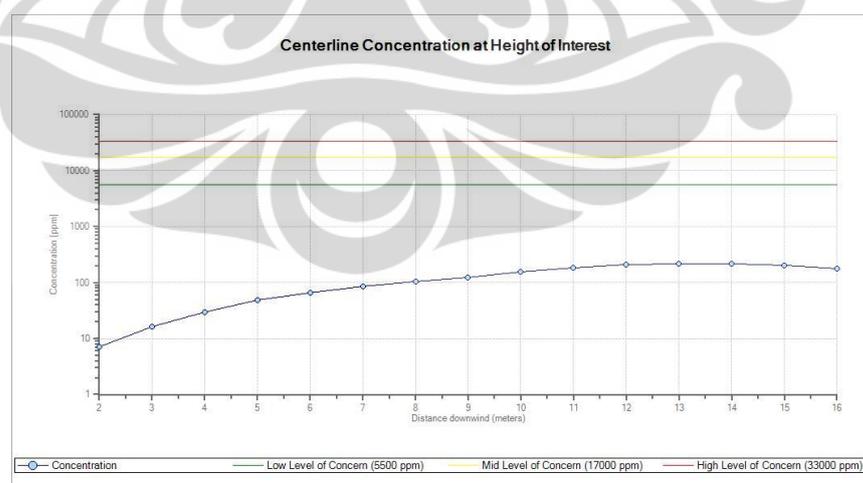
a. Dispersi Toksik (*Toxic Dispersion*)

Seluruh data zat, tabung, atmosfer, dan skenario kebocoran di-*input* ke dalam *BREEZE Incident Analyst. Receptor height* untuk pemodelan dispersi toksik ditentukan setinggi 1,5 meter, yang diasumsikan setara dengan tinggi pernafasan manusia (Trinity Consultants, 2004). Piranti lunak ini akan memberikan rekomendasi jenis pemodelan dispersi toksik untuk zat propana yaitu, *DEGADIS (Dense Gas Dispersion)*. Tahap selanjutnya ialah memasukkan data *emission rate* sebesar 0,011 kg/s.

Level of Concern (LoC) toksik dari zat propana dijabarkan sebagai berikut:

- AEGL 1 – hijau: 5500 ppm
- AEGL 2 – kuning: 17000 ppm
- AEGL 3 – merah: 33000 ppm

BREEZE Incident Analyst tidak dapat menggambarkan ketiga *Level of Concern (LoC)* toksik dari propana dalam bentuk peta. Hal ini dikarenakan jangkauan wilayah dispersi toksik butana dengan konsentrasi melebihi salah satu LoC yang sudah ditentukan, kurang dari 1 meter. Hasil simulasi dispersi toksik dari propana hanya dapat digambarkan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



Gambar 5.4 Grafik Dispersi Toksik Propana

Tipe pemodelan dispersi toksik zat propana ialah *Dense Gas Dispersion* (DEGADIS). Tipe ini merupakan jenis yang direkomendasikan oleh *BREEZE Incident Analyst*. Selain itu, propana yang lebih berat dari udara (1,55 kali berat udara) juga menjadi alasan peneliti menentukan DEGADIS sebagai tipe pemodelan. Tipe dispersi gas yang lebih berat dari udara seperti DEGADIS, lebih berbahaya apabila terjadi dibandingkan dengan dispersi gas yang lebih ringan dibanding udara. Alasannya, gas yang lebih berat daripada udara akan sulit untuk terdispersi sehingga apabila terjadi kebocoran, gas tersebut akan berkumpul di bagian bawah. Hal ini berbahaya karena sumber ignisi banyak terdapat di bagian bawah. Sumber ignisi tersebut dapat menyebabkan kebakaran dan atau ledakan pada gas yang terakumulasi di ruangan.

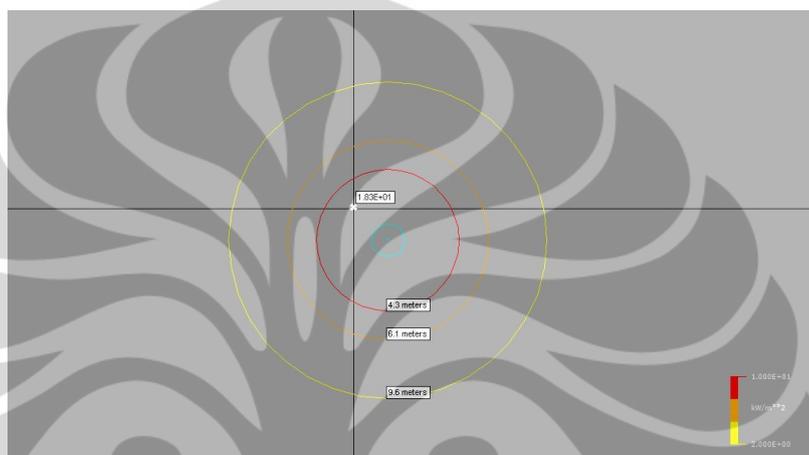
Peristiwa kebocoran tabung gas propana yang dicairkan berukuran 6 kg tidak terlalu memberikan efek pada penyebaran gas toksik. Hal ini bisa dilihat dari grafik bahwa konsentrasi gas berada di bawah ambang batas/LoC yang ditentukan. Berdasarkan grafik tersebut, tergambar bahwa konsentrasi gas saat pertama kali terjadi kebocoran ialah sebesar 7 ppm pada jarak 2 m. Secara garis besar konsentrasi gas terus bergerak naik dan mencapai puncak pada jarak 13 meter dengan konsentrasi 200 ppm. Kemudian, zat ini bergerak turun.

b. Kebakaran (*Fire*)

Seluruh data zat, tabung, atmosfer, dan skenario kebocoran di-*input* kedalam *BREEZE Incident Analyst*. Pada penelitian ini, kebocoran gas propane yang dicairkan di dalam tabung tersebut disimulasikan dapat menimbulkan BLEVE. Kegagalan ini timbul karena penyebab eksternal (seperti kebakaran). Penyerapan panas menyebabkan pendidihan dan peningkatan dari tekanan internal, yang berhubungan dengan penurunan ketahanan permukaan logam karena peningkatan temperatur sehingga menghasilkan kerusakan wadah. Akibat peristiwa ini, tabung mengalami kebocoran sebesar 1 mm.

Tabung propana ukuran 6 kg memiliki volum sebesar $0,014 \text{ m}^3$. Pada penelitian ini, diasumsikan bahwa total volum tersebut merupakan *flammable mass* yang terlibat pada kejadian BLEVE dari zat propana. Angka ini kemudian di-*input* ke dalam piranti lunak. Setelah di-*run*, maka didapatkan jangkauan dari radiasi panas akibat kejadian BLEVE yang dibagi menjadi tiga *Level of Concern* (LoC).

Berikut adalah hasil simulasi dari BLEVE yang menimbulkan radiasi panas (*thermal radiation*):



Gambar 5.5 Hasil Simulasi Kebakaran (*Thermal Radiation*)
Tabung Propana 6 kg dalam Format Peta

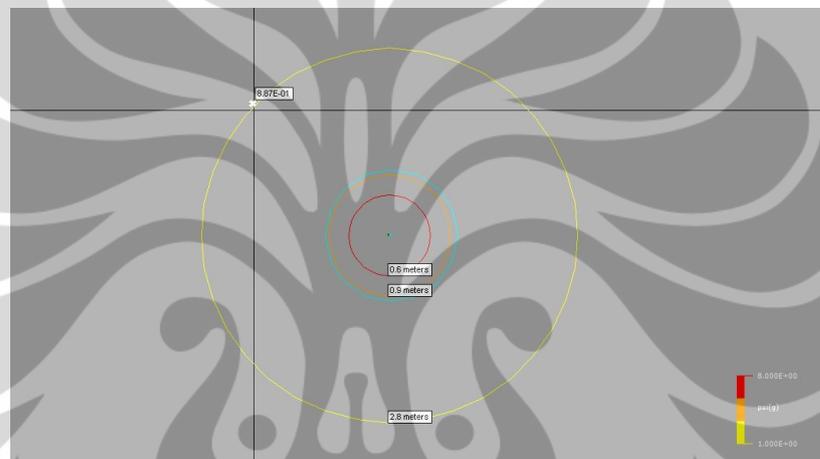
Kebocoran gas propana dengan tabung berukuran 6 kg menimbulkan radiasi panas yang cukup tinggi. Hal ini dapat terlihat dari gambar 5.2, daerah paling berbahaya berdasarkan hasil simulasi mencapai hingga jarak 4,3 meter dengan radiasi panas sebesar 10 kW/m^2 . Pada daerah ini, efek mematikan pada manusia dapat terjadi apabila terpajan dalam waktu 60 detik oleh radiasi panas akibat kejadian BLEVE. Daerah kedua dengan LoC 5 kW/m^2 mencapai wilayah dengan jarak 6,1 meter. Pada daerah ini, manusia yang terpajan dalam waktu 60 detik dapat meimbulkan efek berupa luka bakar tingkat dua. Selanjutnya, pada zona kuning dengan tingkat radiasi 2 kW/m^2 mencapai jarak 9,6 meter. Manusia yang terpajan radiasi panas dalam waktu 60 detik pada daerah ini dapat merasakan sakit. Dari hasil pemodelan, daerah yang terkena dampak

kejadian ialah sejauh 9,6 meter. Pada radius ini, kebakaran akibat kebocoran propana mengancam sekitar 49 orang.

c. Ledakan (*Explosion*)

Seluruh data zat, tabung, atmosfer, dan skenario kebocoran di-*input* ke dalam *BREEZE Incident Analyst*. Kejadian kebocoran tabung propana 0,014 m³ disimulasikan berupa *single vapor cloud* dengan pendekatan U.S. Army TNT *Equivalency*, % yield of TNT sebesar 3%, dan *explosion height* 3 meter.

Berikut adalah hasil simulasi ledakan yang menimbulkan *free air explosion overpressure* dan *surface explosion overpressure*.



Gambar 5.6 Hasil Simulasi *Free Air Explosion Overpressure* Tabung Propana 6 kg dalam Format Peta



Gambar 5.7 Hasil Simulasi *Surface Explosion Overpressure* Tabung Propana 6 kg dalam Format Peta

Tabung propana ukuran 6 kg memiliki volum sebesar $0,014 \text{ m}^3$. Volum tersebut diasumsikan merupakan *flammable mass* dari zat propane yang seluruhnya terlibat dalam kejadian ledakan. Simulasi ledakan akibat kebocoran tabung propana ukuran 6 kg dimodelkan menggunakan pendekatan U.S. Army TNT *Equivalency*. Pada penelitian ini ledakan disimulasikan dengan % yield of TNT sebesar 3% (3-5 % *based on experience*) (Gugan, 1978 in Bjerketvedt, D., Bakke and Wingerden, 1997), *explosion height* 3 meter dengan asumsi tinggi ledakan tabung setara dengan tinggi rumah pada umumnya.

Berdasarkan hasil simulasi BREEZE Incident Analyst, jangkauan ledakan ke udara bebas (*free air explosion overpressure*) zona *level of concern* rendah (1 psi) mencapai 2,8 meter, zona *level of concern* menengah (3,5 psi) mencapai 0,9 meter, dan zona paling berbahaya dengan *level of concern* tinggi (8 psi) menjangkau titik 0,6 meter dari sumber kejadian. Sedangkan, jangkauan ledakan permukaan (*surface explosion*) zona *level of concern* rendah (1 psi) mencapai 2,9 meter, zona *level of concern* menengah (3,5 psi) menjangkau hingga 1,3 meter. Daerah paling berbahaya dengan *level of concern* tinggi (8 psi) untuk jenis ledakan di permukaan pada simulasi ini menjangkau hingga radius 0,7 meter dari sumber kejadian. Dari hasil pemodelan, daerah paling jauh yang terkena dampak kejadian ialah 2,9 meter. Pada radius ini, ledakan akibat kebocoran propana mengancam sekitar 12 orang.

5.3 Simulasi Skenario Butana

Pada Tanggal 02 Mei 2012 pukul 14.04 telah terjadi kebocoran tabung Butana ukuran 6 kg di Kalianyar, Jakarta Barat. Saat terjadi kebocoran, tabung berisi 80% ($0,014 \text{ m}^3$) dari kapasitas keseluruhannya sebesar $0,018 \text{ m}^3$. Kebocoran disimulasikan berukuran 1 mm dan berada di dasar tabung. Pemilihan skenario ini didasari karena tabung yang diletakkan di bagian bawah dan dekat dengan lokasi kegiatan mencuci rentan terjadi kebocoran di bagian bawah tabung. Pada saat kejadian, diasumsikan kondisi atmosfer sesuai dengan parameter yang dijelaskan sebelumnya. Berdasarkan hasil dari

keluaran Breeze Incident Analyst, zat butana memiliki karakteristik sebagai berikut:

- *Molecular weight* : 58,124 g/g-mole
- *Boiling point* : 272.65 K
- *Critical temperature* : 425,156 K
- *Critical pressure* : 37,493 atm
- *Critical volume* : 254,707 cm³/g-mol
- *Liquid heat capacity* : 2420 J/kg-K
- *Heat of vaporization* : 390.000 J/kg
- *Flammable*

Hasil dari pemodelan tersebut ialah sebagai berikut.

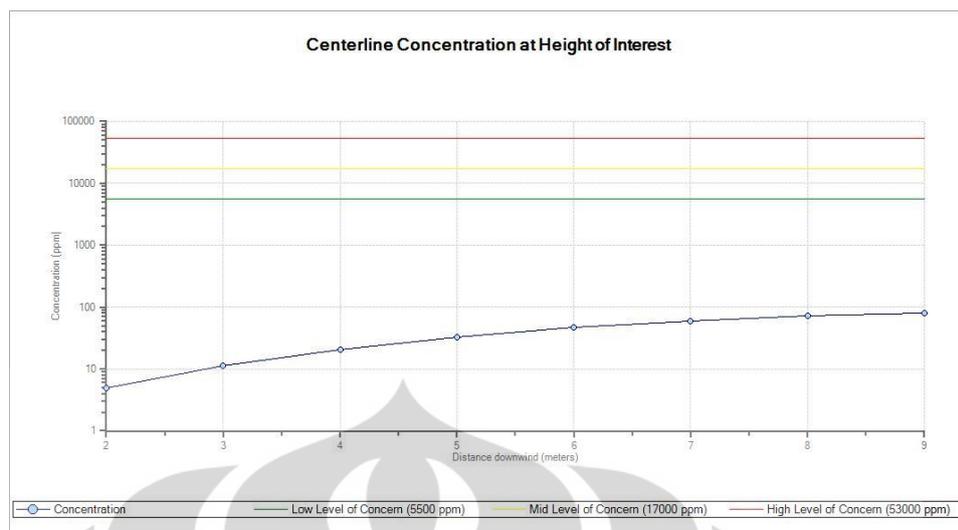
a. Dispersi Toksik (*Toxic Dispersion*)

Seluruh data zat, tabung, atmosfer, dan skenario kebocoran di-input kedalam BREEZE *Incident Analyst*. *Receptor height* untuk pemodelan dispersi toksik ditentukan setinggi 1,5 meter, yang diasumsikan setara dengan tinggi pernafasan manusia (Trinity Consultants, 2004). Piranti lunak ini akan memberikan rekomendasi jenis pemodelan dispersi toksik untuk zat Butana yaitu, DEGADIS (*Dense Gas Dispersion*). Tahap selanjutnya ialah, memasukkan data *emission rate* sebesar 0,011 kg/s.

Level of Concern (LoC) toksik dari zat butana dijabarkan sebagai berikut:

- AEGL 1 – hijau: 5500 ppm
- AEGL 2 – kuning: 17000 ppm
- AEGL 3 – merah: 53000 ppm

Untuk zat butana, BREEZE *Incident Analyst* juga tidak dapat menggambarkan dispersi toksik dalam bentuk peta. Hal ini dikarenakan jangkauan wilayah dispersi toksik butana dengan konsentrasi melebihi salah satu LoC yang sudah ditentukan kurang dari 1 meter. Hasil simulasi dispersi toksik dari butana hanya dapat digambarkan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



Gambar 5.8 Grafik Dispersi Toksik Butana

Tipe pemodelan dispersi toksik zat butana ialah *Dense Gas Dispersion* (DEGADIS). Tipe ini merupakan jenis yang direkomendasikan oleh *BREEZE Incident Analyst*. Selain itu, butana yang lebih berat dari udara (2 kali berat udara) juga menjadi alasan, peneliti menentukan DEGADIS sebagai tipe pemodelan. Tipe dispersi gas yang lebih berat dari udara seperti DEGADIS, lebih berbahaya apabila terjadi dibandingkan dengan dispersi gas yang lebih ringan dibanding udara. Alasannya, gas yang lebih berat daripada udara akan sulit untuk terdispersi sehingga apabila terjadi kebocoran maka gas tersebut akan berkumpul di bagian bawah. Hal ini berbahaya karena sumber ignisi banyak terdapat di bagian bawah. Sumber ignisi tersebut dapat menyebabkan kebakaran dan atau ledakan pada gas yang terakumulasi di ruangan.

Berdasarkan grafik 5.5 dapat disimpulkan bahwa konsentrasi butana secara garis besar bergerak naik. Saat pertama kali lepas ke udara, butana berada pada titik 2 meter dengan konsentrasi 5 ppm. Konsentrasi ini cukup rendah karena saat pertama kali lepas, butana yang merupakan zat yang lebih berat dari udara masih berkumpul di bawah. Zat ini belum dipengaruhi angin dalam pergerakannya. Sehingga, konsentrasi butana dengan ketinggian 1,5 meter (*receptor height*) masih sangat rendah.

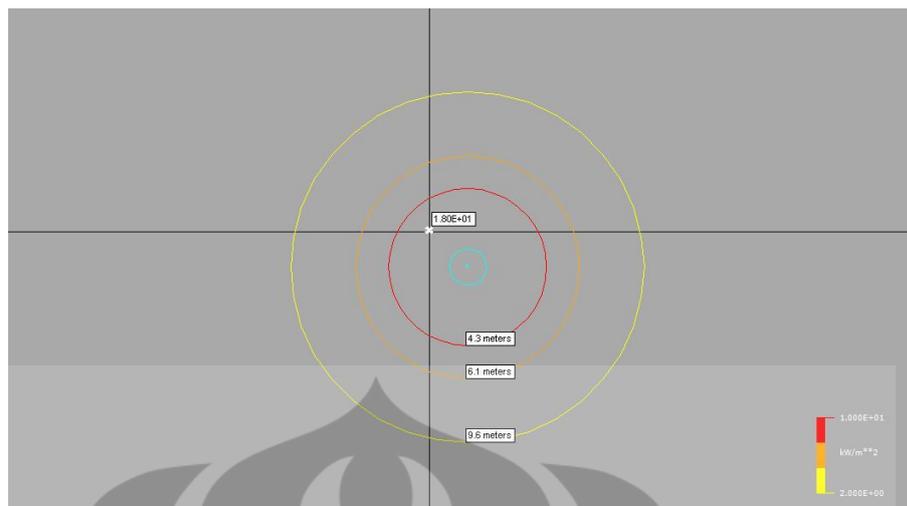
Berdasarkan grafik tersebut dapat terlihat bahwa zat butana yang lepas dari tabung ukuran 6 kg tidak berisiko menimbulkan efek toksik pada manusia. Konsentrasi butana selalu berada di bawah LoC yang ditentukan. Bahkan, konsentrasi tersebut berada di bawah grafik LoC terendah sebesar 5500 ppm yang dapat menimbulkan ketidaknyamanan pada manusia terpajan.

b. Kebakaran (*Fire*)

Seluruh data zat, tabung, atmosfer, dan skenario kebocoran di-*input* kedalam BREEZE *Incident Analyst*. Pada penelitian ini, kebocoran gas butana yang dicairkan di dalam tabung tersebut disimulasikan dapat menimbulkan BLEVE. Kegagalan ini timbul karena penyebab eksternal (seperti kebakaran). Penyerapan panas menyebabkan pendidihan dan peningkatan dari tekanan internal, yang berhubungan dengan penurunan ketahanan permukaan logam karena peningkatan temperatur sehingga menghasilkan kerusakan wadah. Akibat peristiwa ini, tabung mengalami kebocoran sebesar 1 mm.

Tabung butana ukuran 6 kg memiliki volum sebesar 0,014 m³. Pada penelitian ini, diasumsikan bahwa total volum tersebut merupakan *flammable mass* yang terlibat pada kejadian BLEVE dari zat butana.. Angka ini kemudian di-*input* ke dalam piranti lunak. Setelah di-*run*, maka didapatkan jangkauan dari radiasi panas akibat kejadian BLEVE yang dibagi menjadi tiga *Level of Concern* (LoC).

Berikut adalah hasil simulasi dari BLEVE yang menimbulkan radiasi panas (*thermal radiation*):



Gambar 5.9 Hasil Simulasi Kebakaran (*Thermal Radiation*) Tabung Butana 6 kg dalam Format Peta

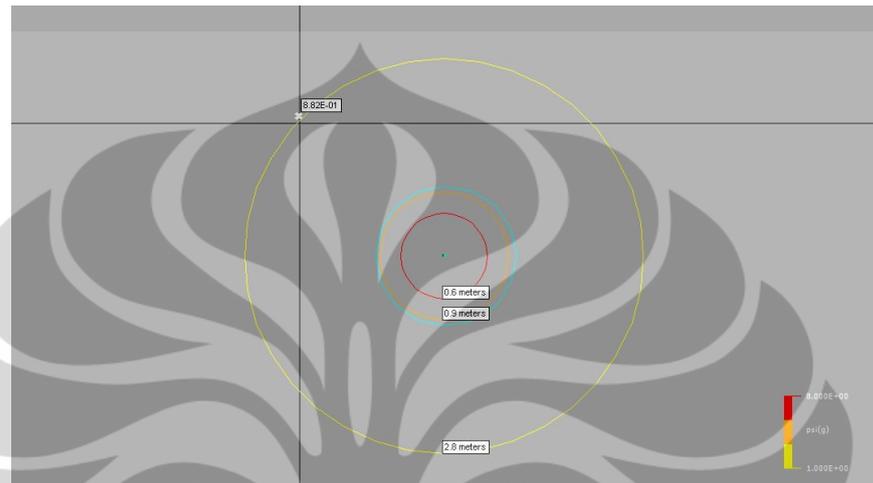
Radiasi panas yang dihasilkan dari kejadian BLEVE akibat kebocoran tabung butana $0,014 \text{ m}^3$ cukup besar. Ini terlihat dari gambar 5.6 bahwa jarak terjauh dari radiasi panas yang masuk ke dalam LoC level satu ialah sejauh 9,6 meter. Efek pada manusia apabila terpajan dalam waktu 60 detik dengan konsentrasi panas sebesar 2 kW/m^2 ialah dapat menyebabkan rasa sakit. Daerah berbahaya tingkat dua yang digambarkan dengan zona oranye merupakan daerah dengan konsentrasi panas sebesar 5 kW/m^2 . Pada daerah ini, manusia yang terpajan panas dalam waktu 60 detik dapat menimbulkan luka bakar tingkat dua. Kejadian BLEVE akibat kebocoran pada tabung butana 6 kg menghasilkan radiasi panas pada tingkat ini sejauh 6,1 meter dari titik kejadian. Daerah paling berbahaya berdasarkan hasil simulasi mencapai hingga jarak 4,3 meter dengan radiasi panas sebesar 10 kW/m^2 . Pada daerah ini, efek mematikan pada manusia dapat terjadi apabila terpajan dalam waktu 60 detik oleh radiasi panas akibat kejadian BLEVE. Dari hasil pemodelan, daerah paling jauh yang terkena dampak kejadian ialah 9,6 meter. Pada radius ini, kebakaran akibat kebocoran butana mengancam sekitar 49 orang.

c. Ledakan (*Explosion*)

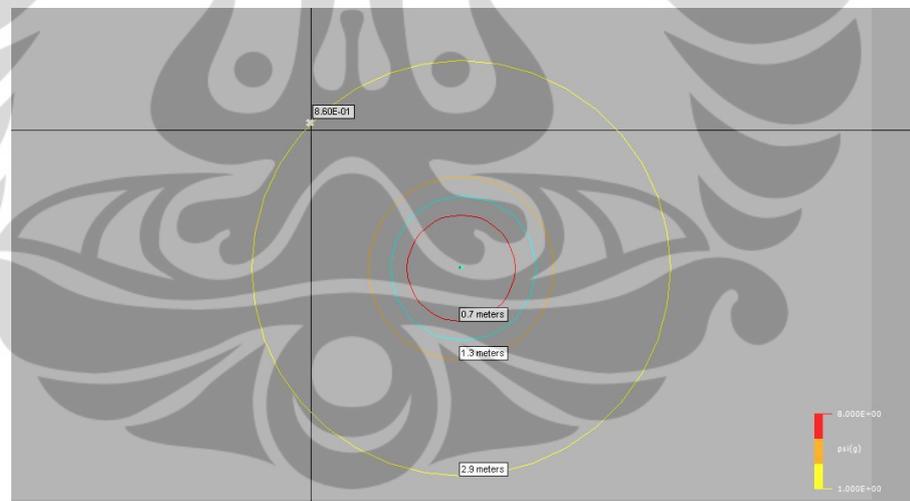
Seluruh data zat, tabung, atmosfer, dan skenario kebocoran di-*input* ke dalam BREEZE *Incident Analyst*. Kejadian kebocoran tabung butana 6

kg disimulasikan berupa *single vapor cloud* dengan pendekatan U.S. Army TNT *Equivalency*, % yield of TNT sebesar 3%, dan *explosion height* 3 meter. Tabung butana ukuran 6 kg menghasilkan *flammable mass* sebesar $0,014 \text{ m}^3$

Berikut adalah hasil simulasi ledakan yang menimbulkan *free air explosion overpressure* dan *surface explosion overpressure*.



Gambar 5.10 Hasil Simulasi *Free Air Explosion Overpressure* Tabung Butana 6 kg dalam Format Peta



Gambar 5.11 Hasil Simulasi *Surface Explosion Overpressure* Tabung Butana 6 kg dalam Format Peta

Tabung butana ukuran 6 kg memiliki volum sebesar $0,014 \text{ m}^3$. Volum tersebut diasumsikan merupakan *flammable mass* dari zat butana yang seluruhnya terlibat dalam kejadian ledakan. Simulasi ledakan akibat

kebocoran tabung butana ukuran 6 kg dimodelkan menggunakan pendekatan U.S. Army TNT *Equivalency*. Pada penelitian ini ledakan disimulasikan dengan % yield of TNT sebesar 3% (3-5 % *based on experience*) (Gugan, 1978 in Bjerketvedt, D., Bakke and Wingerden, 1997), *explosion height* 3 meter dengan asumsi tinggi ledakan tabung setara dengan tinggi rumah pada umumnya.

Berdasarkan hasil simulasi BREEZE *Incident Analyst*, jangkauan ledakan ke udara bebas (*free air explosion overpressure*) zona *level of concern* rendah (1 psi) mencapai 2,8 meter, zona *level of concern* menengah (3,5 psi) mencapai 0,9 meter, dan zona paling berbahaya dengan *level of concern* tinggi (8 psi) menjangkau titik 0,6 meter dari sumber kejadian. Sedangkan, jangkauan ledakan permukaan (*surface explosion*) zona *level of concern* rendah (1 psi) mencapai 2,9 meter, zona *level of concern* menengah (3,5 psi) menjangkau hingga 1,3 meter. Daerah paling berbahaya dengan *level of concern* tinggi (8 psi) untuk jenis ledakan di permukaan pada simulasi ini menjangkau hingga radius 0,7 meter dari sumber kejadian. Dari hasil pemodelan, daerah paling jauh yang terkena dampak kejadian ialah 2,9 meter. Pada radius ini, ledakan akibat kebocoran butana mengancam sekitar 12 orang.

5.4 Skenario Pentana

Pada Tanggal 02 Mei 2012 pukul 14.30 telah terjadi kebocoran tabung Pentana ukuran 6 kg di Kalianyar, Jakarta Barat. Saat terjadi kebocoran, tabung berisi 80% ($0,014 \text{ m}^3$) dari kapasitas keseluruhannya sebesar $0,018 \text{ m}^3$. Kebocoran disimulasikan berukuran 1 mm dan berada di dasar tabung. Pemilihan skenario ini didasari karena tabung yang diletakkan di bagian bawah dan dekat dengan lokasi kegiatan mencuci rentan terjadi kebocoran di bagian bawah tabung. Pada saat kejadian, diasumsikan kondisi atmosfer sesuai dengan parameter yang dijelaskan sebelumnya. Berdasarkan hasil dari keluaran Breeze Incident Analyst, zat pentana memiliki karakteristik sebagai berikut:

- *Molecular weight* : 72,15 g/g-mole
- *Boiling point* : 309,22 K
- *Critical temperature* : 469,65 K
- *Critical pressure* : 33,35 atm
- *Critical volume* : 304 cm³/g-mol
- *Liquid heat capacity* : 2349 J/kg-K
- *Heat of vaporization* : 357.500 J/kg
- *Flammable*

Hasil dari pemodelan tersebut ialah sebagai berikut.

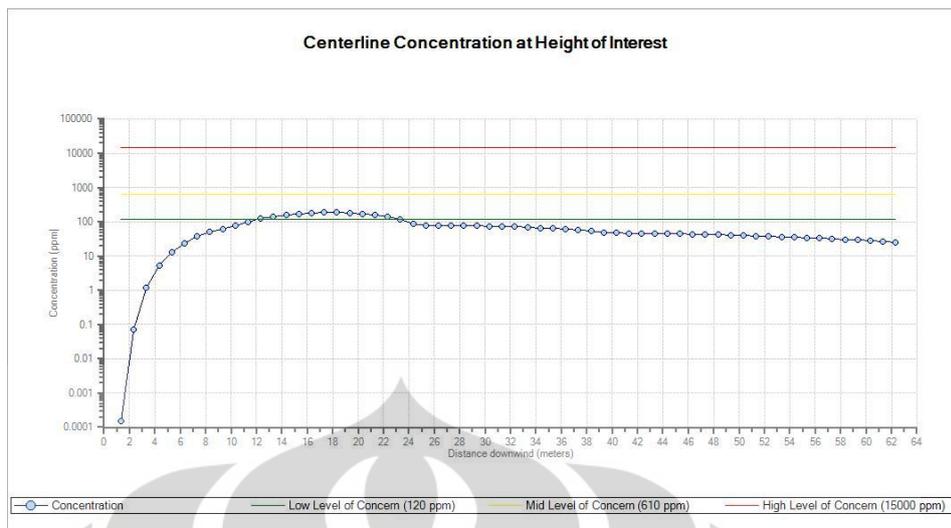
a. Dispersi Toksik (*Toxic Dispersion*)

Seluruh data zat, tabung, atmosfer, dan skenario kebocoran di-input kedalam *BREEZE Incident Analyst*. *Receptor height* untuk pemodelan dispersi toksik diasumsikan setara dengan tinggi pernafasan manusia yaitu 1,5 meter (Trinity Consultants, 2004). Piranti lunak ini akan memberikan rekomendasi jenis pemodelan dispersi toksik untuk zat pentana yaitu, *DEGADIS (Dense Gas Dispersion)*. Tahap selanjutnya ialah, memasukkan data *emission rate* sebesar 0,011 kg/s.

Level of Concern (LoC) toksik dari zat pentana dijabarkan sebagai berikut:

- AEGL 1 – hijau: 120 ppm
- AEGL 2 – kuning: 610 ppm
- AEGL 3 – merah: 15000 ppm

BREEZE Incident Analyst tidak dapat menggambarkan ketiga *Level of Concern (LoC)* toksik dari pentana dalam bentuk peta. Hal ini dikarenakan jangkauan wilayah dari dispersi toksik pentana kurang dari 1 meter. Hasil simulasi dispersi toksik dari pentana hanya dapat digambarkan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



Gambar 5.12 Grafik Dispersi Toksik Pentana

Pentana merupakan zat yang cukup berbahaya. Manusia yang terpajan dengan zat ini dengan konsentrasi tertentu dalam jangka waktu yang panjang dapat menimbulkan efek-efek kesehatan bahkan untuk tingkat yang lebih serius dapat menimbulkan kematian. Pada penelitian ini, *BREEZE Incident Analyst* merekomendasikan jenis pemodelan dispersi toksik untuk zat pentana ialah *DEGADIS (Dense Gas Dispersion)*. Hal ini dikarenakan pentana merupakan zat yang lebih berat dari udara (2,5 kali berat udara). Tipe dispersi gas yang lebih berat dari udara seperti *DEGADIS*, lebih berbahaya apabila terjadi dibandingkan dengan dispersi gas yang lebih ringan dibanding udara. Alasannya, gas yang lebih berat daripada udara akan sulit untuk terdispersi sehingga apabila terjadi kebocoran maka gas tersebut akan berkumpul di bagian bawah. Hal ini berbahaya karena sumber ignisi banyak terdapat di bagian bawah. Sumber ignisi tersebut dapat menyebabkan kebakaran dan atau ledakan pada gas yang terakumulasi di ruangan.

Berdasarkan hasil simulasi kebocoran tabung pentana 6 kg didapatkan hasil seperti yang terlihat pada gambar 5.9. Saat pertama kali lepas ke atmosfer, konsentrasi pentana sangat rendah yaitu, berada pada 0,001 ppm di titik 1,5 meter dari sumber kebocoran. Jumlah ini masih berada pada konsentrasi aman karena jauh di bawah nilai LoC. Kemudian

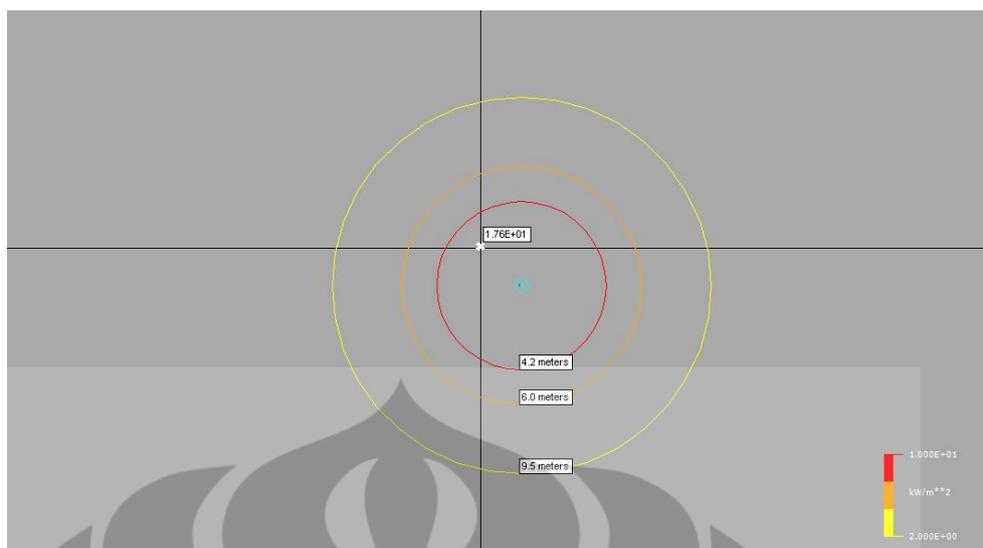
secara perlahan konsentrasi tersebut bergerak naik dan mencapai puncaknya pada jarak 18 meter dari titik kebocoran dengan konsentrasi sebesar 200 ppm. Pada titik 12-23 meter, dispersi toksik pentana berada pada zona hijau dengan konsentrasi berkisar antara 100-200 ppm. Kemudian, konsentrasi pentana bergerak turun.

b. Kebakaran (*Fire*)

Seluruh data zat, tabung, atmosfer, dan skenario kebocoran di-*input* kedalam BREEZE *Incident Analyst*. Pada penelitian ini, kebocoran gas pentana yang dicairkan di dalam tabung tersebut disimulasikan dapat menimbulkan BLEVE. Penyerapan panas menyebabkan pendidihan dan peningkatan dari tekanan internal, yang berhubungan dengan penurunan ketahanan permukaan logam karena peningkatan temperatur sehingga menghasilkan kerusakan wadah. Akibat peristiwa ini, tabung mengalami kebocoran sebesar 1 mm.

Tabung pentana ukuran 6 kg memiliki volum sebesar 0,014 m³. Pada penelitian ini, diasumsikan bahwa total volum tersebut merupakan *flammable mass* yang terlibat pada kejadian BLEVE dari zat pentana. Angka ini kemudian di-*input* ke dalam piranti lunak. Setelah di-*run*, maka didapatkan jangkauan dari radiasi panas akibat kejadian BLEVE yang dibagi menjadi tiga *Level of Concern* (LoC).

Berikut adalah hasil simulasi dari BLEVE yang menimbulkan radiasi panas (*thermal radiation*):



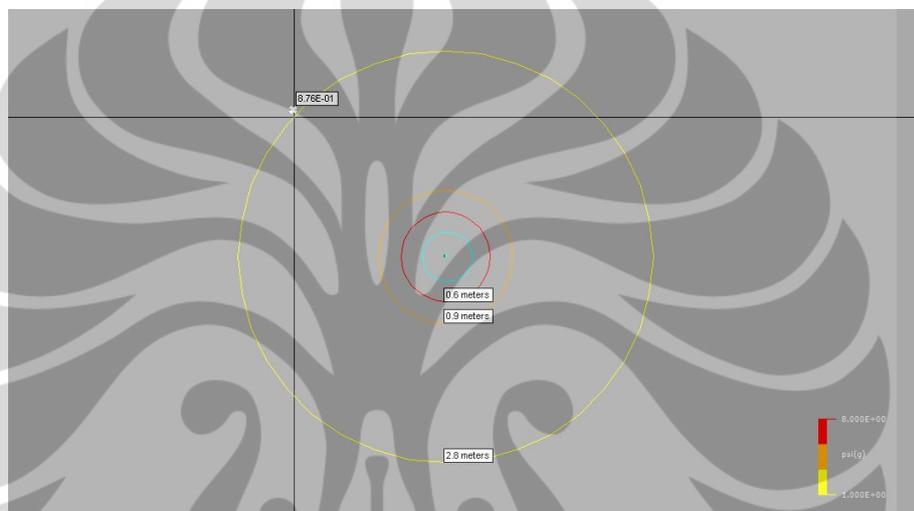
Gambar 5.13 Hasil Simulasi Kebakaran (*Thermal Radiation*) Tabung Pentana 6 kg dalam Format Peta

Tabung propana ukuran 6 kg memiliki volum sebesar 0,014 m³. Volum tersebut diasumsikan merupakan *flammable mass* dari zat propane yang terlibat dalam kejadian BLEVE. Kebocoran tabung pentana 6 kg menimbulkan kejadian BLEVE dengan efek radiasi panas seperti yang tergambar pada peta. Pada gambar 5.10, daerah kuning dengan radiasi panas sebesar 2 kW/m² mencapai hingga jarak 9,5 meter dari sumber kejadian. Jika terpajan panas pada daerah ini, manusia dapat mengalami rasa sakit akibat radiasi panas. Daerah oranye dengan radiasi panas sebesar 5 kW/m², tergambar hingga jarak 6 meter. Pada radius ini, manusia yang terpajan dalam waktu 60 detik dapat mengalami luka bakar tingkat dua. Daerah paling bahaya digambarkan pada daerah merah, yaitu sejauh 4,2 meter dari sumber kejadian. Dengan radiasi panas sebesar 10 kW/m² pada daerah ini, efek mematikan dapat timbul jika terpajan dalam waktu 60 detik. Dari hasil pemodelan, daerah paling jauh yang terkena dampak kejadian ialah 9,5 meter. Pada radius ini, kebakaran akibat kebocoran pentana mengancam sekitar 49 orang.

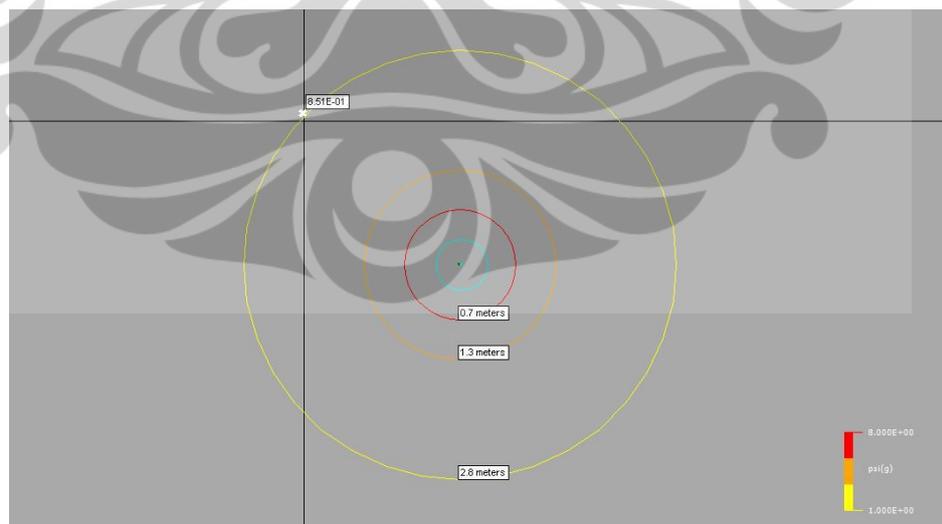
c. Ledakan (*Explosion*)

Seluruh data zat, tabung, atmosfer, dan skenario kebocoran di-input ke dalam BREEZE *Incident Analyst*. Kejadian kebocoran tabung propana 6 kg disimulasikan berupa *single vapor cloud* dengan pendekatan U.S. Army TNT *Equivalency*, % yield of TNT sebesar 3%, dan *explosion height* 3 meter. Tabung pentana ukuran 6 kg dengan kapasitas 80% dari volume seluruhnya menghasilkan *flammable mass* sebesar 0,014 m³.

Berikut adalah hasil simulasi ledakan yang menimbulkan *free air explosion overpressure* dan *surface explosion overpressure*.



Gambar 5.14 Hasil Simulasi *Free Air Explosion Overpressure* Tabung Pentana 6 kg dalam Format Peta



Gambar 5.15 Hasil Simulasi *Surface Explosion Overpressure* Tabung Pentana 6 kg dalam Format Peta

Simulasi ledakan akibat kebocoran tabung pentana ukuran 6 kg dimodelkan menggunakan pendekatan U.S. Army TNT *Equivalency*. Pada penelitian ini ledakan disimulasikan dengan % yield of TNT sebesar 3% (3-5 % *based on experience*) (Gugan, 1978 in Bjerketvedt, D., Bakke and Wingerden, 1997), *explosion height* 3 meter dengan asumsi tinggi ledakan tabung setara dengan tinggi rumah pada umumnya.

Berdasarkan hasil simulasi BREEZE *Incident Analyst*, jangkauan ledakan ke udara bebas (*free air explosion overpressure*) zona *level of concern* rendah (1 psi) mencapai 2,8 meter, zona *level of concern* menengah (3,5 psi) mencapai 0,9 meter, dan zona paling berbahaya dengan *level of concern* tinggi (8 psi) menjangkau titik 0,6 meter dari sumber kejadian. Sedangkan, jangkauan ledakan permukaan (*surface explosion*) zona *level of concern* rendah (1 psi) mencapai 2,8 meter, zona *level of concern* menengah (3,5 psi) menjangkau hingga 1,3 meter. Daerah paling berbahaya dengan *level of concern* tinggi (8 psi) untuk jenis ledakan di permukaan pada simulasi ini menjangkau hingga radius 0,7 meter dari sumber kejadian. Dari hasil pemodelan, daerah paling jauh yang terkena dampak kejadian ialah 2,8 meter. Pada radius ini, ledakan akibat kebocoran pentana mengancam sekitar 12 orang.

5.5 Simulasi Skenario Heksana

Pada Tanggal 02 Mei 2012 pukul 14.52 telah terjadi kebocoran tabung heksana ukuran 6 kg di Kalianyar, Jakarta Barat. Saat terjadi kebocoran, tabung berisi 80% ($0,014 \text{ m}^3$) dari kapasitas keseluruhannya sebesar $0,018 \text{ m}^3$. Kebocoran disimulasikan berukuran 1 mm dan berada di dasar tabung. Pemilihan skenario ini didasari karena tabung yang diletakkan di bagian bawah dan dekat dengan lokasi kegiatan mencuci rentan terjadi kebocoran di bagian bawah tabung. Pada saat kejadian, diasumsikan kondisi atmosfer sesuai dengan parameter yang dijelaskan sebelumnya. Berdasarkan hasil dari keluaran BREEZE *Incident Analyst*, zat heksana memiliki karakteristik sebagai berikut:

- *Molecular weight* : 86,17 g/g-mole
- *Boiling point* : 341,9 K
- *Critical temperature* : 508,3 K
- *Critical pressure* : 29,9 atm
- *Critical volume* : 370 cm³/g-mol
- *Liquid heat capacity* : 2265 J/kg-K
- *Heat of vaporization* : 335.000 J/kg
- *Flammable*

Hasil dari pemodelan tersebut ialah sebagai berikut.

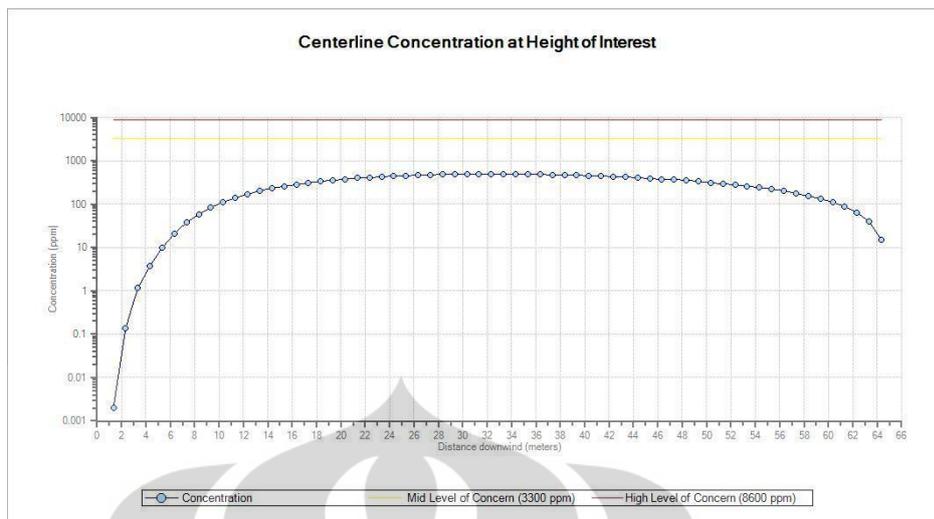
a. Dispersi Toksik (*Toxic Dispersion*)

Seluruh data zat, tabung, atmosfer, dan skenario kebocoran di-*input* ke dalam BREEZE *Incident Analyst*. *Receptor height* untuk pemodelan dispersi toksik diasumsikan setara dengan tinggi pernafasan manusia yaitu 1,5 meter (Trinity Consultants, 2004). Piranti lunak ini akan memberikan rekomendasi jenis pemodelan dispersi toksik untuk zat heksana yaitu, DEGADIS (*Dense Gas Dispersion*). Tahap selanjutnya ialah, memasukkan data *emission rate* sebesar 0,004 kg/s.

Level of Concern (LoC) toksik dari zat heksana dijabarkan sebagai berikut:

- AEGL 1 – hijau: N/A
- AEGL 2 – kuning: 3300 ppm
- AEGL 3 – merah: 8600 ppm

BREEZE *Incident Analyst* tidak dapat menggambarkan *Level of Concern* (LoC) toksik dari heksana dalam bentuk peta. Hasil simulasi dispersi toksik dari heksana hanya dapat digambarkan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



Gambar 5.16 Grafik Dispersi Toksik Heksana

Pada penelitian ini, BREEZE Incident Analyst merekomendasikan jenis pemodelan dispersi toksik untuk zat heksana ialah DEGADIS (*Dense Gas Dispersion*). Hal ini dikarenakan heksana merupakan zat yang lebih berat dari udara (3 kali berat udara). Tipe dispersi gas yang lebih berat dari udara seperti DEGADIS, lebih berbahaya apabila terjadi dibandingkan dengan dispersi gas yang lebih ringan dibanding udara. Alasannya, gas yang lebih berat daripada udara akan sulit untuk terdispersi sehingga apabila terjadi kebocoran maka gas tersebut akan berkumpul di bagian bawah. Hal ini berbahaya karena sumber ignisi banyak terdapat di bagian bawah. Sumber ignisi tersebut dapat menyebabkan kebakaran dan atau ledakan pada gas yang terakumulasi di ruangan.

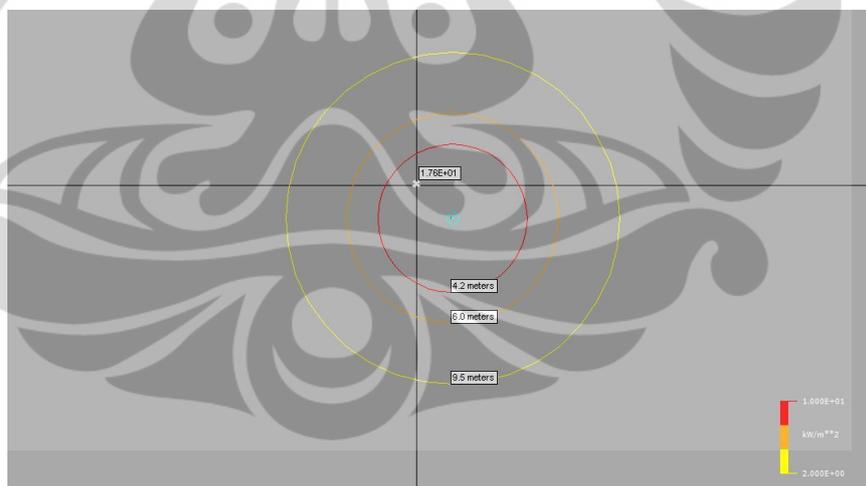
Berdasarkan gambar 5,13 konsentrasi dari dispersi toksik zat heksana akibat kebocoran tabung 6 kg tidak dikategorikan berbahaya bagi manusia. Hal ini dapat dilihat bahwa grafik pergerakan dispersi toksik heksana walaupun cenderung bergerak naik tetapi selalu di bawah LoC yang sudah ditentukan. Ketika pertama kali lepas ke atmosfer, konsentrasi heksana ialah 0,002 ppm pada jarak 1 meter dari sumber kebocoran. Kemudian, zat ini akan mencapai puncak dan secara perlahan bergerak turun.

b. Kebakaran (*Fire*)

Seluruh data zat, tabung, atmosfer, dan skenario kebocoran di-*input* kedalam *BREEZE Incident Analyst*. Pada penelitian ini, kebocoran gas heksana yang dicairkan di dalam tabung tersebut disimulasikan dapat menimbulkan BLEVE.. Kegagalan ini timbul karena penyebab eksternal (seperti kebakaran). Penyerapan panas menyebabkan pendidihan dan peningkatan dari tekanan internal, yang berhubungan dengan penurunan ketahanan permukaan logam karena peningkatan temperatur sehingga menghasilkan kerusakan wadah. Akibat peristiwa ini, tabung mengalami kebocoran sebesar 1 mm.

Tabung heksana ukuran 6 kg memiliki volum sebesar $0,014 \text{ m}^3$. Pada penelitian ini, diasumsikan bahwa total volum tersebut merupakan *flammable mass* yang terlibat pada kejadian BLEVE dari zat heksana. Angka ini kemudian di-*input* ke dalam piranti lunak. Setelah di-*run*, maka didapatkan jangkauan dari radiasi panas akibat kejadian BLEVE yang dibagi menjadi tiga *Level of Concern* (LoC).

Berikut adalah hasil simulasi dari BLEVE yang menimbulkan radiasi panas (*thermal radiation*):



Gambar 5.17 Hasil Simulasi Kebakaran (*Thermal Radiation*) Tabung Heksana 6 kg dalam Format Peta

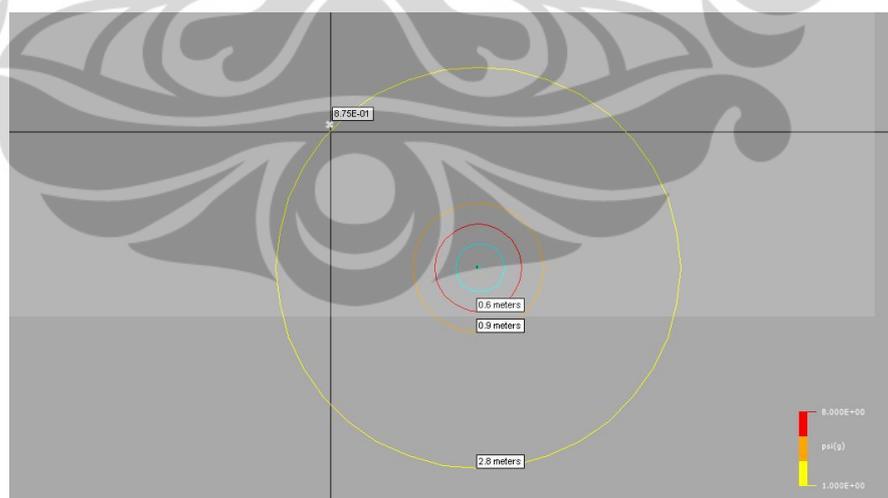
Kejadian BLEVE akibat kebocoran tabung heksana 6 kg menimbulkan radiasi panas yang cukup membahayakan bagi manusia.

Radiasi panas sebesar 10 kW/m², yang dapat menyebabkan kematian jika terpajan lebih dari 60 detik, tergambar hingga jarak 4,2 meter dari titik kejadian. Daerah berbahaya tingkat dua mencapai hingga jarak 6 meter. Daerah oranye ini, dapat menyebabkan luka bakar tingkat dua pada manusia jika terpajan selama 60 detik. Daerah kuning dengan radiasi panas sebesar 2 kw/m², mencapai jarak 9,5 meter. Pada daerah ini, manusia dapat merasakan sakit jika terpajan radiasi panas dalam waktu 60 detik. Dari hasil pemodelan, daerah paling jauh yang terkena dampak kejadian ialah 9,5 meter. Pada radius ini, kebakaran akibat kebocoran heksana mengancam sekitar 49 orang.

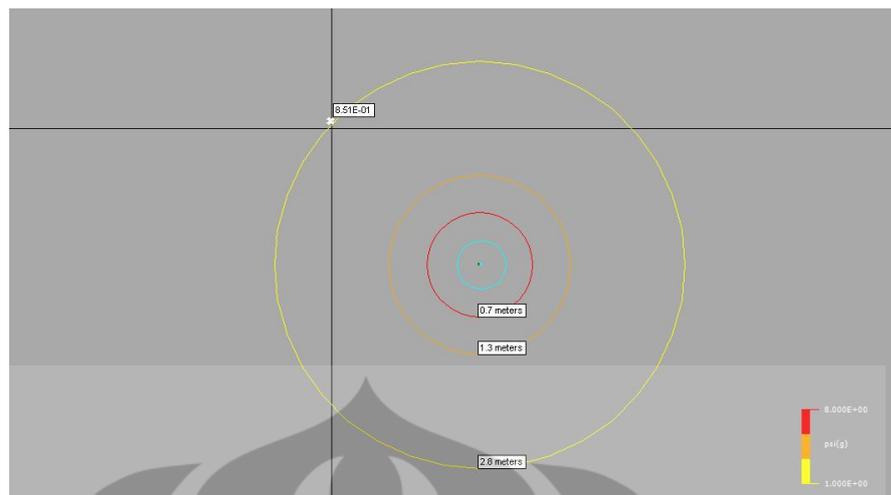
c. Ledakan (*Explosion*)

Seluruh data zat, tabung, atmosfer, dan skenario kebocoran di-*input* ke dalam BREEZE *Incident Analyst*. Kejadian kebocoran tabung heksana 6 kg disimulasikan berupa *single vapor cloud* dengan pendekatan U.S. Army TNT *Equivalency*, % yield of TNT sebesar 3%, dan *explosion height* 3 meter. Dengan ukuran tabung 6 kg, zat heksana menghasilkan *flammable mass* sebesar 0,014 m³.

Berikut adalah hasil simulasi ledakan yang menimbulkan *free air explosion overpressure* dan *surface explosion overpressure*.



Gambar 5.18 Hasil Simulasi *Free Air Explosion Overpressure* Tabung Heksana 6 kg dalam Format Peta



Gambar 5.19 Hasil Simulasi *Surface Explosion Overpressure* Tabung Heksana 6 kg dalam Format Peta

Tabung heksana ukuran 6 kg memiliki volum sebesar 0,014 m³. Volum tersebut diasumsikan merupakan *flammable mass* dari zat heksana yang terlibat dalam kejadian ledakan. Simulasi ledakan akibat kebocoran tabung heksana ukuran 6 kg dimodelkan menggunakan pendekatan U.S. Army TNT *Equivalency*. Pada penelitian ini ledakan disimulasikan dengan % yield of TNT sebesar 3% (3-5 % *based on experience*) (Gugan, 1978 in Bjerketvedt, D., Bakke and Wingerden, 1997), *explosion height* 3 meter dengan asumsi tinggi ledakan tabung setara dengan tinggi rumah pada umumnya.

Berdasarkan hasil simulasi BREEZE Incident Analyst, jangkauan ledakan ke udara bebas (*free air explosion overpressure*) zona *level of concern* rendah (1 psi) mencapai 2,8 meter, zona *level of concern* menengah (3,5 psi) mencapai 0,9 meter, dan zona paling berbahaya dengan *level of concern* tinggi (8 psi) menjangkau titik 0,6 meter dari sumber kejadian. Sedangkan, jangkauan ledakan permukaan (*surface explosion*) zona *level of concern* rendah (1 psi) mencapai 2,8 meter, zona *level of concern* menengah (3,5 psi) menjangkau hingga 1,3 meter. Daerah paling berbahaya dengan *level of concern* tinggi (8 psi) untuk jenis ledakan di permukaan pada simulasi ini menjangkau hingga radius 0,7 meter dari sumber kejadian. Dari hasil pemodelan, daerah paling jauh yang terkena

dampak kejadian ialah 2,8 meter. Pada radius ini, ledakan akibat kebocoran propana mengancam sekitar 12 orang.



BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. Simulasi kebocoran tabung propane, butane, pentane, dan heksana ukuran 6 kg disimulasikan dengan pemodelan *Dense Gas Dispersion* (DEGADIS). Kebocoran tabung yang menimbulkan kejadian dispersi toksik secara keseluruhan tidak berbahaya bagi kesehatan manusia. Konsentrasi pelepasan zat yang ada di udara dengan *receptor height* setinggi 1,5 meter selalu berada di bawah *Level of Concern* yang di tentukan
2. Skenario kebocoran tabung propana ukuran 6 kg disimulasikan dapat menimbulkan kejadian BLEVE. Jarak aman kejadian ini ialah daerah berjarak lebih dari 9,6 meter (*flammable mass* 0,014 m³) dari sumber kejadian.
3. Skenario kebocoran tabung propane ukuran 6 kg disimulasikan dapat menimbulkan ledakan berupa *single vapor cloud* dengan pendekatan U.S. Army TNT *Equivalency*. Berdasarkan simulasi ini didapatkan jarak aman untuk dua jenis ledakan yaitu *free air explosion overpressure* dan *surface explosion overpressure*. Jarak aman dari titik kejadian untuk ledakan dari ialah lebih dari 2,8 meter (*free air explosion overpressure*) dan lebih dari 2,9 meter (*surface explosion overpressure*)
4. Skenario kebocoran tabung butana ukuran 6 kg disimulasikan dapat menimbulkan kejadian BLEVE. Jarak aman kejadian ini ialah daerah berjarak lebih dari 9,6 meter dari sumber kejadian.
5. Skenario kebocoran tabung butana ukuran 6 kg disimulasikan dapat menimbulkan ledakan berupa *single vapor cloud* dengan pendekatan U.S. Army TNT *Equivalency*. Berdasarkan simulasi ini didapatkan jarak aman untuk dua jenis ledakan yaitu *free air explosion overpressure* dan *surface explosion overpressure*. Jarak aman dari titik kejadian untuk ledakan ialah lebih dari 2,8 meter (*free air explosion*

6. *overpressure*) dan lebih dari 2,9 meter (*surface explosion overpressure*)
7. Skenario kebocoran tabung pentana ukuran 6 kg disimulasikan dapat menimbulkan kejadian BLEVE. Jarak aman kejadian ini ialah daerah berjarak lebih dari 9,5 meter (*flammable mass* 0,014 m³) dari sumber kejadian.
8. Skenario kebocoran tabung pentana ukuran 6 kg disimulasikan dapat menimbulkan ledakan berupa *single vapor cloud* dengan pendekatan U.S. Army TNT *Equivalency*. Berdasarkan simulasi ini didapatkan jarak aman untuk dua jenis ledakan yaitu *free air explosion overpressure* dan *surface explosion overpressure*. Jarak aman dari titik kejadian untuk ledakan ialah lebih dari 2,8 meter (*free air* dan *surface explosion overpressure*).
9. Skenario kebocoran tabung heksana ukuran 6 kg disimulasikan dapat menimbulkan kejadian BLEVE.. Jarak aman kejadian ini ialah daerah berjarak lebih dari 9,5 meter (*flammable mass* 0,014 m³) dari sumber kejadian.
10. Skenario kebocoran tabung pentana ukuran 6 kg disimulasikan dapat menimbulkan ledakan berupa *single vapor cloud* dengan pendekatan U.S. Army TNT *Equivalency*. Berdasarkan simulasi ini didapatkan jarak aman untuk dua jenis ledakan yaitu *free air explosion overpressure* dan *surface explosion overpressure*. Jarak aman dari titik kejadian untuk ledakan ialah lebih dari 2,8 meter (*free air* dan *surface explosion overpressure*).

6.2 Saran

1. Perusahaan yang bertugas dalam pembuatan dan penanganan tabung GPC harus memperhatikan aspek K3 untuk menghindari kebocoran pada tabung.
2. Masyarakat harus diinformasikan mengenai informasi keselamatan dan kesehatan GPC, baik tabung maupun zat yang terkandung di

dalamnya. Dengan demikian, masyarakat sebagai pengguna GPC diharapkan dapat berhati-hati dalam penggunaan produk tersebut.

3. Masyarakat perlu diinformasikan mengenai upaya penanganan apabila terjadi kebocoran tabung GPC sehingga kemungkinan kejadian seperti yang disimulasikan pada penelitian ini dapat dihindari.
4. Tabung tidak diletakkan di bagian bawah/lantai untuk mengurangi kemungkinan terjadi korosi pada tabung. Jika tidak memungkinkan, tabung diberikan alas sehingga tidak bersentuhan langsung dengan lantai
5. Masyarakat sebagai pengguna tabung bahan bakar harus memeriksa kembali kondisi tabung sebelum digunakan. Hal ini untuk memastikan tidak terdapat kebocoran pada tabung. Pemeriksaan dapat dilakukan dengan merendam badan tabung di dalam air, jika terdapat gelembung udara di dalam air, maka tabung tersebut terindikasi bocor.
6. Sistem sirkulasi udara di rumah penduduk harus baik. Terdapat lubang/ventilasi udara di dekat peletakkan tabung. Dengan demikian, apabila terjadi kebocoran, gas dari bahan bakar tidak terakumulasi di dalam ruangan. Hal ini untuk menghindari terbentuknya awan uap di dalam rumah
7. Jika tabung bocor ketika sedang digunakan dan kejadian ini segera diketahui oleh pengguna, hal yang bisa dilakukan ialah membawa tabung yang ditutup dengan kain/handuk/karung goni basah ke daerah terbuka. Hal ini untuk menghindari akumulasi gas di ruang tertutup. Sedangkan, penggunaan kain/handuk/karung goni basah sebagai penutup tabung untuk menghindari kontak antara tabung yang bocor dengan sumber ignisi selama dibawa ke ruang terbuka
8. Masyarakat sebagai konsumen juga perlu diberikan pengetahuan mengenai cara penanganan yang sesuai apabila kejadian kebakaran dan ledakan sudah terjadi. Hal ini berfungsi untuk menurunkan tingkat risiko akibat kejadian tersebut.
9. Masyarakat diberikan pengetahuan mengenai penggunaan karung basah untuk mengatasi kebakaran kecil yang sudah terjadi. Selain itu,

apabila sudah terjadi kebakaran, kejadian tersebut perlu dilokalisasi agar tidak menyebar ke rumah lainnya. Tindakan yang dapat dilakukan ialah dengan mendinginkan/menyiram dengan air daerah/tempat di sekitar lokasi kejadian kebakaran

10. Mematikan aliran listrik apabila terjadi kebocoran tabung
11. Daerah paling berbahaya akibat kejadian ledakan berdasarkan hasil pemodelan ialah pada jarak kurang dari 1 meter dari titik kejadian. Sehingga, untuk mengurangi efek akibat kejadian fatal dari kejadian ledakan, masyarakat dihimbau untuk tidak melakukan aktivitas selain memasak pada jarak tersebut
12. Masyarakat sudah siap dan sigap jika terjadi kebakaran atau ledakan. Masyarakat perlu mengetahui pemadam kebakaran dan rumah sakit terdekat yang harus dihubungi
13. Memberikan pelatihan berkala mengenai informasi penggunaan tabung GPC, penanganan bila terjadi kebocoran tabung, penanganan jika terjadi kebakaran dan ledakan. Pelatihan akan lebih efektif dan efisien jika melibatkan para ibu rumah tangga sebagai pengguna utama dari tabung tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Ant 2006, *Pertamina Ujicoba Temuan Energi Alternatif Pengganti Minyak Tanah*. Tersedia pada: <http://www.suarakarya-online.com/news.html?id=136280> [Diakses 05 Maret 2012]
- Assael, M. J. & Kakosimos, K. E. 2010. *Fires, Explosions and Toxic Gas Dispersions: Effect Calculation and Risk Analysis*, New York, CRC Press.
- Badan Standardisasi Nasional 2007, *Tabung Baja LPG*. Standar Nasional Indonesia No. 7784_SNI 1452_2007. Jakarta.
- Bjerketvedt, D., J.R. Bakke & K.V. Wingerden. 1997. Gas Explosion Handbook. *Journal of Hazardous Material*, 52, 1-150.
- CCPS 1994, *Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash. Fires, and BLEVEs*. New York: American Institute of Chemical Engineers
- Environmental Protection Agency dan National Oceanic and Atmospheric Administration 1997, *ALOHA USER'S MANUAL*, EPA dan NOAA, Washington
- ESDM 2010, *Konversi Minyak Tanah ke LPG Menggerakkan Perekonomian Menghemat Energi*. <Tersedia pada: <http://www.esdm.go.id/berita/artikel/56-artikel/4011-konversi-minyak-tanah-ke-lpg-menggerakkan-perekonomian-menghemat-energi.html>> [Diakses 17 Maret 2012]
- Hansen, Olav R. 2010, 'Using computational fluid dynamics (CFD) for blast wave predictions', *Journal of Loss Prevention in the Process Industry*, vol. 23, pp. 885-906. Tersedia pada: Elsevier. [Diakses 24 April 2012]

Johnson, Bryan 1998, *Simple Gas Dispersion Models for Fireground Use*.

Tersedia pada:

<<http://www.nationalarchives.gov.uk/erorecords/ho/4212/fepd/frn/frn19/frn6.htm>>

Kementerian BUMN 2006, *Pertamina akan Impor Elpiji 3,7 Juta Ton*. Tersedia

pada: <<http://www.bumn.go.id/23045/publikasi/berita/pertamina-akan-impor-elpiji-37-juta-ton/>> [Diakses 19 Maret 2012]

Macdonald, Robert 2003, *Theory and Objectives of Air Dispersion Modelling*.

Tersedia pada:

<<http://www.deq.state.ok.us/LPDnew/saratitleiii/AlohaTrainingManuals/Theory%20and%20Objectives%20of%20Air%20Dispersion%20Modelling.pdf>> [Diakses: 14 Maret 2012]

Maharani, Esthi 2011, *Kalianyar Terpadat Se-DKI*. Tersedia Pada

<http://www.republika.co.id/berita/breaking-news/metropolitan/11/01/13/158088--kalianyar-terpadat-se-dki> [Diakses 27 Februari 2012]

NFPA 2012, *FAQ/facts and lore*. Tersedia pada:

<http://www.nfpa.org/itemDetail.asp?categoryID=266&itemID=18935&URL=Research/Charles%20S.%20Morgan%20Library/FAQ/facts%20and%20lore&cookie_test=1#3> [Diakses 10 Maret 2012]

NIOSH. 2007. *NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazard*. National Institute on Occupational Safety and Health.

Nolan, Dennis P. 1996, *Handbook Of Fire And Explosion Protection Engineering Principles For Oil, Gas, Chemical, And Related Facilities*. New Jersey: Noyes Publications.

Nurismarsyah, Akhmad 2011, *ESDM: RI Bukan Negara yang Kaya Sumber Energi*. Tersedia pada:

<http://us.finance.detik.com/read/2011/10/13/120847/1743168/1034/esdm-ri-bukan-negara-yang-kaya-sumber-energi> [Diakses 17 Maret 2012]

Pertamina 2005, *Gasified Petroleum Condensate-Pertamina Perkenalkan Prototip Bahan Bakar Baru*. Tersedia pada:
 <<http://www.pertamina.com/index.php/detail/view/arsip/2344/gasified-petroleum-condensate-pertamina-perkenalkan-prototip-bahan-bakar-baru>>
 [Diakses 19 Maret 2012]

Ramli, Soehatman. 2007. *Petunjuk Praktis Manajemen Kebakaran (Fire Management)*. Jakarta: Dian Rakyat.

RM 2010, 2008-2010, *Gas 3 Kg Meledak 270 Kali*. Tersedia pada:
<http://www.rakyatmerdekaonline.com/news.php?id=4407> [Diakses 27 Februari 2012]

RM 2011, *Panja Elpiji Leha-leha Bekerja Sampai Mei*. Tersedia pada:
<http://www.rakyatmerdekaonline.com/news.php?id=23208> [Diakses 27 Februari 2012]

Tixier, J., dkk 2002, 'OSIRIS: software for consequence evaluation of transportation of dangerous goods accidents', *Environmental Modelling & Software*, vol. 2, pp. 227-237. Tersedia pada: Elsevier. [24 April 2012]

Trinity Consultants 2004, 'Applying Proper Dispersion Models for Industrial Accidental Release', *Dipresentasikan pada The 2004 awma annual conference*, pp. 1-21. Tersedia pada:
trinityconsultants.com/WorkArea/DownloadAsset.aspx?id=1266. [Diakses 19 Maret 2012]

Trinity Consultants 2012, *Incident Analyst*. Tersedia pada:
 <<http://www.BREEZE-software.com/incidentanalyst>>. [Diakses 15 Maret 2012]

Wahyuni, Alih Istik 2007, *Pertamina akan Impor LPG 4 Juta Ton 2010*. Tersedia pada:

<http://finance.detik.com/read/2007/04/27/144315/773531/4/pertamina-akan-impor-lpg-4-juta-ton-2010> [Diakses 17 Maret 2012]





International Chemical Safety Cards

PROPANE

ICSC:
0319

  C_3H_8 / $CH_3CH_2CH_3$ Molecular mass: 44.1 (cylinder)			
ICSC # 0319 CAS # 74-98-6 RTECS # TX2275000 UN # 1978 EC # 601-003-00-5			
TYPES OF HAZARD/ EXPOSURE	ACUTE HAZARDS/ SYMPTOMS	PREVENTION	FIRST AID/ FIRE FIGHTING
FIRE	Extremely flammable.	NO open flames, NO sparks, and NO smoking.	Shut off supply; if not possible and no risk to surroundings, let the fire burn itself out; in other cases extinguish with water spray.
EXPLOSION	Gas/air mixtures are explosive.	Closed system, ventilation, explosion-proof electrical equipment and lighting. Prevent build-up of electrostatic charges (e.g., by grounding) if in liquid state. Use non-sparking handtools.	In case of fire: keep cylinder cool by spraying with water. Combat fire from a sheltered position.
EXPOSURE			

11/25/2008 11:04

•INHALATION	Simple asphyxiant.	Ventilation.	Fresh air, rest. Artificial respiration if indicated. Refer for medical attention.
•SKIN	ON CONTACT WITH LIQUID: FROSTBITE.	Cold-insulating gloves. Protective clothing.	ON FROSTBITE: rinse with plenty of water, do NOT remove clothes. Refer for medical attention.
•EYES	ON CONTACT WITH LIQUID: FROSTBITE.	Face shield.	First rinse with plenty of water for several minutes (remove contact lenses if easily possible), then take to a doctor.
•INGESTION			
SPILLAGE DISPOSAL		STORAGE	PACKAGING & LABELLING
Evacuate danger area! Consult an expert! Ventilation. NEVER direct water jet on liquid (extra personal protection: chemical suit with self-contained breathing apparatus).		Fireproof. Cool.	F+ symbol R: 12 S: 2-9-16 UN Hazard Class: 2.1
SEE IMPORTANT INFORMATION ON BACK			
ICSC: 0319		Prepared in the context of cooperation between the International Programme on Chemical Safety & the Commission of the European Communities (C) IPCS CEC 1999. No modifications to the International version have been made except to add the OSHA PELs, NIOSH RELs and NIOSH IDLH values.	

International Chemical Safety Cards

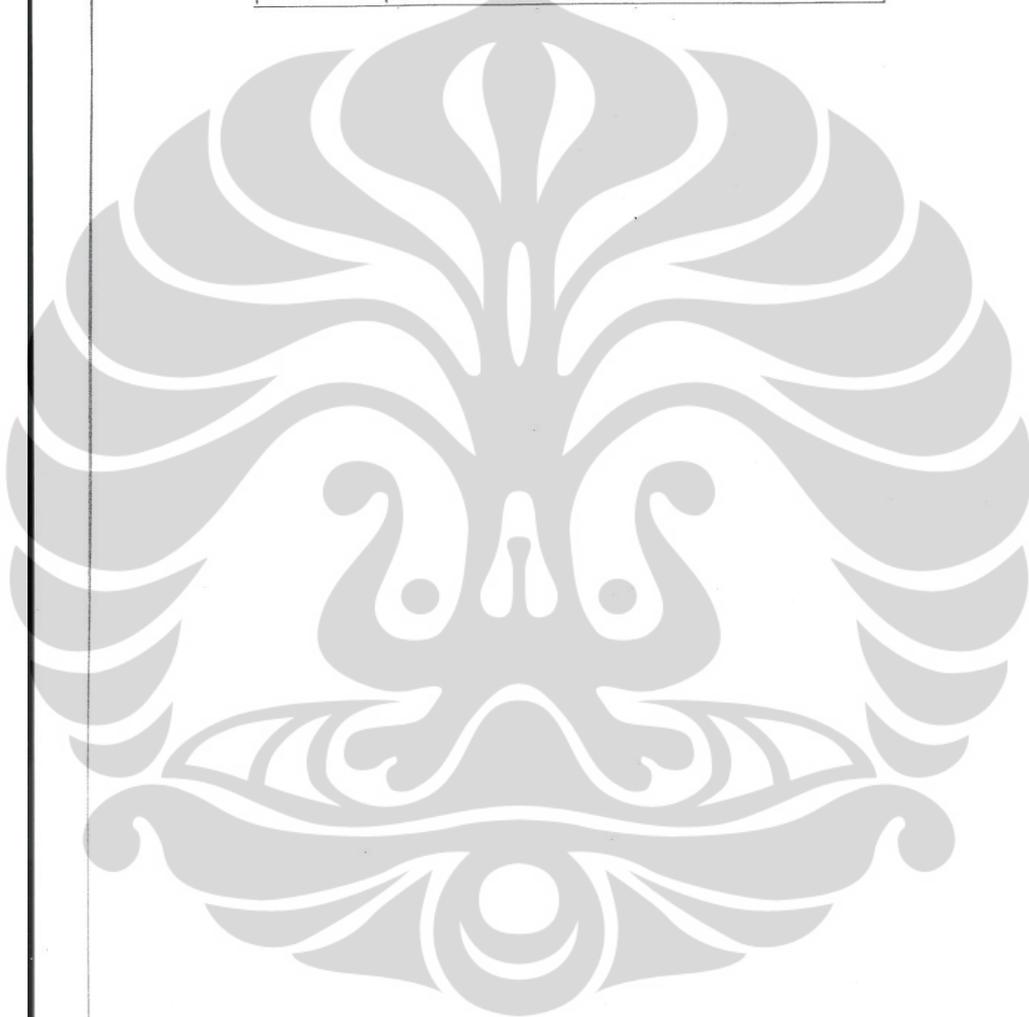
PROPANE

**ICSC:
0319**

I	PHYSICAL STATE;	ROUTES OF EXPOSURE:
M	APPEARANCE:	The substance can be absorbed
P	ODOURLESS, COLOURLESS	into the body by inhalation.
O	COMPRESSED LIQUEFIED	
R	GAS.	INHALATION RISK:
	PHYSICAL DANGERS:	On loss of containment this
	The gas is heavier than air and	liquid evaporates very quickly
	may travel along the ground;	causing supersaturation of the
	distant ignition possible, and	air with serious risk of
		suffocation when in confined

T A N T D A T A	<p>may accumulate in low ceiling spaces causing deficiency of oxygen. As a result of flow, agitation, etc., electrostatic charges can be generated.</p> <p>CHEMICAL DANGERS:</p> <p>OCCUPATIONAL EXPOSURE LIMITS: TLV (as): ppm; mg/m³ simple asphyxiant (ACGIH 1995-1996). MAK: 1000 ppm; 1800 mg/m³; IV (1993). OSHA PEL: TWA 1000 ppm (1800 mg/m³) NIOSH REL: TWA 1000 ppm (1800 mg/m³) NIOSH IDLH: 2100 ppm LEL</p>	<p>areas.</p> <p>EFFECTS OF SHORT-TERM EXPOSURE: Rapid evaporation of the liquid may cause frostbite.</p> <p>EFFECTS OF LONG-TERM OR REPEATED EXPOSURE:</p>
	<p>PHYSICAL PROPERTIES</p> <p>Boiling point: -42°C Melting point: -189°C Solubility in water, ml/100 ml at 18°C: 6.5 Relative vapour density (air = 1): 1.6</p>	<p>Flash point: Flammable Gas Auto-ignition temperature: 450°C Explosive limits, vol% in air: 2.1-9.5</p>
ENVIRONMENTAL DATA		
NOTES		
<p>High concentrations in the air cause a deficiency of oxygen with the risk of unconsciousness or death. Check oxygen content before entering area. Turn leaking cylinder with the leak up to prevent escape of gas in liquid state.</p> <p style="text-align: right;">Transport Emergency Card: TEC (R)-27A NFPA Code: H1; F4; R0</p>		
ADDITIONAL INFORMATION		
<p>ICSC: 0319 PROPANE</p> <p style="text-align: center;">(C) IPCS, CEC, 1999</p>		
IMPORTANT LEGAL NOTICE:	<p>Neither NIOSH, the CEC or the IPCS nor any person acting on behalf of NIOSH, the CEC or the IPCS is responsible for the use which might be made of this information. This card contains the collective views of the IPCS Peer Review Committee and may not reflect in all cases all the detailed requirements included in national legislation on the</p>	

subject. The user should verify compliance of the cards with the relevant legislation in the country of use. The only modifications made to produce the U.S. version is inclusion of the OSHA PELs, NIOSH RELs and NIOSH IDLH values.



11/25/2008 11:04

International Chemical Safety Cards

BUTANE (LIQUIFIED GAS)

ICSC:
0232








National Institute for
Occupational Safety and Health

Normal butane (liquified gas)
C₄H₁₀
Molecular mass: 58.1
(cylinder)

ICSC # 0232
CAS # 106-97-8
RTECS # EJ4200000
UN # 1011
EC # 601-004-00-0



TYPES OF HAZARD/ EXPOSURE	ACUTE HAZARDS/ SYMPTOMS	PREVENTION	FIRST AID/ FIRE FIGHTING
FIRE	Extremely flammable.	NO open flames, NO sparks, and NO smoking.	Shut off supply; if not possible and no risk to surroundings, let the fire burn itself out; in other cases extinguish with powder, carbon dioxide.
EXPLOSION	Gas/air mixtures are explosive.	Closed system, ventilation, explosion-proof electrical equipment and lighting. Prevent build-up of electrostatic charges (e.g., by grounding) if in liquid state.	In case of fire: keep cylinder cool by spraying with water. Combat fire from a sheltered position.
EXPOSURE			

•INHALATION	Drowsiness.	Ventilation, local exhaust, or breathing protection.	Fresh air, rest. Artificial respiration if indicated. Refer for medical attention.
•SKIN	ON CONTACT WITH LIQUID: FROSTBITE.	Cold-insulating gloves. Protective clothing.	ON FROSTBITE: rinse with plenty of water, do NOT remove clothes. Refer for medical attention.
•EYES	ON CONTACT WITH LIQUID: FROSTBITE.	Face shield.	First rinse with plenty of water for several minutes (remove contact lenses if easily possible), then take to a doctor.
•INGESTION			
SPILLAGE DISPOSAL		STORAGE	PACKAGING & LABELLING
Evacuate danger area! Consult an expert! Ventilation. NEVER direct water jet on liquid (extra personal protection: self-contained breathing apparatus).		Fireproof. Cool.	Note: C F symbol R: 12 S: 2-9-16-33 UN Hazard Class: 2.1 UN Subsidiary Risks:
SEE IMPORTANT INFORMATION ON BACK			
ICSC: 0232		Prepared in the context of cooperation between the International Programme on Chemical Safety & the Commission of the European Communities (C) IPCS CEC 1998. No modifications to the International version have been made except to add the OSHA PELs, NIOSH RELs and NIOSH IDLH values.	

International Chemical Safety Cards

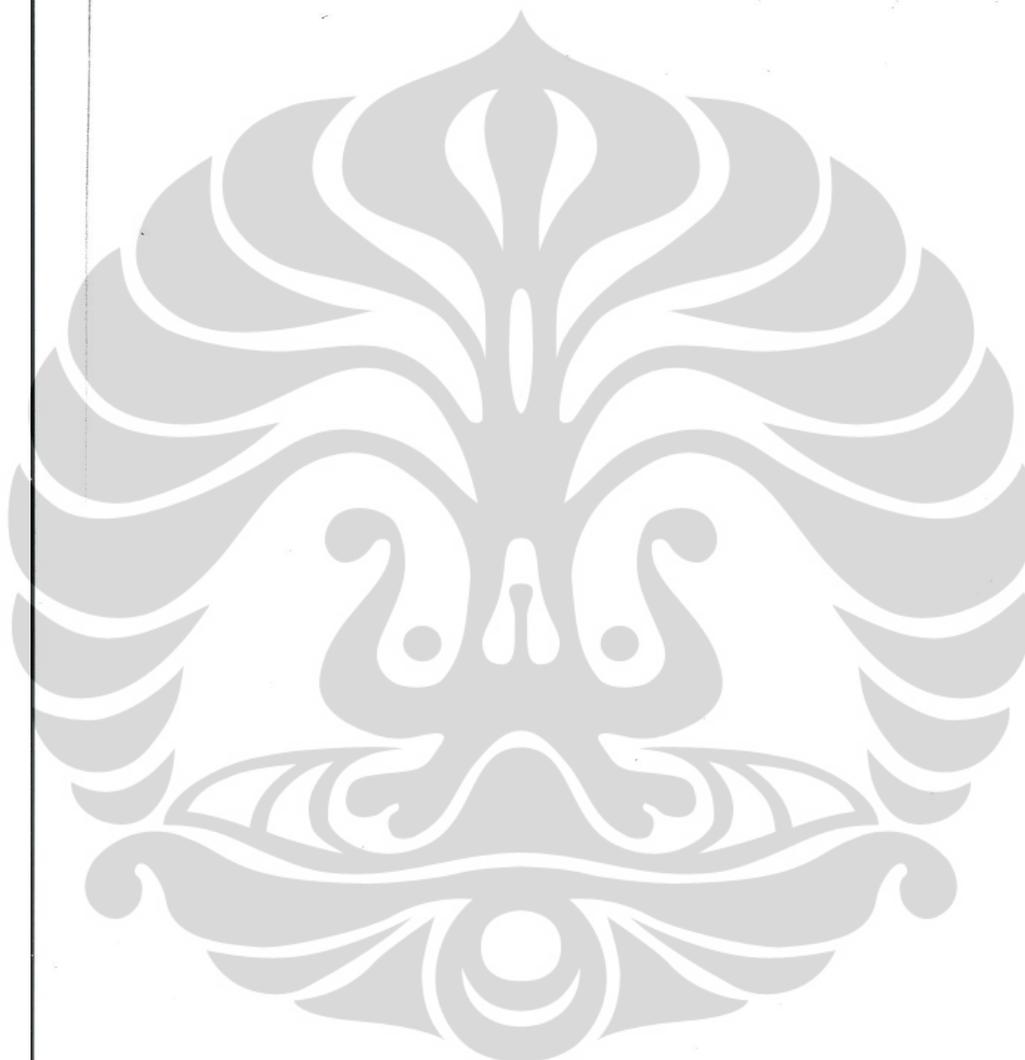
BUTANE (LIQUIFIED GAS)

ICSC:
0232

I	PHYSICAL STATE;	ROUTES OF EXPOSURE:
M	APPEARANCE:	The substance can be absorbed into the body by inhalation.
P	ODOURLESS COLOURLESS COMPRESSED LIQUEFIED GAS.	INHALATION RISK:
O	PHYSICAL DANGERS:	A harmful concentration of this gas in the air will be reached very quickly on loss of containment.
R	The gas is heavier than air and may travel along the ground; distant ignition possible, and may accumulate in low ceiling	EFFECTS OF
T		

A N T D A T A	spaces causing deficiency of oxygen.	SHORT-TERM EXPOSURE: The liquid may cause frostbite.
	CHEMICAL DANGERS:	EFFECTS OF LONG-TERM OR REPEATED EXPOSURE:
	OCCUPATIONAL EXPOSURE LIMITS: TLV: 800 ppm; 1900 mg/m ³ (ACGIH 1996). MAK: 1000 ppm; 2350 mg/m ³ ; (1993). OSHA PEL: none NIOSH REL: TWA 800 ppm (1900 mg/m ³) NIOSH IDLH: No data	
PHYSICAL PROPERTIES	Boiling point: -1°C Melting point: -138°C Relative density (water = 1): 0.6 Solubility in water, ml/100 ml at 20°C: 3.25 Vapour pressure, kPa at 21.1°C: 213.7	Relative vapour density (air = 1): 2.1 Flash point: Flammable Gas Auto-ignition temperature: 287°C Explosive limits, vol% in air: 1.8-8.4
ENVIRONMENTAL DATA		
NOTES		
High concentrations in the air cause a deficiency of oxygen with the risk of unconsciousness or death. Check oxygen content before entering area. Turn leaking cylinder with the leak up to prevent escape of gas in liquid state. The measures mentioned in section PREVENTION are applicable to production, filling of cylinders, and storage of the gas.		
Transport Emergency Card: TEC (R)-27b NFPA Code: H1; F4; R0;		
ADDITIONAL INFORMATION		
ICSC: 0232	BUTANE (LIQUIFIED GAS)	
(C) IPCS, CEC, 1998		
IMPORTANT LEGAL NOTICE:	Neither NIOSH, the CEC or the IPCS nor any person acting on behalf of NIOSH, the CEC or the IPCS is responsible for the use which might be made of this information. This card contains the collective views of the IPCS Peer Review Committee and may not reflect in all cases all the detailed requirements included in national legislation on the subject. The user should verify compliance of the cards with the	

relevant legislation in the country of use. The only modifications made to produce the U.S. version is inclusion of the OSHA PELs, NIOSH RELs and NIOSH IDLH values.



International Chemical Safety Cards

n-PENTANE

ICSC:
0534



UNEP



National Institute for
Occupational Safety and Health

Amyl hydride
C₅H₁₂ / CH₃(CH₂)₃CH₃
Molecular mass: 72.2

ICSC # 0534
CAS # 109-66-0
RTECS # RZ9450000
UN # 1265
EC # 601-006-00-1



TYPES OF HAZARD/ EXPOSURE	ACUTE HAZARDS/ SYMPTOMS	PREVENTION	FIRST AID/ FIRE FIGHTING
FIRE	Highly flammable.	NO open flames, NO sparks, and NO smoking. NO contact with strong oxidants.	Powder, AFFF, foam, carbon dioxide.
EXPLOSION	Vapour/air mixtures are explosive.	Closed system, ventilation, explosion-proof electrical equipment and lighting. Prevent build-up of electrostatic charges (e.g., by grounding). Do NOT use compressed air for filling, discharging, or handling. Use non-sparking handtools.	In case of fire: keep drums, etc., cool by spraying with water.
EXPOSURE			

•INHALATION	Dizziness. Drowsiness. Headache. Nausea. Unconsciousness. Vomiting.	Ventilation, local exhaust, or breathing protection.	Fresh air, rest. Refer for medical attention.
•SKIN	Dry skin.	Protective gloves.	Remove contaminated clothes. Rinse and then wash skin with water and soap.
•EYES		Safety goggles, or eye protection in combination with breathing protection.	First rinse with plenty of water for several minutes (remove contact lenses if easily possible), then take to a doctor.
•INGESTION	(Further see Inhalation).	Do not eat, drink, or smoke during work.	Rinse mouth. Do NOT induce vomiting. Rest. Refer for medical attention.

SPILLAGE DISPOSAL	STORAGE	PACKAGING & LABELLING
Evacuate danger area! Consult an expert! Ventilation. Remove all ignition sources. Collect leaking and spilled liquid in sealable containers as far as possible. Absorb remaining liquid in dry sand or inert absorbent and remove to safe place. Do NOT wash away into sewer. (Extra personal protection: self-contained breathing apparatus).	Fireproof. Separated from strong oxidants. Cool. Well closed.	Note: C F+ symbol Xn symbol N symbol R: 12-65-66-67-51/53 S: 2-9-16-29-33-61-62 UN Hazard Class: 3 UN Packing Group: 1

SEE IMPORTANT INFORMATION ON BACK

ICSC: 0534	Prepared in the context of cooperation between the International Programme on Chemical Safety & the Commission of the European Communities (C) IPCS CEC 2000. No modifications to the International version have been made except to add the OSHA PELs, NIOSH RELs and NIOSH IDLH values.
------------	---

International Chemical Safety Cards

n-PENTANE

ICSC:
0534

I	PHYSICAL STATE;	ROUTES OF EXPOSURE:
---	-----------------	---------------------

<p>M P O R T A N T D A T A</p>	<p>APPEARANCE: COLOURLESS LIQUID , WITH CHARACTERISTIC ODOUR.</p> <p>PHYSICAL DANGERS: The vapour is heavier than air and may travel along the ground; distant ignition possible, and may accumulate in low ceiling spaces causing deficiency of oxygen.</p> <p>CHEMICAL DANGERS: Reacts with strong oxidants (e.g., peroxides, nitrates and perchlorates), causing fire and explosion hazard. Attacks some forms of plastics, rubber and coatings.</p> <p>OCCUPATIONAL EXPOSURE LIMITS: TLV: 600 ppm; mg/m³ (ACGIH 1999). MAK: 1000 ppm; 2950 mg/m³; (1995) OSHA PEL: TWA 1000 ppm (2950 mg/m³) NIOSH REL: TWA 120 ppm (350 mg/m³) C 610 ppm (1800 mg/m³) 15-minute NIOSH IDLH: 1500 ppm LEL</p>	<p>The substance can be absorbed into the body by inhalation of its vapour and by ingestion.</p> <p>INHALATION RISK: A harmful contamination of the air can be reached rather quickly on evaporation of this substance at 20°C.</p> <p>EFFECTS OF SHORT-TERM EXPOSURE: Swallowing the liquid may cause aspiration into the lungs with the risk of chemical pneumonitis. The substance may cause effects on the central nervous system.</p> <p>EFFECTS OF LONG-TERM OR REPEATED EXPOSURE: Repeated or prolonged contact with skin may cause dermatitis.</p>
<p>PHYSICAL PROPERTIES</p>	<p>Boiling point: 36°C Melting point: -129°C Relative density (water = 1): 0.63 Solubility in water: none Vapour pressure, kPa at 18.5°C: 53.3 Relative vapour density (air = 1): 2.5</p>	<p>Relative density of the vapour/air-mixture at 20°C (air = 1): 1.8 Flash point: -49°C c.c. Auto-ignition temperature: 309°C Explosive limits, vol% in air: 1.5-7.8 Octanol/water partition coefficient as log Pow: 3.39</p>
<p>ENVIRONMENTAL DATA</p>	<p>The substance is harmful to aquatic organisms.</p> 	
<p>NOTES</p>		

High concentrations in the air cause a deficiency of oxygen with the risk of unconsciousness or death. Check oxygen content before entering area. Skellysolve A is a trade name.

Transport Emergency Card: TEC (R)-592/30G30
NFPA Code: H 1; F 4; R 0;

ADDITIONAL INFORMATION

**ICSC:
0534**

n-PENTANE

(C) IPCS, CEC, 2000

**IMPORTANT
LEGAL
NOTICE:**

Neither NIOSH, the CEC or the IPCS nor any person acting on behalf of NIOSH, the CEC or the IPCS is responsible for the use which might be made of this information. This card contains the collective views of the IPCS Peer Review Committee and may not reflect in all cases all the detailed requirements included in national legislation on the subject. The user should verify compliance of the cards with the relevant legislation in the country of use. The only modifications made to produce the U.S. version is inclusion of the OSHA PELs, NIOSH RELs and NIOSH IDLH values.

Lampiran 4. ICSC Heksana

•SKIN	Dry skin. Redness. Pain.	Protective gloves.	Remove contaminated clothes. Rinse and then wash skin with water and soap. Refer for medical attention.
•EYES	Redness. Pain.	Safety goggles, face shield, or eye protection in combination with breathing protection.	First rinse with plenty of water for several minutes (remove contact lenses if easily possible), then take to a doctor.
•INGESTION	Abdominal pain (further see Inhalation).	Do not eat, drink, or smoke during work.	Rinse mouth. Do NOT induce vomiting. REST. Refer for medical attention.
SPILLAGE DISPOSAL		STORAGE	PACKAGING & LABELLING
Consult an expert! Remove all ignition sources. Collect leaking and spilled liquid in sealable containers as far as possible. Absorb remaining liquid in sand or inert absorbent and remove to safe place. Do NOT wash away into sewer. Do NOT let this chemical enter the environment. (Extra personal protection: filter respirator for organic gases and vapours).		Fireproof. Separated from strong oxidants. Well closed.	F symbol Xn symbol N symbol R: 11-38-48/20-51/53-62-65-67 S: 2-9-16-29-33-36/37-61-62 UN Hazard Class: 3 UN Packing Group: II
SEE IMPORTANT INFORMATION ON BACK			
ICSC: 0279		Prepared in the context of cooperation between the International Programme on Chemical Safety & the Commission of the European Communities (C)IPCS CEC 2000. No modifications to the International version have been made except to add the OSHA PELs, NIOSH RELs and NIOSH IDLH values.	

International Chemical Safety Cards

n-HEXANE

**ICSC:
0279**

I	PHYSICAL STATE; APPEARANCE:	ROUTES OF EXPOSURE:
M	VOLATILE COLOURLESS LIQUID, WITH	The substance can be absorbed into the body by inhalation of its vapour and by ingestion.
P	CHARACTERISTIC ODOUR.	INHALATION RISK:

<p style="text-align: center;">O R T A N T A</p>	<p>PHYSICAL DANGERS: The vapour is heavier than air and may travel along the ground; distant ignition possible.</p> <p>CHEMICAL DANGERS: Reacts with strong oxidants causing fire and explosion hazard. Attacks some plastics, rubber and coatings.</p> <p>OCCUPATIONAL EXPOSURE LIMITS: TLV (as TWA): 50 ppm; 176 mg/m³ skin (ACGIH 1999). OSHA PEL: TWA 500 ppm (1800 mg/m³) NIOSH REL: TWA 50 ppm (180 mg/m³) NIOSH IDLH: 1100 ppm LEL</p>	<p>A harmful contamination of the air can be reached rather quickly on evaporation of this substance at 20°C.</p> <p>EFFECTS OF SHORT-TERM EXPOSURE: The substance irritates the skin. Swallowing the liquid may cause aspiration into the lungs with the risk of chemical pneumonitis. Exposure at high levels could cause lowering of consciousness.</p> <p>EFFECTS OF LONG-TERM OR REPEATED EXPOSURE: Repeated or prolonged contact with skin may cause dermatitis. The substance may have effects on the central nervous system and especially peripheral nervous system, resulting in polyneuropathy. Animal tests show that this substance possibly causes toxic effects upon human reproduction.</p>
<p style="text-align: center;">PHYSICAL PROPERTIES</p>	<p>Boiling point: 69°C Melting point: -95°C Relative density (water = 1): 0.7 Solubility in water, g/100 ml at 20°C: 0.0013 Vapour pressure, kPa at 20°C: 17 Relative vapour density (air = 1): 3.0</p>	<p>Relative density of the vapour/air-mixture at 20°C (air = 1): 1.3 Flash point: -22°C c.c. Auto-ignition temperature: 225°C Explosive limits, vol% in air: 1.1-7.5 Octanol/water partition coefficient as log Pow: 3.9</p>
<p style="text-align: center;">ENVIRONMENTAL DATA</p>	<p>The substance is toxic to aquatic organisms.</p>	
<p>NOTES</p>		
<p>Depending on the degree of exposure, periodic medical examination is indicated. Transport Emergency Card: TEC (R)-503 NFPA Code: H 1; F 3; R 0;</p>		
<p>ADDITIONAL INFORMATION</p>		

11/25/2008 11:0

and inadequate oxygen levels, which may cause unconsciousness, suffocation and death.

ICSC: 0279	n-HEXANE
(C) IPCS, CEC, 2000	

IMPORTANT LEGAL NOTICE:	Neither NIOSH, the CEC or the IPCS nor any person acting on behalf of NIOSH, the CEC or the IPCS is responsible for the use which might be made of this information. This card contains the collective views of the IPCS Peer Review Committee and may not reflect in all cases all the detailed requirements included in national legislation on the subject. The user should verify compliance of the cards with the relevant legislation in the country of use. The only modifications made to produce the U.S. version is inclusion of the OSHA PELs, NIOSH RELs and NIOSH IDLH values.
--	---



11/25/2000 11:0

Lampiran 5. MSDS Natural Gas Condensate



Natural Gas Condensate – Sweet MSDS

1. Product and Company Identification

Product Name: Natural Gas Condensate - Sweet
Synonym: Condensate
Product use: Refinery Stock
Manufacturer: Vero Energy Inc
Address: 1400, 333-5th avenue SW
Calgary, Alberta
T2P 3B8
Emergency Contact: Canutec Transportation 613-996-8888

2. Hazards Identification

EMERGENCY OVERVIEW

This liquid product is **HIGHLY FLAMMABLE!** May contain benzene, a proven human carcinogen. Vapours are heavier than air and may travel considerable distances to a source of ignition and flash back. Vapours may spread along the ground and may enter sewers, basements and other confined spaces.

POTENTIAL HEALTH EFFECTS/ROUTES OF EXPOSURE

Eye: This product is a moderate eye irritant.
Skin: This product is a moderate irritant of the skin and repeated or prolonged contact may defat the skin and lead to dermatitis.
Ingestion: If ingested, abdominal cramping, vomiting and diarrhea may occur. Aspiration of liquid into the lungs may cause chemical pneumonia, severe lung damage and respiratory failure.
Inhalation: Potential effects target the Central Nervous System, liver and kidneys. Inhalation may cause headaches, loss of appetite, drowsiness, nausea and vomiting, loss of consciousness and even death. The benzene component is a known human carcinogen that may result in aplastic anemia and leukemia (cancer of the bone marrow). Aspiration risk is high! Aspiration may cause chemical pneumonitis, severe lung damage and/or respiratory failure.
WARNING: The burning of any hydrocarbon as a fuel in an area without adequate ventilation may result in hazardous levels of combustion products, including carbon monoxide, and inadequate oxygen levels, which may cause unconsciousness, suffocation and death.



Natural Gas Condensate – Sweet MSDS

3. Composition/Information on Ingredients

Ingredient Name	% wt/wt	CAS No.
Natural gas condensates	100	68919-39-1
iso-Butane	7-15	106-97-8
n-Butane	15-40	75-28-5
iso-Pentane	10-20	78-78-4
n-Pentane	10-20	109-66-0
n-Hexane	10-20	110-54-3
Heptane	2-10	142-82-5
Octane	1-5	111-85-9
Benzene	<1	71-43-2
Methylcyclopentane	1-3	96-37-7
Toluene	0.1-1.5	108-88-3
Ethylbenzene	<1	100-41-4
Xylene	<3	1330-20-7
Methylcyclohexane	1-3	108-87-2

Condensate is a liquid hydrocarbon product associated with Natural Gas and is used as refinery feedstock for the crude or condensate units. This product is a commingled stream from multiple petroleum facilities and is a complex mixture consistent with the definition within WHMIS regulation CPR section 2. The listed components are provided as guidance based on the available knowledge of the commingled stream. Sweet condensate contains dissolved hydrogen sulphide in concentrations believed to have the potential to release <10 ppm airborne concentrations upon agitation.

4. First Aid Measures

Eyes: Quickly remove victim from source of contamination. Immediately and briefly flush with lukewarm, gentle flowing water until the chemical is removed. Do not attempt to rewarm. Cover both eyes with sterile dressing. Do not allow victim to drink alcohol or smoke. Transport victim to emergency care facility.

Skin: Quickly remove victim from source of contamination and briefly flush with lukewarm, gentle flowing water until the chemical is removed. Remove contaminated clothing. Do not attempt to re-warm the affected area on site. Do not rub area or apply dry heat. Gently remove clothing or jewelry that may restrict circulation. Carefully cut around clothing that sticks to the skin and remove the rest of the garment. Loosely cover the affected area with a sterile dressing. Obtain medical attention if irritation or redness develops. High-pressure injections are serious medical emergencies - seek immediate medical attention. Do not allow victim to drink alcohol or smoke. Quickly transport victim to an emergency care facility.



Natural Gas Condensate – Sweet MSDS

Ingestion: Do not induce vomiting because of the danger of aspiration of fluid into the lungs. Obtain immediate medical attention.

Inhalation: Ensure your own safety and use the appropriate respiratory protection to immediately remove the victim to an area free of contaminants. Give CPR or artificial respiration as needed and give oxygen if breathing is difficult. Keep victim at rest and get immediate medical attention.

5. Fire Fighting Measures

FLAMMABLE PROPERTIES

Flammable Liquid

HAZARDOUS COMBUSTION PRODUCTS:

Irritating gases of incomplete combustion such as carbon monoxide and carbon dioxide may be produced.

FIRE AND EXPLOSION HAZARDS

Extremely flammable gas. Can form explosive mixtures with air. Product vapours are heavier than air and may travel considerable distances to sources of ignition and flash back. Vapours may spread along the ground and may enter sewers, basements and other confined spaces.

EXTINGUISHING MEDIA

Small Fires: Dry chemical, CO₂, or alcohol resistant foam.

Large Fires: Water spray, fog or alcohol resistant foam.

FIRE FIGHTING INSTRUCTIONS

Evacuate area and fight fire from a safe distance or a protected location. Approach fire from upwind. If it is not possible to stop the flow of gas and if there is no risk to the surrounding area it is preferable to allow continued burning while protecting exposed materials with water spray until the flow of gas can be stopped. Fire fighters should wear complete turnout gear and self-contained breathing apparatus (SCBA). Water may be ineffective for fighting the fire but may be used to cool fire-exposed containers. Consider initial downwind evacuation for at least 800 meters (1/2 mile). Cool containers with large quantities of water until well after the fire has been put out. Do not direct the water stream at the source of the leak or safety devices as icing may occur. Withdraw immediately in case of rising sound from venting safety devices or discoloration of tank. ALWAYS stay away from tanks engulfed in fire. Fight fires from maximum distance and for massive fires, use unmanned hose holders or monitor nozzles. If this is not possible withdraw from the area and let the fire burn.



Natural Gas Condensate – Sweet MSDS

If tank, rail car or tank truck is involved in a fire, ISOLATE for 800 meters (1/2 mile) in all directions Also consider initial evacuation for 800 meters (1/2 mile) in all directions.

UNUSUAL FIRE & EXPLOSION HAZARDS:

Product floats on water and is capable of creating a fire hazard along path of runoff. Can be ignited by static discharge.

6. Accidental Release Measures

ACTIVATE YOUR FACILITY'S SITE SPECIFIC EMERGENCY RESPONSE PLAN, IF AVAILABLE

Small Spills: Ensure your own safety and use the appropriate respiratory protection. An approved self-contained breathing apparatus (SCBA) with full-face piece may be required. Remove all ignition sources. Ventilate the area and attempt to stop the leak if possible without risk. Do not attempt to extinguish a fire unless the leak can be stopped.

Large Spills: CALL Emergency Response Telephone Number. Ensure your own safety and use the appropriate respiratory protection. An approved self-contained breathing apparatus (SCBA) with full-face piece may be required. Isolate spill or leak area immediately for at least 50 to 100 meters (160 to 330 feet) in all directions. Keep unauthorized personnel away and stay upwind. Many gases are heavier than air and will spread along ground and collect in low or confined areas (sewers, basements or tanks). Keep out of low areas. Do not discharge solid water stream pattern into the liquid resulting in splashing. Do not flush down sewer or drainage systems. Protect bodies of water by diking if possible. Place absorbent materials into closed containers or burn in approved combustion chambers. For large spills recover liquid and remove contaminated soil.

Evacuation: Fire: If tank, rail car or tank truck is involved in a fire ISOLATE for 1600 meters (1 mile) in all directions Also consider initial evacuation for 1600 meters (1 mile) in all directions.

Caution: Ensure your own safety and use the appropriate respiratory protection. An approved self-contained breathing apparatus (SCBA) with full-face piece may be required. Consideration should be given to environmental clean-up and waste material generation when deciding if the use of large volumes of water is appropriate for non-fire emergency situations. Clean-up crews must be properly trained and must utilize proper protective equipment.



7. Handling and Storage

HANDLING PRECAUTIONS

Ensure your own safety and use the appropriate respiratory protection. An approved self-contained breathing apparatus (SCBA) with full-face piece may be required. Handle as a flammable gas. Keep away from all sources of heat, sparks, open flame or any sources of ignition as well as flammable materials or oxidizers. Do not pressurize, cut, heat, weld or expose such containers to sources of ignition. Use only with adequate ventilation and avoid breathing vapours. Ground and bond all lines and equipment. Use intrinsically safe electrical equipment. DO NOT siphon by mouth.

STORAGE PRECAUTIONS

Store in an isolated fireproof building that is above ground, cool, dry, well-ventilated, clearly identified, well-illuminated, clear of obstruction and accessible only to trained and authorized personnel. Use a non-sparking ventilation system, explosion-proof equipment, and intrinsically safe electrical systems. Inspect incoming containers to ensure that they are undamaged and properly labeled. Eliminate all ignition sources. Store product out of direct sunlight and away from incompatible or flammable materials. Consider leak detection and alarm equipment for the storage area. Have appropriate fire extinguishing capability in the storage area. Avoid storage in low, confined locations or near incompatible materials such as other flammable materials, oxidizers or materials that support combustion. Storage areas should comply with NFPA 30 Flammable and Combustible liquids standard. Avoid storage near incompatible materials.

WORK/HYGIENIC PRACTICES

An emergency eye wash station should be available in the vicinity of any potential splash exposure. Use good personal hygiene practices. Avoid skin exposure and wash hands before eating, drinking, smoking or using toilet facilities. Do not eat, drink or smoke in areas of use or storage. Promptly remove contaminated clothing and launder before reuse. Use care when laundering to prevent the formation of flammable vapours which could ignite via washer or dryer. Consider the need to discard contaminated leather shoes and gloves. Work areas should be assessed for airborne benzene concentrations. Work areas should be assessed for airborne benzene and hydrogen sulphide concentrations.

8. Exposure Controls / Personal Protection

EXPOSURE LIMITS

Ingredient Name	%	CAS No.	Exposure Limits
Natural gas condensates	100	68919-39-1	



Natural Gas Condensate – Sweet MSDS

Isobutane	7-15	108-97-8	ACGIH TLV-TWA =1000ppm
n-Butane	15-40	75-28-5	ACGIH TLV-TWA =1000ppm
iso-Pentane	10-20	78-78-4	ACGIH TLV-TWA =800ppm
n-Pentane	10-20	109-66-0	ACGIH TLV-TWA =800ppm
n-Hexane	10-20	110-54-3	ACGIH TLV-TWA =50ppm (skin)
Heptane	2-10	142-82-5	Not applicable
Octane	1-5	111-65-9	ACGIH TLV-TWA =300 ppm
Benzene	<1	71-43-2	ACGIH TLV-TWA =0.5ppm (skin) ACGIH TLV-STEL =2.5ppm
Methylcyclopentane	1-3	98-37-7	Not applicable
Toluene	0.1-1.5	108-88-3	Not applicable
Ethylbenzene	<1	100-41-4	ACGIH TLV-TWA =100ppm ACGIH TLV-STEL =125ppm
Xylene	<3	1330-20-7	ACGIH TLV-TWA =100 ppm (skin) ACGIH TLV-STEL = 150 ppm
Methylcyclohexane	1-3	108-87-2	ACGIH TLV-TWA =400ppm

ENGINEERING CONTROLS

Ensure your own safety and use the appropriate respiratory protection. An approved self-contained breathing apparatus (SCBA) with full-face piece may be required. Ensure adequate ventilation to keep vapour and gas concentrations of this product below occupational exposure and flammability limits particularly in confined spaces. Ventilation system and other equipment must be intrinsically safe. Showers and/or eyewash fountains should be provided within the immediate work area for emergency use when there is any possibility of exposure to liquids.

Eye/Face Protection: Wear chemical goggles or a full face shield when handling this product.

Skin Protection: Avoid skin contact. Wear fire retardant clothing and chemical resistant gloves when handling this product. Avoid repeated or prolonged skin



Natural Gas Condensate – Sweet MSDS

contact; gloves constructed of nitrile, neoprene or PVC are recommend. Chemical protective clothing such as of poly-coated or equivalent recommended based on degree of exposure. Note: The resistance of specific materials may vary from product to product as well as degree of exposure. Consult manufacture specifications for further information.

Respiratory Protection: If exposure assessment indicates NO reduced oxygen or hydrogen sulphide content NIOSH/MSHA - approved air-purifying respirator with organic vapor cartridges or canister may be permissible under certain circumstances where airborne concentrations are or may be expected to exceed exposure limits or for odor or irritation. Protection provided by air-purifying respirators is limited and should not be considered especially when odor cannot be used to determine respirator effectiveness. Use a positive pressure, air-supplied respirator if there is a potential for uncontrolled release, exposure levels are not known or any other circumstance where an air-purifying respirator may not provide adequate protection. Refer to CSA Standard "Selection, Use and Care of Respirators" (Z94.4-02) and NIOSH Respirator Decision Logic for additional guidance on respiratory protection.

9. Physical and Chemical Properties

Appearance and state:	Pale yellow to brown liquid.
Odour:	Hydrocarbon
Odour Threshold:	Not available
Flash Point:	-60°C to 5°C (Flash points are in the flammable range but are highly dependent on condensate source.)
Autoignition Temperature:	Not Available
Lower Explosive Limit (%):	Not Available
Upper Explosive Limit (%):	Not Available
Boiling Point:	0 to 140°C
Melting Point:	7 to -138°C
Vapour Pressure:	Not available
Vapour Density (Air = 1):	Not available
Viscosity:	Not available
Specific Gravity:	Not Available
Solubility (H ₂ O):	Slight
Percent Volatiles:	Not Applicable
Evaporation Rate:	Not Applicable



Natural Gas Condensate – Sweet MSDS

10. Stability and Reactivity

STABILITY: Stable

CONDITIONS TO AVOID (STABILITY)

Material is stable under normal conditions but will rapidly volatilize. Avoid high temperatures, open flames, sparks, welding, smoking and other ignition sources.

INCOMPATIBLE MATERIALS

Avoid contact with strong oxidizers, ignition sources and heat.

HAZARDOUS DECOMPOSITION PRODUCTS

Irritating or toxic substances may be emitted upon thermal decomposition. Decomposition products include oxides of carbon and sulfur.

HAZARDOUS POLYMERIZATION: Will Not Occur.

11. Toxicological Information

COMPONENT INFORMATION

Chemical Name	CAS No.	LD50	LC50
iso Butane	106-97-8	Not Available	658 mg/L (4hr rat)
n Butane	75-28-5	Not Available	LC50 Mouse inhalation 52 mg/kg for 1 hr exposure.
iso Pentane	78-78-4	Not Available	140000 ppm (mouse 2 hr)
n Pentane	109-66-0	LD50 Mouse intravenous 446 mg/kg	LC50 Rat inhalation 364 g/cu m/4H
n Hexane	110-54-3	LD50 Rat (older adult) oral 43.5 mg/kg	LC50 Rat inhalation 48000 ppm/< 4 hr
Heptane	142-82-5	LD50 Mouse inhalation 75 g/cu m/2 hr	LC50 Rat inhalation 103 g/cu m/4 hr
Octane	111-85-9	Not Available	LC50 Rat inhalation 118 g/cu m/4 hr
Benzene	71-43-2	LD50 3306 mg/kg (oral rat)	LC50 10 000ppm (7hr rat inhalation)
Methylcyclopentane	98-37-7	5000 – 15000 ppm (oral rat)	Not Available
Toluene	108-88-3	LD50 Rat oral 5000 mg/kg	LC50 Mouse ihl 400 ppm/24 hr
Ethylbenzene	100-41-4	LD50 Rat oral 3500 mg/kg	Not Available



Natural Gas Condensate – Sweet MSDS

Xylenes	1330-20-7	Not Available	5000ppm (4hr rat)
Methylcyclohexane	108-87-2	Not Available	Not Available

POTENTIAL HEALTH EFFECTS

Acute effects: Low concentrations may also irritate eyes, skin, respiratory system, central nervous system and peripheral nervous system. May cause CNS depression, cardiac sensitization, drowsiness, narcoosis and asphyxia.

Chronic effects: At relatively low concentrations this product may result in chronic hypoxia including effects such as decreased night vision, increased respiration, decreased alertness, fatigue, tunnel vision and headache. Potential chronic effects to this product include peripheric neuropathy and blurred vision. Chronic exposure has resulted in aplastic anemia, acute myoblastic leukemia, bone marrow depression, corneal vacuolization erythroleukemia and even death.

Sensitization: Butane is linked with cardiac sensitization.

Mutagenicity: Benzene is a weak mutagen.

Reproductive effects: Spontaneous abortion is possible for women exposed to pentane during pregnancy. Benzene exposure has been linked to menstrual changes, spontaneous abortion and stillbirth. Xylene is embryotoxic.

Carcinogenicity: Benzene carcinogenic listings are as follows: Known Carcinogen NTP, known human carcinogen IARC Group 1 proven and confirmed human carcinogen ACGIH A1. Ethylbenzene is classified as a possible carcinogen IARC 2B.

Target organs: Central nervous system (CNS), heart, blood forming systems, liver and kidneys, gastrointestinal tract and respiratory system.

12. Ecological Information

If released into soil this product will absorb and may biodegrade in anaerobic conditions. In water it may volatilize. Photo-oxidation products include phenol, nitrophenols, nitrobenzene, formic acid and peroxyacetyl nitrate.

13. Disposal Considerations

Maximize product recovery for reuse or recycling. Contaminated materials may be classified as a hazardous waste due to the low flash point and benzene. Empty containers can have residues that are subject to hazardous waste disposal requirements. Dispose of waste in accordance with all applicable federal, provincial, and/or local regulations. Consult local environmental authorities for specific instructions.



Natural Gas Condensate – Sweet MSDS

14. Transport Information

PROPER SHIPPING NAME:	Petroleum Crude Oil
TDG CLASS:	3
TDG IDENTIFICATION NUMBER:	UN1267
TDG SHIPPING LABEL:	Flammable liquid
PACKING GROUP	II
SHIPPING DESCRIPTION	Petroleum Crude Oil, 3, UN1267

15. Regulatory Information

WORKPLACE HAZARDOUS MATERIALS INFORMATION SYSTEM (WHMIS)



Workplace Hazardous Materials Information Systems (WHMIS): This product has been classified in accordance with the hazard criteria of the CPR (Controlled Product Regulations) and the MSDS contains all of the information required by the CPR.

Class B2 – Flammable Gas

Class D2A – Materials Causing Serious and Other Toxic Effects

CANADIAN ENVIRONMENTAL PROTECTION ACT (CEPA)

All components of this product are listed on the Canadian DSL Inventory.

16. Other Information

Prepared for: HS&E Department, Vero Energy Inc. Telephone 403-218-2083
 Technical preparation by: Deerfoot Consulting Inc.

Disclaimer: The information presented in this Material Safety Data Sheet is based on data believed to be accurate as of the date this Material Safety Data Sheet was prepared. However, Vero Energy Inc., Deerfoot Consulting Inc. nor any of their subsidiaries assumes any liability whatsoever for the accuracy or completeness of the information contained herein. No responsibility is assumed for any damage or injury resulting from abnormal use or from any failure to adhere to recommended practices. The information provided above and the product, are furnished on the condition that the person receiving them shall make their own determination as to the suitability of the product for their particular purpose and on the condition that they assume the risk of their use.