



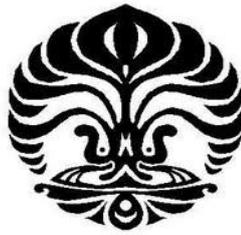
UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS KONSEKUENSI DISPERSI GAS, KEBAKARAN,
DAN LEDAKAN AKIBAT KEBOCORAN TABUNG LPG 12 KG
DI KELURAHAN MANGGARAI SELATAN TAHUN 2012
DENGAN MENGGUNAKAN *BREEZE INCIDENT ANALYST
SOFTWARE***

SKRIPSI

**DIAN SARTIKA K
0806458113**

**FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA
DEPOK
JUNI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS KONSEKUENSI DISPERSI GAS, KEBAKARAN,
DAN LEDAKAN AKIBAT KEBOCORAN TABUNG LPG 12 KG
DI KELURAHAN MANGGARAI SELATAN TAHUN 2012
DENGAN MENGGUNAKAN *BREEZE INCIDENT ANALYST
SOFTWARE***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana

**DIAN SARTIKA K
0806458113**

**FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA
DEPOK
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 : Dian Sartika K

NPM : 0806458113

Tanda Tangan : 

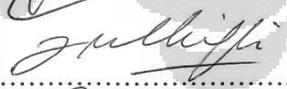
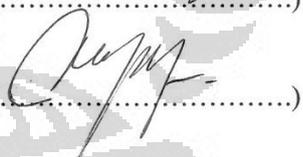
Tanggal : 29 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Dian Sartika K
NPM : 0806458113
Program Studi : Kesehatan Masyarakat
Judul Skripsi : Analisis Konsekuensi Dispersi Gas, Kebakaran, dan Ledakan Akibat Kebocoran Tabung Lpg 12 Kg Di Kelurahan Manggarai Selatan Tahun 2012 Dengan Menggunakan *Breeze Incident Analyst Software*

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 Djunaidi, M.AppSc (.....) 
Penguji : Dr. Alfajri Ismail, M.Si (.....) 

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 29 Juni 2012

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Dian Sartika K
Tempat, Tanggal Lahir : Jakarta, 4 Januari 1990
Jenis Kelamin : Perempuan
Agama : Islam
Alamat : Komplek Pelni Blok F2/14
Baktijaya- Depok 16418
Nomor HP : 08561897692
Email : dian.gepe@gmail.com
Pendidikan Formal :

| No. | Tahun | Pendidikan |
|-----|-------------|--|
| 1. | 1994-1996 | TK Nurul Ikhsan Komplek Pelni |
| 2. | 1996-2002 | SD Islam PB Sudirman Jakarta Timur |
| 3. | 2002-2005 | SMPN 49, Jakarta |
| 4. | 2005-2008 | SMAN 28, Jakarta |
| 5. | 2008 – 2012 | Universitas Indonesia Program Sarjana Kesehatan Masyarakat, Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Depok |

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Tidak lupa shalawat serta salam selalu tercurah kepada Nabi besar kita Muhammad SAW beserta para sahabat dan keluarganya.

Skripsi yang berjudul **“Analisis Konsekuensi Dispersi Gas, Kebakaran, dan Ledakan Akibat Kebocoran Tabung Lpg 12 Kg Di Kelurahan Manggarai Selatan Tahun 2012 Dengan Menggunakan *Breeze Incident Analyst Software*”** dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program Sarjana Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia. Semoga skripsi ini dapat meningkatkan ilmu pengetahuan bagi para pembacanya dan dapat bermanfaat bagi penelitian selanjutnya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan yang dikarenakan keterbatasan penulis. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk dapat dijadikan masukan bagi penulis. Dalam menyusun sampai dengan menyelesaikan skripsi ini penulis mendapatkan banyak dukungan dari berbagai pihak, untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT
2. Dra. Fatma Lestari, M.Si.,Ph.D selaku pembimbing skripsi yang telah membimbing dan memberikan masukan yang bermanfaat.
3. Dr. dr. Zulkifli Djunaidi, M.AppSc dan Dr. Alfajri Ismail, M.Si yang telah bersedia menjadi penguji skripsi.
4. Kel. Bapak Maroji yang telah bersedia menjadi narasumber dan telah mengizinkan rumahnya untuk diproyeksikan dengan hasil simulasi.
5. Ibu Dinar dan Bapak Nano selaku Ketua RT 09 RW 03 Gg. Sadar yang telah bersedia meluangkan waktu untuk menjadi narasumber.
6. Mama, Papa, Mas Trean, Mbak Mel, dan Affan yang selalu mendoakan tiada henti, mendukung, memberikan semangat, dan memotivasi untuk segera menyelesaikan studi ini.

7. Abnormals yang kelakuannya benar-bener diluar dari normal Afri, Agil, Ririn, Anisa, Kezia, Monica, Listy, Roiyan, Ridho, Udi, Arif, Habib. Sebuah keluarga yang hanya bisa saya temukan di kampus tercinta ini. We are best friends forever.
8. Afri Dian Sari yang namanya harus disebutkan lagi. Bener-bener temen duet, senasib, sepenanggungan.
9. Mba Ike yang sudah sangat membantu dalam hal penggunaan *software* dan bersedia menjawab semua pertanyaan-pertanyaan membingungkan.
10. Sahabat SMA Astie, Arina, Retty, Jacky, Njus, Kibong, Mardot, Merry, Mila, Irma, Cendhy. Terima kasih telah menjadi sahabat terbaik dan selalu mendengarkan keluh kesah selama menyelesaikan skripsi ini. Buat Njus makasih banget buat denah dan autocadnya, you rock!!!
11. Dewi dan Danil, Temen-temen satu bimbingan.
12. Teman-teman angkatan 2008, khususnya anak K3. Semoga kita sukses selalu dan menjadi orang yang berguna bagi bangsa dan negara.
13. Seluruh pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu. Terima Kasih atas bantuan dan dukungannya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Depok, Mei 2012

Dian Sartika K

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

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

Nama : Dian Sartika K
NPM : 0806458113
Program Studi : S1 - Reguler
Departemen : Keselamatan dan Kesehatan Kerja
Fakultas : Kesehatan Masyarakat
Jenis karya : Skripsi

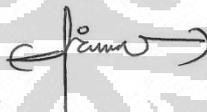
demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty- Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“Analisis Konsekuensi Dispersi Gas, Kebakaran, dan Ledakan Akibat Kebocoran Tabung Lpg 12 Kg Di Kelurahan Manggarai Selatan Tahun 2012 Dengan Menggunakan *Breeze Incident Analyst Software*”

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



(Dian Sartika K)

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Dian Sartika K

NPM : 0806458113

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 LPG 12 KG DI
KELURAHAN MANGGARAI SELATAN TAHUN 2012 DENGAN
MENGUNAKAN *BREEZE INCIDENT ANALYST SOFTWARE*”**

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

Demikian surat ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 29 Juni 2012



(Dian Sartika K)

ABSTRAK

Nama : Dian Sartika K
Program Studi : S1 Reguler Kesehatan Masyarakat
Judul : Analisis Konsekuensi Dispersi Gas, Kebakaran, dan Ledakan Akibat Kebocoran Tabung Lpg 12 Kg Di Kelurahan Manggarai Selatan Tahun 2012 Dengan Menggunakan *Breeze Incident Analyst Software*

Selama beberapa tahun belakangan ini telah terjadi banyak kasus ledakan gas LPG yang telah menimbulkan banyak kerugian bagi masyarakat. Kejadian tersebut tidak hanya terjadi pada gas LPG 3 kg saja melainkan juga dialami oleh gas 12 kg. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jangkauan dari konsekuensi dispersi gas, kebakaran, dan ledakan akibat kebocoran tabung LPG 12 kg dengan menggunakan *BREEZE Incident Analyst software* yang dilakukan di Manggarai selatan pada tahun 2012. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan menggunakan data sekunder dan primer yang kemudian dianalisis menggunakan *BREEZE Incident Analyst software*.

Hasil dari penelitian ini adalah berupa jangkauan dari konsekuensi dispersi gas, kebakaran, dan ledakan gas LPG 12 Kg yang dibagi menjadi dua yaitu tabung berisi propana dan butana. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk hasil simulasi dispersi gas propana dan butana masih dibawah nilai LOC (tidak beracun). Sedangkan hasil untuk simulasi ledakan gas propana dan butana menunjukkan bahwa zona amannya adalah setelah jarak 3,5 meter dari titik kebocoran. Hasil simulasi kebakaran pada tabung gas propana menunjukkan bahwa zona amannya adalah setelah jarak 11,9 meter dan pada tabung butana adalah setelah jarak 11,8 meter.

Kata Kunci : Analisis Konsekuensi, dispersi gas, kebakaran, ledakan, LPG, 12 kg, *BREEZE Incident Analyst*

ABSTRACT

Name : Dian Sartika K
Study Program : S1 Reguler Public Health
Title : Analysis Consequences of Gas Dispersion, Fire, And
Explosion of Lpg 12 Kg Leak At Manggarai Selatan in
Year 2012 Using Breeze Incident Analyst Software

During recent years there have been many cases of LPG explosion that has caused much harm to people. These events not only occurred in LPG cylinder 3 kg but also in LPG cylinder 12 Kg. This study aims to determine the range of consequences of gas dispersion, fire and explosion due to leakage of LPG cylinder 12 kg by using BREEZE Incident Analyst software. This study is a quantitative study using secondary dan primary data and then analyzed using the BREEZE Incident Analyst software.

The result of this study is the range of consequences of gas dispersion, fire, and explosion of LPG 12 kg which divided into two cylinder containing propane and butane. The results showed that the simulation for propane and butane gas dispersion are below the LOC (non toxic). The explosion simulation of propane and butane cylinder showed that the safety zone is after 3.5 meters from the point of leakage. The fire simulation of propane cylinder showed that the safety zone is after 11.9 meters, while in butane cylinder simulation showed that safety zone is after 11.8 meters.

Keywords : Analysis Consequences, gas dispersion, fire, explosion, LPG, 12 kg, BREEZE Incident Analyst

DAFTAR ISI

| | |
|---|----------|
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS..... | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | iii |
| DAFTAR RIWAYAT HIDUP..... | iv |
| KATA PENGANTAR..... | v |
| HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH..... | vii |
| HALAMAN PERNYATAAN..... | viii |
| ABSTRAK..... | ix |
| ABSTRACT..... | x |
| DAFTAR ISI..... | xi |
| DAFTAR TABEL..... | xiii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xiv |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xv |
| 1 PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 4 |
| 1.3 Pertanyaan Penelitian..... | 4 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 5 |
| 1.4.1 Tujuan Umum..... | 5 |
| 1.4.2 Tujuan Khusus..... | 5 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 5 |
| 1.5.1 Bagi Peneliti..... | 5 |
| 1.5.2 Bagi K3 FKM UI..... | 6 |
| 1.5.3 Bagi Masyarakat..... | 6 |
| 1.6 Ruang Lingkup Penelitian..... | 6 |
| 2 TINJAUAN PUSTAKA..... | 7 |
| 2.1 <i>Liquefied Petroleum Gas</i> | 7 |
| 2.2 Gas Propana..... | 8 |
| 2.3 Gas Butana..... | 9 |
| 2.4 Tabung LPG..... | 10 |
| 2.4.1 Standar Teknis Tabung Elpiji 12 Kg..... | 10 |
| 2.4.2 Konstruksi Umum Tabung..... | 11 |
| 2.4.3 Syarat Mutu..... | 12 |
| 2.4.4 Penandaan..... | 13 |
| 2.5 Hidrokarbon rilis..... | 13 |
| 2.5.1 Gas Rilis..... | 14 |
| 2.5.2 <i>Liquid</i> Rilis..... | 15 |
| 2.5.3 Kemungkinan Konsekuensi dari Kebocoran Gas..... | 16 |
| 2.6 Dispersi Atmosferik..... | 17 |
| 2.7 Kebakaran..... | 19 |
| 2.7.1 Pengertian Kebakaran..... | 19 |
| 2.7.2 Teori Kebakaran..... | 19 |
| 2.7.3 Bentuk Kebakaran..... | 20 |
| 2.8 Ledakan..... | 23 |

| | |
|--|-----------|
| 2.8.1 Sifat Ledakan Hidrokarbon..... | 23 |
| 2.8.2 Jenis Ledakan Awan Uap..... | 25 |
| 2.8.3 BLEVE..... | 27 |
| 2.8.4 Model Prediksi Efek dari Ledakan..... | 27 |
| 2.9 <i>BREEZE Incident Analyst</i> | 29 |
| 2.9.1 Fitur dari <i>BREEZE Incident Analyst</i> | 29 |
| 2.9.2 Tipe Bahaya..... | 29 |
| 2.9.3 Langkah-langkah Menggunakan <i>BREEZE Incident Analyst</i> ... | 36 |
| 2.10 <i>Software</i> Lainnya..... | 37 |
| 2.10.1 ALOHA..... | 37 |
| 2.10.2 CHARM (<i>Complex Hazardous Air Release Model</i>)..... | 38 |
| 2.10.3 FLACS (<i>Flame Acceleration Simulator</i>)..... | 39 |
| 3 KERANGKA TEORI DAN KONSEP..... | 41 |
| 3.1 Kerangka Teori..... | 41 |
| 3.2 Kerangka Konsep..... | 43 |
| 3.3 Definisi Operasional..... | 44 |
| 4 METODOLOGI PENELITIAN..... | 47 |
| 4.1 Desain Penelitian..... | 47 |
| 4.2 Waktu dan Lokasi Penelitian..... | 47 |
| 4.3 Objek Penelitian..... | 47 |
| 4.4 Teknik Pengumpulan Data..... | 47 |
| 4.4.1 Sumber Data..... | 47 |
| 4.4.2 Cara Pengumpulan Data..... | 48 |
| 4.5 Analisis Data..... | 48 |
| 4.6 Asumsi yang digunakan..... | 48 |
| 4.7 Keterbatasan Penelitian..... | 48 |
| 5 HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 49 |
| 5.1 Tabung LPG 12 Kg..... | 49 |
| 5.2 Bahan Kimia..... | 50 |
| 5.3 Lokasi dan Meteorologi..... | 50 |
| 5.4 Simulasi Skenario Kejadian Kebocoran Propana..... | 51 |
| 5.4.1 Dispersi Toksik..... | 51 |
| 5.4.2 Ledakan..... | 54 |
| 5.4.3 Kebakaran..... | 58 |
| 5.5 Simulasi Skenario Kejadian Kebocoran Butana..... | 61 |
| 5.5.1 Dispersi Toksik..... | 61 |
| 5.5.2 Ledakan..... | 63 |
| 5.5.3 Kebakaran..... | 68 |
| 6 KESIMPULAN DAN SARAN..... | 72 |
| 6.1 Kesimpulan..... | 72 |
| 6.2 Saran..... | 72 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 74 |
| LAMPIRAN | |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 Sifat Fisik dan Kimia Gas LPG..... | 8 |
| Tabel 2.2 Nilai Ambang Batas LPG..... | 8 |
| Tabel 2.3 Sifat Fisik dan Kimia Propana..... | 9 |
| Tabel 2.4 Nilai Ambang Batas Propana..... | 9 |
| Tabel 2.5 Sifat Fisik dan Kimia Butana..... | 10 |
| Tabel 2.6 Nilai Ambang Batas Butana..... | 10 |
| Tabel 5.1 Karakteristik Propana dan Butana..... | 50 |

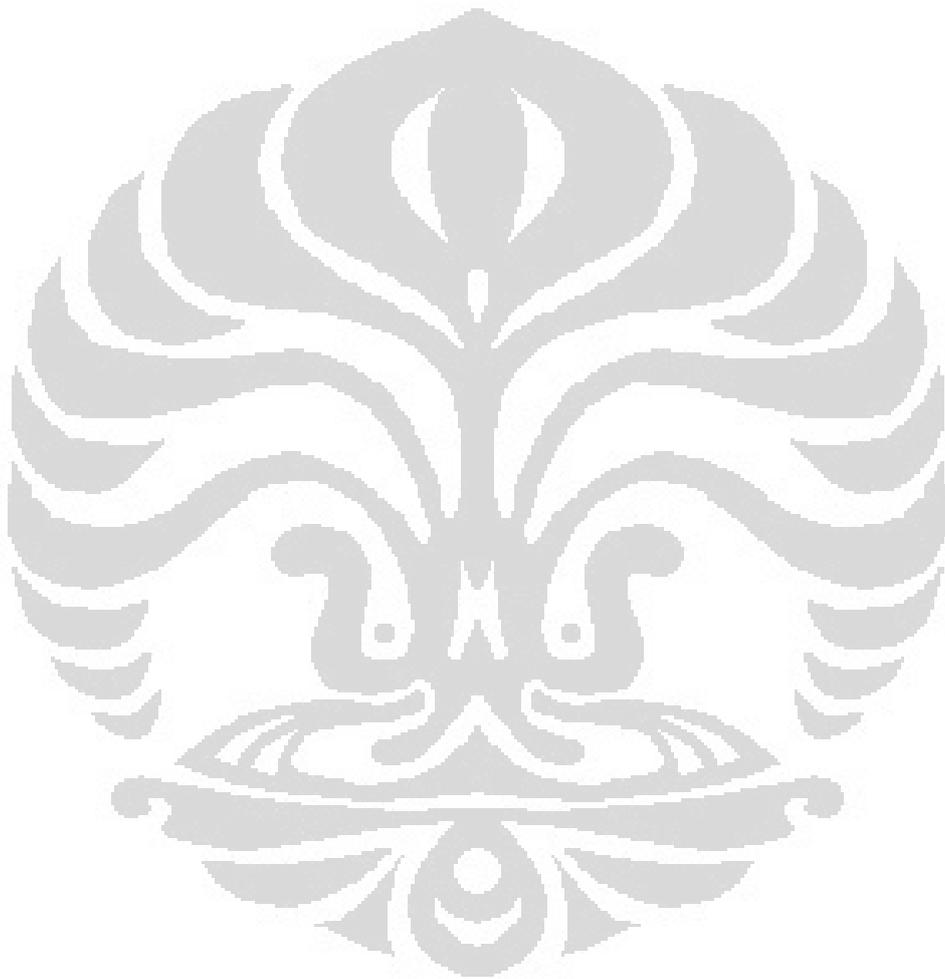


DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Struktur Kimia Propana..... | 9 |
| Gambar 2.2 | Struktur Kimia Butana..... | 10 |
| Gambar 2.3 | Kebocoran Gas..... | 16 |
| Gambar 2.4 | Segitiga Api..... | 20 |
| Gambar 2.5 | Segiempat Api..... | 20 |
| Gambar 2.6 | <i>Flash Fire</i> | 21 |
| Gambar 2.7 | <i>Fire Ball</i> | 22 |
| Gambar 2.8 | <i>Pool Fire</i> | 22 |
| Gambar 2.9 | <i>Jet Fire</i> | 23 |
| Gambar 2.10 | Contoh Tampilan ALOHA..... | 38 |
| Gambar 2.11 | Contoh Tampilan CHARM..... | 39 |
| Gambar 5.1 | Tabung LPG 12 Kg..... | 50 |
| Gambar 5.2 | Grafik Hasil Simulasi Dispersi Toksik Pada Tabung Propana 12 Kg..... | 52 |
| Gambar 5.3 | Hasil Simulasi Ledakan Pada Tabung Propana 12 Kg Berupa <i>Surface Explosion Overpressure</i> | 55 |
| Gambar 5.4 | Hasil Simulasi Ledakan Pada Tabung Propana 12 Kg Berupa <i>Free Air Explosion Overpressure</i> | 55 |
| Gambar 5.5 | Proyeksi Hasil Simulasi Ledakan (<i>Surface Explosion Overpressure</i>) Tabung Propana 12 Kg Pada Denah Rumah.. | 56 |
| Gambar 5.6 | Proyeksi Hasil Simulasi Ledakan (<i>Free Air Explosion Overpressure</i>) Tabung Propana 12 Kg Pada Denah Rumah.. | 57 |
| Gambar 5.7 | Hasil Simulasi Kebakaran Pada Tabung Propana 12 Kg Berupa <i>Thermal Radiation Level</i> | 59 |
| Gambar 5.8 | Proyeksi Hasil Simulasi Kebakaran (<i>Thermal Radiation Level</i>) Tabung Propana 12 Kg Pada Denah Rumah..... | 60 |
| Gambar 5.9 | Grafik Hasil Simulasi Dispersi Toksik Pada Tabung Butana 12 Kg..... | 62 |
| Gambar 5.10 | Hasil Simulasi Ledakan Pada Tabung Butana 12 Kg Berupa <i>Surface Explosion Overpressure</i> | 64 |
| Gambar 5.11 | Hasil Simulasi Ledakan Pada Tabung Butana 12 Kg Berupa <i>Free Air Explosion Overpressure</i> | 64 |
| Gambar 5.12 | Proyeksi Hasil Simulasi Ledakan (<i>Surface Explosion Overpressure</i>) Tabung Butana 12 Kg Pada Denah Rumah.... | 65 |
| Gambar 5.13 | Proyeksi Hasil Simulasi Ledakan (<i>Free Air Explosion Overpressure</i>) Tabung Butana 12 Kg Pada Denah Rumah... 66 | |
| Gambar 5.14 | Hasil Simulasi Kebakaran Pada Tabung Butana 12 Kg Berupa <i>Thermal Radiation Level</i> | 68 |
| Gambar 5.15 | Proyeksi Hasil Simulasi Kebakaran (<i>Thermal Radiation Level</i>) Tabung Butana 12 Kg Pada Denah Rumah..... | 69 |

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 MSDS Propana
- Lampiran 2 MSDS Butana
- Lampiran 3 Foto Lokasi



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Liquefied Petroleum Gas (LPG) atau elpiji menurut Pertamina adalah gas hasil produksi dari kilang minyak dan kilang gas yang komponen utamanya adalah gas propana dan butana lebih kurang 99 % dan selebihnya adalah gas pentana yang dicairkan. Perbandingan komposisi, propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}) adalah 30 : 70. Gas LPG ini termasuk dalam kategori *flammable gas* atau gas yang mudah terbakar.

Di Indonesia LPG banyak dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti pada industri, komersial, maupun rumah tangga. Sebagian besar dari penggunaannya adalah dari kalangan rumah tangga yang jumlahnya semakin meningkat semenjak diadakannya program konversi dari minyak tanah ke LPG pada tahun 2007. Program Nasional Konversi Minyak Tanah ke *Liquefied Petroleum Gas* (LPG) merupakan salah satu program pemerintah yang secara khusus dimaksudkan untuk mengurangi subsidi bahan bakar minyak (BBM) guna meringankan beban keuangan negara, disamping untuk menyediakan bahan bakar yang ramah lingkungan, bersih dan cepat bagi masyarakat. Bila program konversi LPG berjalan sesuai dengan rencana, pemerintah dipastikan dapat menghemat subsidi BBM lebih dari 20 triliun rupiah per tahun (Wahyudi, 2010).

Target konversi dari minyak tanah ke LPG direncanakan tuntas pada tahun 2012 dengan perkiraan 51,77 juta KK (70,89 %) menggunakan gas LPG. Perinciannya, 9,6 juta KK menggunakan LPG 12 kg, 42 juta KK menggunakan LPG 3 kg dan 0,1 juta KK menggunakan jaringan gas kota (Departemen ESDM, 2007). Program konversi tersebut dilakukan dengan membagikan gas LPG ukuran 3 kg kepada masyarakat umum. Dibalik kebaikan dari program konversi tersebut ternyata menimbulkan kontroversi dikarenakan banyaknya kasus ledakan dan kebakaran yang diakibatkan oleh tabung gas tersebut.

Menurut data Pusat Studi Kebijakan Publik (Puskepi), sejak 2008 hingga Juli 2010 telah terjadi 189 ledakan LPG. Di antaranya, 61 kasus terjadi pada 2008, 50 kasus pada 2009 dan 78 kasus pada 2010 (Siswanto, 2010). Pada tahun 2011, hingga bulan Mei, jumlah kecelakaan tabung gas LPG sebanyak 59 kasus. Pada Januari terjadi 12 kasus, Februari 18 kasus, Maret 11 kasus, April 11 kasus dan pada Mei terjadi 7 kasus. Kejadian kecelakaan didominasi pada konsumen LPG 3 kg yaitu sebesar 83 % (Arifenie, 2011).

Kebakaran dan ledakan yang sering terjadi belakangan ini memang kebanyakan dialami oleh tabung LPG 3 kg yang merupakan program subsidi pemerintah. Namun gas LPG berukuran 12 kg yang selama ini dianggap lebih aman oleh masyarakat ternyata juga berpotensi menimbulkan ledakan dan kebakaran. Satgas Elpiji yang dibentuk pemerintah mencatat kasus ledakan tabung gas yang terjadi semester pertama tahun 2010 didominasi oleh kasus ledakan gas pada tabung 12 kg daripada pada tabung 3 kg. Kasus ledakan tabung gas 12 kg berjumlah 25 kasus, sedangkan pada tabung gas 3 kg hanya 12 kasus (Damanik, 2010). Berikut adalah beberapa kasus yang terjadi pada tabung LPG 12 kg :

- 2 Maret 2011, tabung gas berukuran 12 kilogram meledak dan menewaskan satu keluarga di Taman Villa Bandara Blok 6 No 13 RT 09/9, Kecamatan Dadap, Kosambi, Kabupaten Tangerang (Kurniawan, 2011).
- 28 Agustus 2011, sebuah tabung gas elpiji 12 kilogram bocor di Surabaya, Jawa Timur dan menimbulkan ledakan keras. Akibat kejadian ini, dua orang penghuni rumah mengalami luka serius (Ilyasan, 2011).
- 20 Februari 2012, ledakan terjadi di Kecamatan Tambusai, Kabupaten Rokan Hulu (Rohul). Sekeluarga mengalami luka bakar akibat kejadian ini (Rohulnews, 2012).
- 7 Maret 2012, ledakan gas 12 kg terjadi di Kampung Coyudan Utara, Kelurahan Parakan Kauman, Kecamatan Parakan, Temanggung. Kejadian tersebut menyebabkan dua orang tewas dan delapan lainnya luka parah, selain itu peristiwa ini juga menghancurkan tiga rumah warga, dua di antaranya rumah semi permanen (Abduh, 2012).

Ledakan yang terjadi pada tabung gas LPG disebabkan oleh beberapa faktor seperti kebocoran pada tabung, katup, regulator, dan aksesoris. Selain tidak

memenuhi standar, perangkat tabung dan perlengkapan gas LPG juga rusak akibat kegiatan pengoplosan oleh oknum tertentu. Berdasarkan hasil survei Badan Standarisasi Nasional (BSN) tentang penyebab kebocoran gas, pada umumnya terjadi karena permasalahan pada selang, regulator, katup, kompor dan tabung. Selain itu BSN pun mengajukan data yang menyatakan bahwa kesemua bahan untuk kelengkapan kompor gas tidak memenuhi standar, diantaranya 20 persen regulator, 50 persen kompor gas, 66 persen katup tabung, dan 100 persen selang (Nursal, 2010).

Faktor minimnya pengetahuan konsumen mengenai cara memasang dan menempatkan tabung LPG juga berkontribusi dalam banyaknya kejadian kebakaran dan ledakan gas LPG ini. Banyaknya kasus ledakan yang terjadi baik pada tabung gas LPG 3 kg maupun yang 12 kg telah merisaukan masyarakat karena kejadian tersebut menimbulkan banyak kerugian seperti kehilangan atau rusaknya tempat tinggal, luka-luka, dan bahkan sering mengakibatkan korban jiwa. Kerugian juga dialami oleh Pertamina, selama tahun 2008 sampai Juni 2011 Pertamina telah memberikan santunan kepada korban kecelakaan tabung gas LPG sebesar Rp 15,46 miliar. Menurut Direktur Pemasaran dan Niaga Pertamina, Djaelani Sutomo, santunan pada tahun 2011 sendiri adalah sebesar Rp 5,4 miliar (Arifenie, 2011).

Untuk mengetahui seberapa jauh dampak dari kebocoran tabung LPG 12 kg maka perlu dilakukan penelitian mengenai analisis konsekuensi dispersi gas, kebakaran, dan ledakan akibat kebocoran tabung LPG 12 kg dengan membuat suatu pemodelan kebocoran menggunakan *BREEZE Incident Analyst software*. Lokasi yang diambil adalah Kelurahan Manggarai Selatan.

Kejadian kebakaran di DKI Jakarta yang selama ini terjadi disebabkan oleh banyak faktor, salah satunya adalah karena kebocoran pada tabung gas LPG. Pada tahun 2009 terdapat 53 kelurahan di lima wilayah DKI yang merupakan wilayah rawan kebakaran. Terbanyak ada di Jakarta Selatan dengan 13 kelurahan. (Kalsum, 2009). Data kebakaran sepanjang tahun 2012 ini, di DKI Jakarta telah terjadi 139 kasus kebakaran. Adapun wilayah paling banyak terjadi kebakaran yakni Jakarta Selatan sebanyak 37 kasus, disusul Jakarta Utara 29 kasus, Jakarta

Timur 27 kasus, Jakarta Barat 27 kasus dan Jakarta Pusat 19 kasus (Purnomo, 2012).

Selain itu, Pusat Studi Kebijakan Publik (Puskepi) menilai kawasan padat bangunan di Indonesia rawan terhadap kasus ledakan LPG atau gas cair, karena minimnya keberadaan ruang bebas untuk pertukaran udara/ventilasi (Wartakota, 2010). Menurut data Sulin Kependudukan & Catatan Sipil Kota Administrasi Jakarta Selatan, Kecamatan Tebet merupakan kecamatan terpadat di Jakarta Selatan dengan kepadatan 23.234,10 jiwa/km² dengan total jumlah penduduk 221.421 jiwa dan luas wilayah 9,53 km² (Sulin Kependudukan & Catatan Sipil Kota Administrasi Jakarta Selatan, 2010). Kelurahan terpadatnya adalah Manggarai Selatan dengan jumlah penduduk 27.356 dan kepadatan 53.639,22 per km persegi (Arif, 2011).

1.2 Rumusan Masalah

Banyaknya kasus kebakaran dan ledakan yang terjadi pada tabung LPG 12 kg selama beberapa tahun ini dan besarnya kerugian yang ditimbulkan dari kejadian tersebut, maka perlu dilakukan penelitian untuk melihat seberapa jauh jangkauan dari dispersi gas, kebakaran dan, ledakan akibat kebocoran tabung LPG 12 kg dengan melakukan pemodelan/simulasi menggunakan *BREEZE Incident Analyst software* yang dilakukan di Kelurahan Manggarai Selatan agar bisa dijadikan gambaran serta langkah awal dari upaya pencegahan maupun pengendalian. Kelurahan ini diambil sebagai objek penelitian karena Manggarai Selatan merupakan kelurahan terpadat di wilayah Jakarta Selatan. Selain itu, Jakarta Selatan juga merupakan salah satu wilayah DKI Jakarta yang memiliki banyak kelurahan rawan kebakaran dan sepanjang tahun 2012 ini paling banyak mengalami kejadian kebakaran.

1.3 Pertanyaan Penelitian

1. Berapa jauh dampak dispersi gas akibat kebocoran pada tabung LPG propana 12 kg di Kelurahan Manggarai Selatan pada tahun 2012?
2. Berapa jauh dampak kebakaran akibat kebocoran pada tabung LPG propana 12 kg di Kelurahan Manggarai Selatan pada tahun 2012?

3. Berapa jauh dampak ledakan akibat kebocoran pada tabung LPG propana 12 kg di Kelurahan Manggarai Selatan pada tahun 2012?
4. Berapa jauh dampak dispersi gas akibat kebocoran pada tabung LPG butana 12 kg di Kelurahan Manggarai Selatan pada tahun 2012?
5. Berapa jauh dampak kebakaran akibat kebocoran pada tabung LPG butana 12 kg di Kelurahan Manggarai Selatan pada tahun 2012?
6. Berapa jauh dampak ledakan akibat kebocoran pada tabung LPG butana 12 kg di Kelurahan Manggarai Selatan pada tahun 2012?

1.4 Tujuan Penelitian

1.4.1 Tujuan Umum

Mengetahui konsekuensi dari dispersi gas, kebakaran, dan ledakan akibat kebocoran tabung LPG 12 kg di Kelurahan Manggarai Selatan tahun 2012 dengan menggunakan *BREEZE Incident analyst software*.

1.4.2 Tujuan Khusus

1. Diketuainya jangkauan dari dampak dispersi gas akibat kebocoran pada tabung LPG propana 12 kg di Kelurahan Manggarai Selatan pada tahun 2012
2. Diketuainya jangkauan dari dampak kebakaran akibat kebocoran pada tabung LPG propana 12 kg di Kelurahan Manggarai Selatan pada tahun 2012
3. Diketuainya jangkauan dari dampak ledakan akibat kebocoran pada tabung LPG propana 12 kg di Kelurahan Manggarai Selatan pada tahun 2012
4. Diketuainya jangkauan dari dampak dispersi gas akibat kebocoran pada tabung LPG butana 12 kg di Kelurahan Manggarai Selatan pada tahun 2012
5. Diketuainya jangkauan dari dampak kebakaran akibat kebocoran pada tabung LPG butana 12 kg di Kelurahan Manggarai Selatan pada tahun 2012
6. Diketuainya jangkauan dari dampak ledakan akibat kebocoran pada tabung LPG butana 12 kg di Kelurahan Manggarai Selatan pada tahun 2012

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1 Bagi Peneliti

Dapat mengembangkan ilmu pengetahuan di bidang K3 khususnya pada materi ledakan dan kebakaran serta penggunaan *BREEZE Incident analyst*

software dalam menganalisis konsekuensi kebakaran, ledakan, dan dispersi gas dalam hal ini pada tabung LPG 12 kg.

1.5.2 Bagi K3 FKM UI

Dapat menambah khasanah ilmu pengetahuan dalam bidang ledakan dan kebakaran serta konsekuensinya dari suatu kejadian kebocoran gas, khususnya gas LPG 12 kg dengan menggunakan *BREEZE Incident analyst software*.

1.5.3 Bagi Masyarakat

Menambah pengetahuan dan kesadaran masyarakat khususnya di Kelurahan Manggarai Selatan mengenai konsekuensi dan bahaya dari sebuah tabung LPG 12 kg sehingga masyarakat dapat melakukan upaya preventif untuk mencegah kejadian buruk yang mungkin terjadi. Penelitian ini juga dapat menjadi acuan untuk wilayah lainnya yang memiliki kondisi lingkungan yang tidak jauh berbeda.

1.6 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini merupakan analisis konsekuensi dispersi gas, kebakaran, dan ledakan akibat kebocoran tabung LPG 12 kg yang dilakukan untuk mengetahui sejauh mana jangkauan dari dispersi gas, kebakaran, dan ledakan tabung gas LPG 12 kg tersebut dengan menggunakan *BREEZE Incident analyst software*. Selain itu penelitian ini juga dilakukan dengan observasi langsung dan wawancara mengenai data salah satu lokasi rumah dan lingkungan sekitarnya dimana hasil dari *BREEZE Incident Analyst* akan diproyeksikan pada lokasi tersebut. Penelitian ini dilatarbelakangi karena banyaknya kasus ledakan dan kebakaran yang diakibatkan oleh kebocoran gas LPG 12 kg. Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret-Mei 2012 di Kelurahan Manggarai Selatan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Liquefied Petroleum Gas*

LPG atau *Liquefied Petroleum Gas*, merupakan gas hasil produksi dari kilang minyak atau kilang gas, yang komponen utamanya adalah gas propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}) yang dicairkan. Pertamina memasarkan LPG sejak tahun 1969 dengan merk dagang elpiji. Elpiji lebih berat dari udara dengan berat jenis sekitar 2.01 (dibandingkan dengan udara), tekanan uap Elpiji cair dalam tabung sekitar $5.0 - 6.2 \text{ Kg/cm}^2$.

- Perbandingan komposisi, propana (C_3H_8) : butana (C_4H_{10}) = 30:70
- Nilai kalori: + 21.000 BTU/lb.
- Zat mercaptan biasanya ditambahkan kepada LPG untuk memberikan bau yang khas, sehingga kebocoran gas dapat dideteksi dengan cepat.
- Elpiji dipasarkan dalam kemasan tabung (3 Kg, 6 Kg, 12 Kg, 50 Kg) dan curah.

Pada tekanan atmosfer, LPG berbentuk gas, tetapi untuk kemudahan distribusinya, LPG diubah fasanya menjadi cair dengan memberi tekanan. Dalam bentuk cair, LPG mudah didistribusikan dalam tabung ataupun tangki (Pertamina, 2012).

Dalam Media Informasi dan Komunikasi Dewan Energi Nasional disebutkan bahwa berdasarkan komposisi propana dan butana, LPG dapat dibedakan menjadi tiga macam:

- LPG propana, yang sebagian besar terdiri dari C_3
- LPG butana, yang sebagian besar terdiri dari C_4
- Mix LPG, yang merupakan campuran dari propana dan butana.

LPG butana dan LPG mix biasanya dipergunakan oleh masyarakat umum untuk bahan bakar memasak, sedangkan LPG propana biasanya dipergunakan di industri-industri sebagai pendingin, bahan bakar pemotong, untuk menyemprot cat dan lainnya. Menurut NIOSH, LPG memiliki ciri-ciri tidak berwarna, bersifat non korosif, dan tidak berbau.

Tabel 2.1 Sifat Fisik dan Kimia Gas LPG

| | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Berat molekul : 42-58 | Titik didih : >-44 °F |
| Titik nyala : NA (gas) | Potensi ionisasi : 10,95 Ev |
| Kepadatan relatif gas: 1,45-2,00 | Tekanan uap : > 1 atm |
| UEL : 9,5 % (propana) 8,5 % (butana) | LEL : 2,1 % (propana) 1,9 % (butana) |

Sumber : NIOSH, 2007

Tabel 2.2 Nilai Ambang Batas LPG

| |
|--|
| NIOSH IDLH : 2000 ppm (10 % LEL) |
| NIOSH REL : TWA 1000 ppm (1800 mg/m ³) |
| OSHA PEL : TWA 1000 ppm (1800 mg/m ³) |

Sumber : NIOSH, 2007

2.2 Gas Propana

Propana memiliki sifat gas tidak berwarna, tidak berbau, dan mudah terbakar. Zat ini memiliki berat jenis 1,56 dan lebih berat dari udara. Merupakan seri alkana hidrokarbon, dengan rumus C₃H₈. Dibuat dari minyak mentah, gas alam, dan sebagai produk sampingan dari *refinery cracking gas* selama penyulingan minyak bumi. Pada temperatur yang lebih tinggi, propana terbakar di udara, menghasilkan karbon dioksida dan air sebagai produk akhir. Saat pembakaran atmosfer, terjadi produksi asap normal. Sekitar separuh propana diproduksi setiap tahun di AS digunakan sebagai bahan bakar rumah tangga dan industri. Ketika digunakan sebagai bahan bakar, propana tidak lepas dari senyawa terkait seperti butana, etana, dan propilena. Propana digunakan juga sebagai gas tabung, sebagai bahan bakar motor, sebagai refrigeran, sebagai pelarut suhu rendah, dan sebagai sumber dari propilena dan etilena. Propana meleleh pada -189,9 °C (-309,8 °F) dan mendidih pada -42,1°C (-43,8 °F) (Nolan, 1996).

Dalam *Material Safety Data Sheet* yang dikeluarkan oleh Pertamina disebutkan bahwa dalam konsentrasi yang besar propana dapat menyebabkan efek toksikologi akut bagi manusia seperti asfiksia (sesak nafas), peningkatan detak jantung atau nadi, inkoordinasi, sakit kepala, mual, muntah dan disorientasi. Pada konsentrasi 10.000 ppm propana tidak menimbulkan gejala apapun pada manusia, namun pada konsentrasi 100.000 ppm propana dapat menyebabkan sedikit pusing dalam beberapa menit paparan tapi tidak terasa mengiritasi mata, hidung, atau saluran pernapasan (CDC, 1978).

Tabel 2.3 Sifat Fisik dan Kimia Propana

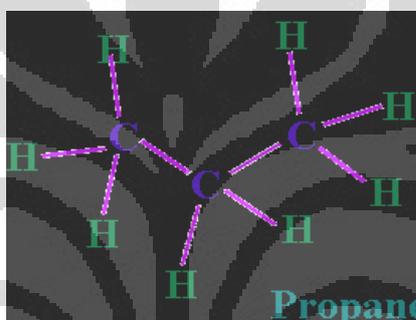
| | |
|-------------------------------|------------------------------|
| Berat molekul : 44,1 g/mol | Titik didih : -44 °F |
| Kelarutan dalam air : 0,01 % | Titik nyala : NA (gas) |
| Potensi ionisasi : 11,07 ev | Kepadatan relatif gas : 1,55 |
| Tekanan uap (70 °F) : 8,4 atm | Titik beku : -306 °F |
| UEL : 9,5 % | LEL : 2,1 % |

Sumber : NIOSH, 2007

Tabel 2.4 Nilai Ambang Batas Propana

| |
|--|
| NIOSH IDLH : 2100 ppm (10 % LEL) |
| NIOSH REL : TWA 1000 ppm (1800 mg/m ³) |
| OSHA PEL : TWA 1000 ppm (1800 mg/m ³) |

Sumber : NIOSH, 2007

**Gambar 2.1 Struktur Kimia Propana**

sumber: Purchon, 2012

2.3 Gas Butana

Gas ini memiliki sifat tidak berwarna dan mudah terbakar. Butana memiliki berat jenis 2,01 dan lebih berat daripada udara. Butana adalah salah satu dari dua hidrokarbon jenuh dengan rumus kimia C₄H₁₀. Dalam n-butana (Normal), rantai tersebut kontinu dan tidak bercabang sedangkan pada i-butana (iso) salah satu atom karbon bercabang ke samping. Perbedaan struktur merupakan perbedaan yang bersifat kecil namun berbeda dalam hal sifat. N-butana meleleh pada -138,3 °C (-216,9 °F) dan mendidih pada -0,5 °C (31,1 °F), dan i-butana meleleh pada -145 °C (-229 °F) dan mendidih pada -10,2 °C (13,6 °F). Kedua butana tersebut terbentuk dari gas alam, minyak bumi, dan gas kilang. Mereka menunjukkan reaktivitas kimia kecil di suhu biasa tetapi mudah terbakar saat dinyalakan di udara atau oksigen. Dalam pembakaran atmosfer produksi asap

biasanya terjadi. Biasanya butana dicampurkan dengan propana untuk dipasarkan dalam bentuk gas tabung (Nolan, 1996).

Dalam *Material Safety Data Sheet* yang dikeluarkan oleh Pertamina disebutkan bahwa dalam konsentrasi yang besar propana dapat menyebabkan efek toksikologi akut bagi manusia seperti asfiksia (sesak nafas), peningkatan detak jantung atau nadi, inkoordinasi, sakit kepala, mual, muntah dan disorientasi. Apabila manusia terpapar oleh zat butana pada konsentrasi 10.000 ppm selama 10 menit dapat menyebabkan kantuk tapi tidak menimbulkan efek sistemik (CDC, 1992).

Tabel 2.5 Sifat Fisik dan Kimia Butana

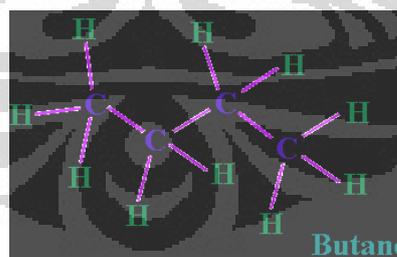
| | |
|---|------------------------------|
| Berat molekul : 58,1 g/mol | Titik didih : 31 °F |
| Kelarutan dalam air : sight | Titik nyala : NA (gas) |
| Potensi ionisasi : 10,63 ev | Kepadatan relatif gas : 2,11 |
| Gravitasi spesifik : 0,6 (liquid at 3 °F) | Tekanan uap : 2,05 atm |
| Titik beku : -217 °F | UEL : 8,4 % |
| LEL : 1,6 % | |

Sumber : NIOSH, 2007

Tabel 2.6 Nilai Ambang Batas Butana

| |
|---|
| NIOSH IDLH : N.D. |
| NIOSH REL : TWA 800 ppm (1900 mg/m ³) |
| OSHA PEL : None |

Sumber : NIOSH, 2007



Gambar 2.2 Struktur Kimia Butana

Sumber: Purchon, 2012

2.4 Tabung LPG

2.4.1 Standar Teknis Tabung Elpiji 12 Kg

Standar teknis tabung elpiji 12 kg adalah sebagai berikut :

- Bentuk : *Cylindris*

- Diameter luar badan tabung (OD) : 300 mm \pm 2 mm
- Tebal plat : 2,9 mm (+ 0,08; -0,04)
- Tinggi tanpa *Hand Guard dan Foot Ring* (kapsul): 461 mm \pm 4 mm
- Tinggi seluruhnya : 589 mm \pm 5 mm
- Volume (isi air) : 26,2 liter \pm 3%
- Berat tabung kosong berikut *valve* : 15,10 kg \pm 0,5 kg
- Tekanan pecah : minimal 110 kg/cm²

2.4.2 Konstruksi Umum Tabung

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1452:2011, konstruksi umum terdiri dari :

1. Badan tabung

Badan tabung terdiri dari bagian atas dan bawah (*top and bottom*) untuk konstruksi 2 bagian dan untuk konstruksi 3 bagian yang terdiri dari bagian atas, tengah, dan bawah. Berfungsi sebagai penampung LPG.

2. Katup (*valve*)

Befungsi membuka dan menutup secara otomatis atau manual yang dilengkapi dengan karet perapat digunakan pada tabung baja LPG. Terdapat karet perapat (*rubber seal*). Dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 1591:2008, katup tabung baja LPG merupakan katup yang dipasang pada tabung, berfungsi sebagai penyalur dan pengaman gas LPG. Terdiri dari 2 jenis yaitu :

- Katup *quick on*

Katup yang membuka dan menutup secara otomatis, dilengkapi dengan satu atau dua katup kendali *spindle* digunakan pada tabung baja LPG kapasitas isi tabung 3 kg sampai dengan 12 kg.

- Katup *handwheel*

Katup yang membuka dan menutup secara manual, digunakan pada tabung baja LPG kapasitas isi tabung 50 kg.

Katup dibuat dari bahan tembaga dengan cara tempa panas. Bahan badan katup harus memiliki kekuatan tarik minimum 392 N/mm² dan regang minimum 20 %. Selain itu harus memiliki kekuatan dampak minimum 14,7

Nm. Semua komponen yang digunakan pada konstruksi katup tabung baja LPG harus dibuat dari bahan yang sesuai dengan fungsi penyaluran gas LPG, kuat, awet, tahan karat, dan bebas dari cacat sehingga menghasilkan keamanan maksimum bila digunakan pada kondisi normal dan terus menerus.

3. Cincin leher (*neck ring*)

Berfungsi sebagai dudukan katup (*valve*)

4. Pegangan tangan (*hand guard*)

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

5. Cincin kaki (*foot ring*)

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

2.4.3 Syarat Mutu

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1452:2011 tabung LPG harus memenuhi syarat mutu berikut ini:

- Setiap permukaan tabung baja LPG tidak boleh ada cacat atau kurang sempurna dalam pengerjaannya yang dapat mengurangi kekuatan dan keamanan dalam penggunaannya, seperti cacat gores pada tabung dan permukaan cat, penyok, dan perubahan bentuk.
- Setiap tabung harus tahan terhadap tekanan hidrostastik dengan tekanan sebesar 31 kg/cm^2 dan ditahan selama 30 detik. Pada tekanan tersebut tidak boleh ada rembesan air atau kebocoran serta tidak boleh terjadi perubahan bentuk.
- Setiap tabung yang telah dilengkapi dengan katup harus dilakukan uji kedap udara (*leakage test*) pada tekanan udara sebesar $18,6 \text{ kg/cm}^2$ dan tidak boleh bocor.
- Saat uji ketahanan pecah. Tekanan saat pecah tidak boleh lebih kecil dari 110 kg/cm^2 .

- Sambungan las setiap tabung harus mulus, rigi-rigi las harus rata, tidak boleh terjadi cacat-cacat pengelasan yang dapat mengurangi kekuatan dalam pemakaian.
- Lapisan cat tidak boleh mengelupas dan mampu melindungi dari karat serta harus mampu memenuhi pengujian daya rekat lapisan cat dan karat.

2.4.4 Penandaan

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1452:2011, setiap tabung yang telah dinyatakan lulus uji harus diberi penandaan dengan huruf yang tidak mudah hilang (*embos/stamp*) sekurang – kurangnya sebagai berikut:

- Identitas perusahaan / merek / logo
- Nomor urut pembuatan
- Berat kosong tabung
- Bulan dan tahun pembuatan
- Tekanan pengujian (*test pressure*)
- Volume air
- Lingkaran merah pada cincin leher
- Tanda uji ulang (*stamp*)

2.5 Hidrokarbon Rilis

Hidrokarbon rilis biasanya terjadi pada industri perminyakan. Biasanya terjadi gas, *mist* atau *liquid* dan seringkali atmosfer atau tekanan rilis. Gas dan kabut rilis dianggap lebih signifikan karena mereka bersifat *ignitable*, berada dalam keadaan gas dan juga karena menimbulkan *vapor cloud* yang jika dinyalakan dapat langsung merusak secara luas dibandingkan dengan kebakaran cairan yang mungkin kurang rentan terhadap pengapian dan umumnya bersifat lokal serta relatif terkendali. Penyebab rilis antara lain karena korosi eksternal dan internal, peralatan yang aus, cacat metalurgi, kesalahan operator maupun pihak ketiga. (Nolan, 1996).

Umumnya rilis dikategorikan sebagai berikut:

1. *Catastrophic failure*. Sebuah vesel atau tangki yang terbuka sepenuhnya maka isinya akan rilis. Jumlah rilis atau pelepasan tergantung dari ukuran wadahnya.

2. *Long rupture*. Sebuah bagian dari pipa dihilangkan menyebabkan dua sumber gas.
3. *Open pipe*. Ujung pipa yang terbuka penuh memaparkan luas penampang pipa.
4. *Short rupture*. keretakan terjadi pada sisi pipa atau selang. Luas penampang dari pembukaan biasanya akan sama dengan luas penampang pipa atau selang.
5. *Leak*. Kebocoran biasanya terjadi dari kegagalan katup atau segel pompa kemasan, korosi yang bersifat lokal, atau efek erosi yang biasanya kecil untuk ukuran lubang pin.
6. *Vent, Drains, Sample port Failures*. Pipa yang berdiameter kecil, katup yang terbuka atau terjadi kegagalan yang menyebabkan terjadinya pelepasan uap atau *liquid* ke lingkungan secara tiba-tiba.
7. *Normal Operational Releases*. Proses penyimpanan atau saluran ventilasi pembuangan, katup outlet, segel tangki yang dianggap dalam keadaan normal dan dapat diterima yang lepas ke atmosfer (Nolan, 1996).

2.5.1 Gas Rilis

Ada sejumlah faktor yang menentukan laju pelepasan dan geometri awal dari pelepasan gas hidrokarbon, yang paling signifikan adalah apakah gas dibawah tekanan atau rilis pada kondisi atmosfer. Bergantung dari sumber rilis gas yang lepas dapat berlangsung selama beberapa menit atau beberapa hari sampai pasokan terisolasi, habis atau tidak bertekanan sepenuhnya (Nolan, 1996).

Jika pelepasan dibawah kondisi atmosfer, gas akan naik atau turun tergantung dari kepadatan uapnya dan akan diarahkan sesuai jalur angin pada umumnya. Dalam ketiadaan angin, gas yang lebih berat akan berkumpul dititik bawah medan, Biasanya rilis gas atmosfer tersebar dalam jarak relatif dekat dengan titik sumber mereka, biasanya sekitar 3 meter (10 ft). Atmosfer rilis tersebut jika terignisi akan terbakar dengan jarak relatif dekat dengan titik sumber, biasanya pada posisi vertikal dengan nyala yang pendek (Nolan, 1996).

Untuk gas rilis di bawah tekanan ada sejumlah faktor penentu yang mempengaruhi tingkat pelepasan dan geometri awal dari gas yang lepas. Gas yang bertekanan dilepaskan sebagai jet gas dan tergantung pada sifat kegagalan yang

mungkin diarahkan pada arah manapun. Semua atau sebagian dari sebuah jet gas dapat dibelokkan oleh struktur sekitar atau peralatan. Jika kemampuan isolasi yang memadai tersedia dan digunakan, rilis awal akan ditandai dengan tingginya aliran dan momentum yang menurun karena isolasi yang diberikan atau diterapkan telah habis. Beberapa jarak dari titik pelepasan, tekanan gas yang dilepaskan menurun. Gas yang lolos biasanya sangat turbulen dan udara akan ditarik ke dalam campuran. Pencampuran udara juga akan mengurangi kecepatan dari jet gas yang lolos. Hambatan *platform* atau stuktur tersebut akan mengganggu kekuatan momentum setiap rilis bertekanan. Rilis ini umumnya akan menghasilkan awan uap, yang jika tidak dinyalakan akan menyebar di atmosfer. Dimana proses dispersi turbulen adalah lazim (misalnya, tinggi tekanan arus, angin, *congestion*, dll), gas akan menyebar dalam dimensi horizontal dan vertikal sementara terus bercampur dengan oksigen yang ada di udara. Awalnya gas lolos di atas UEL tetapi dengan efek dispersi dan turbulensi mereka dengan cepat masuk ke dalam batas yang mudah terbakar. Jika tidak dinyalakan dan diberi jarak yang memadai mereka akhirnya akan menyebar dibawah LEL (Nolan, 1996).

Pada umumnya gas memiliki kepadatan uap yang rendah dan kemudian akan meningkat. Dalam beberapa peristiwa, ketinggian kepulan gas akan sebagian besar dibatasi oleh stabilitas atmosfer di sekeliling dan kecepatan angin. Jika gas dinyalakan, kepulan gas akan naik karena peningkatan daya apung dari gas bertemperatur tinggi akibat proses pembakaran (Nolan, 1996).

2.5.2 Liquid Rilis

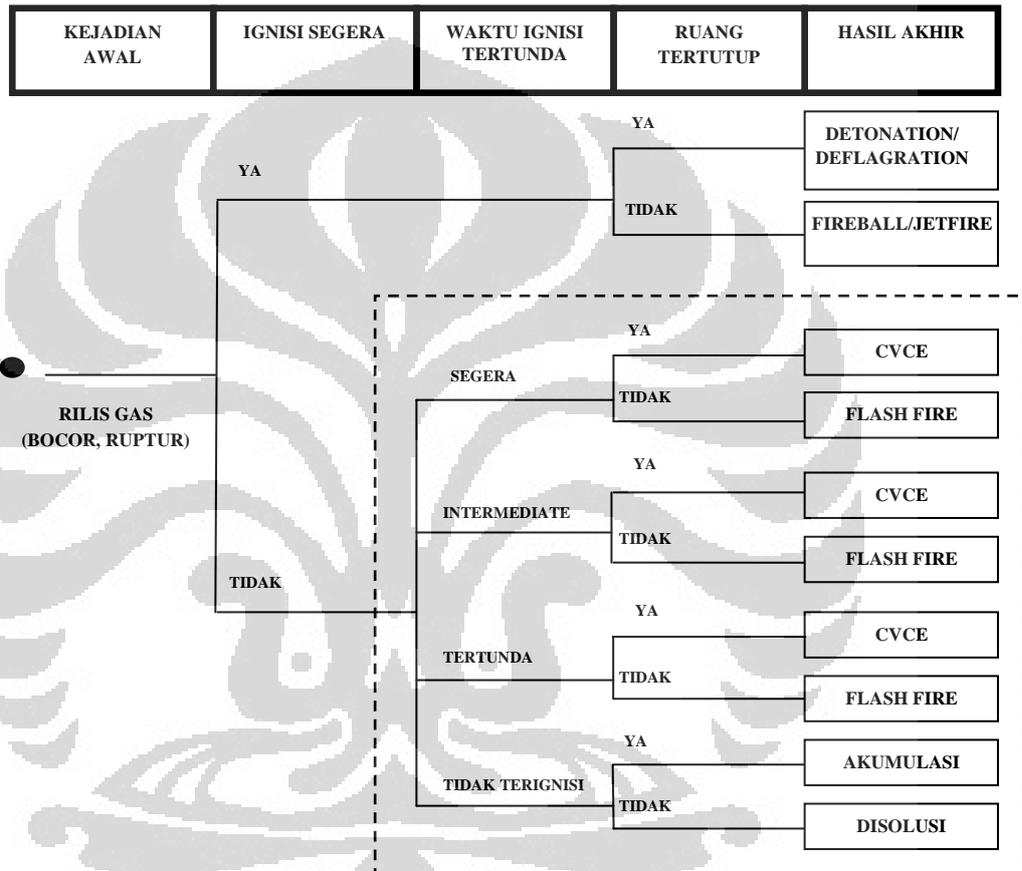
Liquid rilis ditandai dengan fitur berikut :

1. Kebocoran dan *drip* : kebocoran dan *drip* ditandai dengan pelepasan dari pelepasan dengan rilis diameter kecil tinggi frekuensi. Mereka biasanya disebabkan oleh korosi dan kegagalan erosi perpipaan, kegagalan mekanik dan pemeliharaan gasket dan katup.
2. *Streaming* : rilis ukuran sedang dari tingkat frekuensi sedang sampai rendah. Biasanya bukaan berdiameter kecil dari pipa yang belum ditutup secara memadai.
3. *Sprays and mist* : rilis berukuran menengah dengan frekuensi sedang atau moderate yang dicampur langsung bercampur dengan udara pada saat rilis.

Biasanya pada pipa gasket, segel pompa, dan kegagalan katup dibawah tekanan.

4. *Rupture* : rilis besar dengan frekuensi sangat rendah. Biasanya kegagalan bejana, tangki pipa dari pihak internal, eksternal, atau pihak ketiga dan kondisi api (Nolan, 1996).

2.5.3 Kemungkinan Konsekuensi dari Kebocoran Gas



Gambar 2.3 Kebocoran Gas

Sumber : Sklavounos and Rigas, 2005

Rilis dalam jumlah yang besar dari gas mudah terbakar dapat menimbulkan bahaya yang signifikan bagi lingkungan karena kemampuan mereka untuk menghasilkan bencana kebakaran dan ledakan. Faktor dasar yang mempengaruhi secara substantial dari kejadian kecelakaan adalah waktu penyalaan dalam menghasilkan awan dan tingkat *confinement* atau kurungan yang diberikan lingkungan sekitarnya (Sklavounos and Rigas, 2005).

Faktor yang pertama, berkaitan dengan pencampuran bahan bakar yang lepas dengan udara. Ketika terjadi ignisi/penyalaan langsung, awan gas yang bercampur dengan oksigen atmosfer masih terbatas, dengan demikian penyalaan terjadi pada lapisan luar, sehingga inti awan terlalu banyak bahan bakar untuk menyala. Hal ini yang menyebabkan terjadinya bola api atau *fire ball*. Sebaliknya ketika penyalaan tertunda, awan bahan bakar cukup bercampur dengan udara, sehingga setelah penyalaan itu berkedip/*flashes* kembali. Hal ini berbeda dengan bola api karena berlangsung lebih cepat dan dapat membakar dari dalam ke lapisan luar mudah terbakar (Sklavounos and Rigas, 2005).

Jika cukup bercampur dengan udara pembakaran cepat terjadi awalnya dengan peningkatan tekanan media. Pembakaran subsonik ini dikenal sebagai deflagrasi dan mungkin terjadi bila campuran bahan bakar dan udara dalam batas mudah terbakar, namun jauh dari stoikiometri. Jika terdapat cukup kurungan/*confinement* dan ada tambahan kandungan oksigen dalam awan sekitar *zero oxygen balance*. Perkembangan kecepatan api meningkat cepat menghasilkan gelombang ledakan. Dalam hal ini, bagian depan api menjalar dengan kecepatan supersonik dan *shock wave* yang kuat berkembang dari awan. Istilah ini disebut dengan detonasi (Sklavounos and Rigas, 2005).

Khusus untuk campuran gas yang meledak di ruang terbatas (*confined spaces*) dikenal dengan *confined vapor cloud explosion* (CVCE) dimana baik detonasi atau deflagrasi terjadi. Dalam bahan bakar yang miskin atau kaya campuran, tapi satu yang masih dalam batas mudah terbakar, *flame front* bergerak pada kecepatan rendah dan tekanan meningkat tidak signifikan. Sebuah fenomena ini dikenal dengan *flash fire* (Sklavounos and Rigas, 2005).

2.6 Dispersi Atmosferik

Ketika terjadi kebocoran gas dari suatu proses ada batas antara saat gas dipengaruhi oleh karakteristik proses atau termodinamika (yaitu tekanan, suhu, dll) dan dimana ia menjadi dipengaruhi oleh kondisi sekitar (yaitu kecepatan angin, medan, suhu, dll) (Draeger, 2010).

Dispersi akan dijelaskan lebih lanjut sebagai berikut :

- *Buoyant gas*

Jika pelepasan / rilis gas stabil maka akan segera menghasilkan awan atau *plume*. Jika awan atau *plume* tersebut lebih dari 2% kurang padat daripada udara kemudian dilepaskan maka dikatakan menjadi ringan dan akan naik secara alami. Gas panas bereaksi dengan cara identik. Pergerakan relatif dari awan gas menimbulkan turbulensi di pinggirannya, menghasilkan pencampuran yang cepat dari gas dan udara. Pencampuran tersebut memperluas naiknya awan gas secara lateral. Karena awan gas naik yang mengencerkan dan memperluas secara lateral maka densitasnya menurun, sehingga awan gas menjadi netral terhadap udara. Setelah awan gas kehilangan daya apung/*buoyancy* maka kondisi ambien menjadi dominan dan awan gas dapat bergerak kemana saja. Contoh dari gas ringan adalah metana, amonia, dan hidrogen. Secara statistik hanya 20 % dari semua gas rilis yang bersifat apung/ringan. Seperti semua gas rilis, tahap terakhir dari awan gas adalah ketika menjadi netral dengan udara terlihat (Draeger, 2010).

- *Neutrally buoyant Gas*

Gas ini memiliki kepadatan hampir sama dengan udara. Gas-gas yang termasuk dalam *neutrally buoyant gas* ini adalah etilen, karbonmonoksida, dan etanol. *Neutrally buoyant gas* tidak memiliki pergerakan intrinsik naik atau turun. Awan gas didorong oleh angin atau udara buatan yang dialirkan. Awan gas bercampur sangat cepat dengan atmosfer sekitarnya karena turbulensi dan pusaran terlihat (Draeger, 2010).

- *Dense gas*

Gas atau uap padat yang jauh lebih berat daripada udara dan secara kolektif membentuk kelompok terbesar dari semua zat dispersi. Kelompok zat tersebut mencakup gas yang lebih berat dari udara, uap dari cairan yang menguap, dan awan gas dingin. Kekuatan migrasi gas padat adalah gravitasi, sehingga dispersi biasanya mengikuti gradien medan/daerah. Sebuah awan gas padat akan jatuh seperti air terjun, aliran sepanjang permukaan seperti air, dan dapat melakukan perjalanan jarak jauh sebelum

pengenceran secara alami terjadi atau turbulensi yang menyebarkan awan secara keseluruhan. Jarak yang panjang dari dispersi membuat area bahaya yang lebih besar. Awan gas padat tidak mudah terdistorsi oleh angin, tetapi struktur, dinding, dan tanggul dapat mengubah atau mengontrol aliran dari pergerakan awan gas (Draeger, 2010).

Awan gas padat sangat berbahaya karena dapat menghilang dengan memasuki ruang bawah tanah, terowongan, sumur, dll yang penanggulangannya menjadi sangat sulit. Tetapi jalur migrasi gas tersebut sangat mudah diprediksi dan dekat dengan tanah. Jika awan gas terdiri dari gas dingin yang biasanya *buoyant* pada suhu kamar maka awan gas akan bertindak sedikit berbeda. Awalnya suhu awan akan membuatnya berperilaku sebagai awan gas padat. Karena panas awan gas naik/meningkat, karakteristiknya akan berubah dari padat menjadi ringan. Awan gas dingin padat kadang-kadang mudah untuk dilihat karena mereka mengembun uap air dari atmosfer sekitarnya untuk menghasilkan kabut yang terlihat (Draeger, 2010).

2.7 Kebakaran

2.7.1 Pengertian Kebakaran

Ada beberapa pengertian mengenai kebakaran, diantaranya adalah :

- Kebakaran adalah api yang tidak terkendali di luar kemampuan dan keinginan manusia (Ramli, 2010).
- Menurut Depnaker kebakaran adalah suatu reaksi oksidasi eksotermis yang berlangsung dengan cepat dari suatu bahan bakar yang disertai dengan timbulnya api atau penyalaan (Depnaker dalam Wisaksono 2011).
- Kebakaran adalah reaksi kimia yang melibatkan oksidasi cepat (pembakaran) dari bahan bakar (Fire Risk UK).

2.7.2 Teori Kebakaran

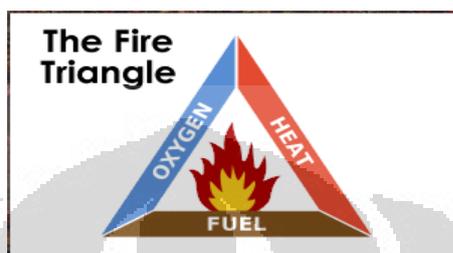
Ada beberapa teori yang menjelaskan mengenai kebakaran diantaranya adalah:

1. Teori segitiga api (*Fire Triangle*)

Menurut teori ini, kebakaran terjadi karena adanya 3 faktor yang menjadi unsur api yaitu :

- Bahan bakar (*fuel*)
- Sumber panas (*heat*)
- Oksigen

Kebakaran dapat terjadi jika ketiga unsur api tersebut saling bereaksi satu dengan yang lainnya (Ramli, 2010).



Gambar 2.4 Segitiga Api

Sumber: CVCC, 2010

2. Teori Tetrahedron

Teori segitiga api kemudian berkembang menjadi teori tetrahedron dimana kebakaran dapat terjadi jika terdapat unsur keempat yang disebut reaksi berantai. Tanpa adanya reaksi pembakaran maka api tidak akan dapat hidup terus-menerus (Ramli, 2010).



Gambar 2.5 Segiempat Api

Sumber: CVCC, 2010

2.7.3 Bentuk Kebakaran

1. *Flash fire*

Api jenis ini terjadi jika suatu uap bahan bakar di udara atau disebut *vapor cloud* tiba-tiba menyala. Api akan menyala sekilas seperti kilat menuju pusat apinya dan biasanya berlangsung dalam waktu singkat. Jenis api ini akan mengeluarkan energi panas yang tinggi yang mencapai 0,1 - 0,3 psi sehingga dapat menghanguskan benda atau orang yang berada

di dekatnya. Kebakaran ini sering terjadi dalam kasus kebocoran gas LPG di dalam ruangan dapur (Ramli, 2010).

Jika pelepasan gas yang mudah terbakar tidak dinyalakan segera maka kepulan uap akan terbentuk. Hal ini akan melayang dan tersebar oleh angin lingkungan atau ventilasi alami. Jika gas dinyalakan pada saat ini, tetapi tidak meledak, akan menimbulkan kebakaran *flash*, dimana seluruh *vapor cloud* membakar dengan sangat cepat. *Flash fire* tidak sampai mengakibatkan *fatality* atau kematian namun dapat merusak struktur baja (Nolan, 1996).



Gambar 2.6 *Flash Fire*

Sumber : Assael & kakosimos, 2010

2. Bola Api (*Fire Ball*)

Biasanya terjadi akibat gas bertekanan dalam suatu wadah yang tiba-tiba bocor akibat pecah. Misalnya tangki LPG yang tiba-tiba bocor, mengakibatkan gas mengembang dengan cepat ke udara dan tiba-tiba terbakar. Salah satu penyebab terjadinya bola api adalah peristiwa BLEVE (*Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion*) (Ramli, 2010).

Bola api dapat memancarkan panas dalam jumlah sangat besar yang dapat menyebabkan kerusakan material, cedera, atau kematian pada area yang lebih besar dari radius api (Assael & kakosimos, 2010).



Gambar 2.7 Fire Ball

Sumber : Assael & kakosimos, 2010

3. Kolam api (*Pool Fire*)

Kebakaran terjadi jika suatu cairan tumpah dan mengenai suatu tempat atau dalam wadah terbuka seperti tangki timbun. Besarnya api ditentukan oleh jumlah bahan yang terbakar, sifat kimiawi dan fisis bahan, serta kondisi lingkungan misalnya arah angin dan cuaca (Ramli, 2010).

Pool fire memiliki beberapa karakteristik *jet fire* vertikal, tetapi pemanasan konvektifnya akan jauh lebih sedikit. Sekali kolam cairan dinyalakan, gas menguap dengan cepat dari kolam karena dipanaskan oleh radiasi dan konveksi panas dari nyala api (Nolan, 1996).



Gambar 2.8 Pool Fire

Sumber : Assael & kakosimos, 2010

Universitas Indonesia

4. Api Jet (*Jet Fire*)

Kebakaran ini terjadi jika bahan bakar keluar dalam lubang yang kecil dengan tekanan yang tinggi (Ramli, 2010). Kebakaran di industri minyak dan gas biasanya selalu dikaitkan dengan kebakaran jenis *jet fire* ini. *Jet fire* merupakan sebuah aliran bertekanan dari gas yang mudah terbakar atau cairan yang teratomisasi (seperti pelepasan tekanan tinggi dari pipa gas atau peristiwa ledakan sumur minyak) yang terbakar. Jika terjadi pelepasan dan kemudian dinyalakan segera setelah itu terjadi, (dalam waktu 2-3 menit), hasilnya adalah api jet intens. Api jet ini stabil ke titik yang dekat dengan sumber pelepasan, sampai pelepasannya berhenti. *Jet fire* biasanya terjadi sangat lokal, tetapi sangat merusak semua yang ada di dekatnya (Nolan, 1996).



Gambar 2.9 *Jet Fire*

Sumber : Assael & kakosimos, 2010

2.8 Ledakan

2.8.1 Sifat Ledakan Hidrokarbon

Dalam *Handbook Of Fire And Explosion Protection Engineering Principles For Oil, Gas, Chemical, And Related Facilities* dijelaskan bahwa suatu uap yang mudah terbakar meledak di bawah seperangkat kondisi yang sangat spesifik. Ada dua mekanisme ledakan yang perlu dipertimbangkan ketika mengevaluasi insiden uap yang mudah terbakar yaitu detonasi dan deflagrasi. Detonasi adalah reaksi kejutan dimana api bergerak pada kecepatan supersonik

(lebih cepat dari suara). Sedangkan deflagrasi adalah dimana api bergerak pada kecepatan subsonik (Nolan, 1996).

- Proses Sistem Ledakan (Detonasi)

Detonasi dapat terjadi dalam padatan dan cairan, sangat sering terjadi di fasilitas minyak pada campuran uap hidrokarbon dengan udara atau oksigen. Detonasi akan berkembang lebih cepat pada tekanan awal di atas ambien atmosfer tekanan. Jika tekanan awal tinggi maka tekanan detonasi akan lebih parah dan merusak. Detonasi menghasilkan tekanan jauh lebih tinggi dari apa yang dianggap ledakan biasa. Pada kebanyakan kasus, proses vesel atau sistem pipa tidak akan dapat mengandung tekanan detonasi. Prosedur yang aman untuk menghindari terjadinya proses sistem detonasi adalah dengan mencegah pembentukan uap yang mudah terbakar dan campuran udara di dalam vesel dan sistem perpipaan. Detonasi bergerak pada kecepatan supersonik dan akan lebih merusak (Nolan, 1996). Gelombang detonasi akan merambat dengan kecepatan 1500-2000 m/s dan tekanan puncak biasanya 15-20 bar (Bjerketvedt, Bakke dan Wingerden, 1997).

- Deflagrasi

Deflagrasi paling umum terjadi dan menjalar pada kecepatan subsonik. Biasanya kecepatan nyala api berkisar antara 1-1000 m/s. Kecepatan nyala api sangat kuat bergantung pada awan gas dan kondisi geometri, baik pada peralatan proses, perpipaan, atau bangunan (Bjerketvedt, Bakke dan Wingerden, 1997).

- *Vapor Cloud Explosions*

Unconfined vapor cloud explosion (UCVE) adalah istilah populer yang menjelaskan mengenai adanya ignisi dari pelepasan gas yang mudah terbakar atau pelepasan uap di atmosfer terbuka. Gas atau *vapor cloud* yang dinyalakan pada kondisi tertentu akan menyebabkan ledakan. Dua jenis ledakan diklasifikasikan menjadi 2 yaitu detonasi (*supersonic, shock reaction*) dan deflagrasi (*subsonic, turbulent flame*). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa *vapor cloud explosion* termasuk deflagrasi bukan detonasi (Nolan, 1996).

Vapor cloud explosion dapat terjadi jika :

1. Harus ada pelepasan yang signifikan dari bahan yang mudah terbakar
2. Bahan mudah terbakar harus cukup bercampur dengan udara di sekitarnya.
3. Harus ada sumber pengapian
4. Harus cukup *confinement*, *congestion*, atau turbulensi di daerah pelepasan.

2.8.2 Jenis Ledakan Awan Uap

Ledakan awan uap terdiri dari :

- *Semi-confined Vapor Cloud Explosions*

Hal ini memerlukan beberapa derajat *confinement*, biasanya di dalam sebuah gedung. Mekanisme pembentukan tekanan adalah ekspansi gas panas seperti terbakar, melebihi kapasitas ventilasi. Tidak ada gelombang kejut (*shock wave*) yang tercipta karena umumnya ruang terlalu kecil atau gas yang ada tidak cukup untuk menyala untuk mempercepat kecepatan yang ada. ledakan ini dapat terjadi dalam jumlah gas yang kecil (Nolan, 1996).

- *Vapor Cloud Explosions*

Ledakan ini dapat terjadi di daerah bebas (*unconfined area*), meskipun beberapa tingkat *congestion* masih diperlukan. *Overpressure* ini dibuat oleh pembakaran gas atau campuran udara yang terjadi secara cepat. Kecepatan nyala bisa mencapai lebih dari 2.000 meter per detik (6.000 fth) dan menciptakan gelombang kejut. *Vapor cloud explosion* hanya dapat terjadi pada awan gas dalam jumlah yang relatif besar (Nolan, 1996).

- *Semi-confined explosion overpressures*

Overpressure yang berkembang dari *semi confined explosion* bergantung dari :

1. volume area : area yang batasannya besar mengalami *overpressures* yang terbesar
2. Luas ventilasi : tingkat kurungan (*confinement*) sangatlah penting. Adanya bukaan baik pada ventilasi permanen atau yang ditutupi dengan tutupan cahaya sangat mengurangi prediksi *overpressure*.

3. Hambatan. Apabila ada hambatan maka dapat menciptakan turbulensi pada awan yang menyala, sehingga meningkatkan *overpressure*.
 4. *Ignition point* : *ignition point* pada jarak yang jauh dari area ventilasi dapat meningkatkan *overpressure*.
 5. *Gas mixture* : pencampuran dengan udara diketahui sedikit lebih reaktif dan menciptakan *overpressures* lebih tinggi.
 6. *Gas mixing* : gas mudah terbakar harus dicampur dengan udara untuk mencapai batas jangkauan ledakan (Nolan, 1996).
- *Vapor cloud explosion overpressure*

Penelitian mengenai ledakan *vapor cloud* telah menggunakan korelasi antara massa gas dalam awan dan kesetaraan massa dengan TNT untuk memprediksi *overpressures* ledakan. Ini selalu dianggap memberikan hasil konservatif, tapi bukti penelitian terbaru mengindikasikan bahwa pendekatan ini tidak akurat untuk gas alam dan campuran udara. Model TNT tidak berkorelasi dengan baik di daerah yang dekat dengan titik pengapian, dan umumnya lebih memperkirakan tingkat *overpressure* di *field* dekat. Percobaan pada ledakan metana pada area *unconfined* telah mengindikasikan kelebihan tekanan maksimum 0,2 bar (2,9 psi). *Overpressure* ini kemudian meluruh dengan jarak. Oleh karena itu model komputer yang lebih baru telah dihasilkan untuk lebih menstimulasikan efek dari gas nyata dan ledakan udara dari bukti sejarah dan eksperimental (Nolan, 1996).

Kriteria dipilih untuk bahaya kelebihan tekanan biasanya diambil 0,2 bar (3,0 psi) meskipun korban jiwa karena efek langsung dari ledakan mungkin memerlukan hingga 2,0 bar (29,0 psi) atau lebih, tingkat yang lebih rendah dapat mengakibatkan kerusakan struktur dan bangunan yang mungkin menyebabkan terjadinya kematian. Sebuah *overpressure* dari 0,2 - 0,28 bar (3-4 psi) akan menghancurkan sebuah panel bangunan baja tanpa bingkai dan kerusakan parah pada fasilitas struktur, dan 0,35 - 0,5 bar (5-7 psi) akan menyebabkan kehancuran total rumah (Nolan, 1996).

Sebuah gas alam dan udara campuran hanya mungkin meledak jika semua kondisi berikut terpenuhi :

1. Derajat yang tinggi *congestion* dari hambatan untuk menciptakan turbulensi

2. Area yang luas, memungkinkan bagian depan api untuk mempercepat untuk kecepatan yang tinggi.
3. Massa mudah terbakar minimal 100 kg (220 lbs.) Umumnya diperlukan api percepatan (Nolan, 1996).

2.8.3 BLEVE

BLEVE merupakan tipe insiden yang timbul dari menurunnya tegangan leleh dari dinding vesel atau pipa ke titik yang tidak dapat memuat tekanan yang dikarenakan oleh desain dan konstruksi wadah. Hal ini menyebabkan kegagalan pada kontainmen dan menghasilkan bola api besar. Biasanya BLEVE terjadi setelah sebuah wadah logam mengalami panas di atas 538 °C (1.000 °F). Logam tersebut mungkin tidak mampu menahan stres internal dan karena itu kegagalan terjadi. Cairan yang terkandung dalam vesel biasanya bertindak sebagai penyerap panas, sehingga bagian yang basah dari wadah biasanya tidak berisiko, hanya pada permukaan ruang uap internal. Kebanyakan BLEVE terjadi saat wadah berisi kurang dari 1/2-1/3 dari cairan yang full. Penguapan cairan dapat mengekspansi energi seperti terlemparnya bagian dari wadah sejauh 0,8 km (1/2 mil) dari ruptur dan korban jiwa dari insiden tersebut sampai dengan 244 meter (800 ft) jauhnya. Bola api dapat terjadi pada saat ruptur yang menyebabkan adanya pemajanan panas yang hebat bagi orang didekatnya (Nolan, 1996).

2.8.4 Model Prediksi Efek dari Ledakan

Untuk mensimulasikan atau memprediksi efek dari ledakan awan uap biasanya menggunakan beberapa model :

- ***Equivalent TNT Mass Method***

Menurut metode ini, kekuatan ledakan awan uap setara dengan massa TNT (*Tri-nitrotoluene*) yang akan menghasilkan kekuatan ledakan yang sama. Metode ini sangat mudah digunakan dan ada banyak data untuk mengkarakterisasi ledakan TNT. Namun, VCE berperilaku secara signifikan berbeda dari ledakan TNT atau bahan peledak serupa, dan dengan demikian perhitungan dengan metode ini biasanya melebih-lebihkan efek ledakan. Secara umum, metode TNT digunakan saat ini hanya sebagai perkiraan pertama dalam penentuan efek ledakan (Lea &

Ledin, 2002 dalam Assael & kakosimos, 2010). Nilai dari *percent yield of TNT* adalah sebesar 3-5 % (Bjerketvedt, Bakke dan Wingerden, 1997).

- ***Multi-Energy Method***

Berbeda dengan metode simulasi biasa, dimana ledakan awan uap dianggap sebagai suatu yang sudah ada, metode ini mengasumsikan bahwa ledakan awan uap terdiri dari beberapa subledakan. Asumsi paling penting dari metode ini adalah kekuatan dari *explosion blast*. Dan dengan demikian *overpressure* berkembang, tergantung pada tata letak ruang dimana awan itu menyebar. Lebih tepatnya, hanya terhalang atau terhalang sebagian (daerah dengan kepadatan peralatan yang tinggi) akan memberikan kontribusi untuk *explosion blast* yang kuat. Bagian sisa dari awan perlahan-lahan akan terbakar, tanpa kontribusi yang serius terhadap kekuatan ledakan itu (Lea & Ledin, 2002 dalam Assael & kakosimos, 2010).

- ***Baker-Strehlow Method***

Metode ini pertama kali diterbitkan pada tahun 1996 dan didasarkan pada ide yang sama dari daerah terhalang yang awalnya diajukan oleh metode multi-energi. Dalam kedua metode ini, adanya hambatan dalam perluasan api menyebabkan ledakan awan dengan intensitas yang lebih tinggi.

- Dalam metode multi-energi, daerah terhalang ditentukan dalam daerah *explosive blast* dengan intensitas yang tinggi dan ditandai oleh koefisien *explosion blast*.
- Dalam metode baker-Strehlow, parameter penting dalam pemilihan intensitas *explosion blast* adalah kecepatan perambatan api, yang ditentukan oleh :
 - a. *The way the flame front propagates*
 - b. Reaktivitas bahan bakar
 - c. Kepadatan hambatan

Pertama dimensi awan akan ditentukan dan kemudian energi dari ledakan persis seperti yang dilakukan dalam kasus metode Multi-Energi. Setelah itu *overpressure* akan dihitung sebagai fungsi dari skala jarak,

Universitas Indonesia

dengan kecepatan api sebagai parameter (Lea & Ledin, 2002 dalam Assael & kakosimos, 2010).

2.9 BREEZE Incident Analyst

BREEZE Incident Analyst merupakan sebuah *software* yang dikembangkan oleh Trinity Consultants. *Software* ini digunakan untuk pemodelan dari efek pelepasan bahan kimia sehingga dapat dilakukan perencanaan keadaan gawat darurat. *Software* ini mudah dan cepat digunakan. Caranya dengan memasukkan input yang dibutuhkan dan opsional yang terkait dengan pelepasan/rilis bahan kimia (misalnya ukuran dan posisi tangki yang ruptur, bentuk tangki penyimpanan, volume tumpahan, dan keberadaan suatu cekungan), dan memilih algoritma yang tepat. Hasil disediakan dalam format tabular dan grafis termasuk kontur 2D, volume 3D, dan grafik *time-series*. *BREEZE Incident analyst* ini dapat menganalisis tiga bahaya utama yaitu *Toxic* (dispersi atmosfer dari suatu bahan kimia), *Fire* (radiasi panas dan kenaikan temperatur), dan *Explosion* (*overpressures* ledakan) (Breeze Incident Analyst, 2012).

2.9.1 Fitur dari BREEZE Incident Analyst

- Menganalisis beberapa ancaman dari beberapa lokasi pelepasan
- Dapat digunakan untuk perencanaan atau menganggapi pelepasan kimia dalam situasi dengan tekanan tinggi
- Menampilkan peta untuk membantu dalam menentukan posisi yang tepat dari rilis dan target
- Mencakup beberapa model standar industri
- Sumber jangka modul untuk mendefinisikan parameter rilis
- Memiliki *chemical library* yang mencakup lebih dari 150 bahan kimia beracun dengan kemampuan untuk menambahkan bahan kimia baru atau campuran
- Dapat memeriksa diagnosa
- Terdapat ringkasan dan laporan rinci dari hasil model
- Menerima pengamatan meteorologi (Breeze Incident Analyst, 2012).

2.9.2 Tipe bahaya

BREEZE Incident Analyst dapat menganalisis 3 tipe bahaya :

Universitas Indonesia

1. Dispersi gas beracun

Mengevaluasi toksisitas udara yang terkontaminasi dengan melakukan pemodelan gerakan dan dispersi dari awan gas kimia. *Toxic hazard* dievaluasi dengan menggunakan model dispersi industri standar untuk menghitung konsentrasi pada jarak yang searah angin dari sumber (Breeze Incident Analyst, 2012).

a. *Neutrally buoyant models*

- AFTOX

Merupakan dispersi model gaussian yang memperkirakan konsentrasi searah angin dari pelepasan kimia dimana *dispersing plume* memiliki densitas yang sama seperti udara disekitarnya (Breeze Incident Analyst, 2012).

AFTOX dikembangkan untuk model rilis *neutrally buoyant gas* dan tumpahan cairan yang menguap menjadi *neutrally buoyant gas*. Rilis gas terbatas pada *neutrally buoyant (non-dense, non-buoyancy)* tanpa kecepatan dan berasal dari titik (non-area) sumber. Tumpahan cairan terbatas pada satu fase rilis dari cairan dengan *volaity* rendah. Suatu cairan dengan volatilitas yang rendah membentuk kolam cair saat rilis dengan laju emisi atmosfer (laju pembentukan awan uap) tergantung pada penguapan dari kolam. Sumber-sumber dapat dimodelkan baik durasi *continuous, finite*, atau *instantaneous* (Trinity Consultants, 2004).

Asumsi dan keterbatasan model ini :

- Terbatas pada rilis *neutrally buoyant gas*
- Model AFTOX mengasumsikan medan aliran pada atmosfer datar tanpa penghalang (bangunan, pohon). Penggunaan model dibatasi untuk kondisi dimana kedalaman lapisan penyebaran gas jauh lebih besar dari kekasaran permukaan daerah sekitarnya.
- Model ini mengubah pengukuran kecepatan (Trinity Consultants, 2004).

- INPUFF

Model gaussian yang mensimulasikan dispersi atmosfer dari pelepasan kimia *neutrally buoyant* atau *buoyant*. Model ini menghitung titik sumber dan durasi pelepasan baik yang terbatas maupun yang terus menerus (Breeze Incident Analyst, 2012).

INPUFF menganalisis rilis dari zat *neutrally buoyant* selama periode waktu singkat. Model ini mencakup beberapa fitur berikut (Trinity Consultants, 2004) :

- *Optional stack-tip downwash*
- *Wind speed extapolared to release height*
- *Optional buoyancy induced dispersion*

Model INPUFF ini memiliki beberapa asumsi dan keterbatasan :

- Penggunaan model dibatasi untuk rilis *neutrally buoyant gas*
 - Model ini mengasumsikan medan aliran pada atmosfer datar tanpa penghalang
 - Arah angin konstan dan tinggi
 - Tidak ada pertimbangan reaksi kimia
 - Tidak ada pertimbangan *building wake* atau *caving effect*
- (Trinity Consultants, 2004).

b. *Dense gas models*

- SLAB

Merupakan model dispersi gas padat yang digunakan untuk memperkirakan konsentrasi polutan yang searah angin dari pelepasan kimia yang lebih berat dari udara disekitarnya (Breeze Incident Analyst, 2012).

Sumber-sumber dapat dimodelkan sebagai durasi *continous*, *finite*, atau *instantaneous*. Durasi rilis *continous* dan *finite* berlaku untuk evaporasi pool, horizontal jet, dan vertikal jet (Trinity Consultants, 2004).

Rilis *Instantaneous* digambarkan sebagai berikut :

Universitas Indonesia

- *Ground-level evaporating pool* : sumber area dari *finite* durasi. Ketika durasi tumpahan cukup pendek, *plume* yang stabil tidak terbentuk pada jarak searah angin. Ketika model SLAB menentukan bahwa hal ini terjadi, maka secara otomatis perhitungan berhenti, mengubah sumber menjadi *instantaneous* rilis.
- *Elevated horizontal jet* : jet horizontal adalah sumber area dengan sumber tegak lurus ke arah angin ambien dan kecepatan sumber menunjuk langsung searah angin.
- *Stack or elevated vertical jet* : sebuah jet vertikal adalah sumber area dengan panel paralel sumber ke tanah dan kecepatan sumber langsung menunjuk ke atas.
- *Instantaneous release* : adalah kombinasi dari dua sumber 1) sumber volume dan massa total, 2) sumber durasi pendek, ground-level area sumber dengan tingkat sumber dan durasi tumpahan.
- *Liquid spill* : pelepasan bahan kimia dalam bentuk cairan. Cairan tersebut diasumsikan membentuk *pool*/kolam di permukaan tanah dengan tingkat penguapan dihitung menggunakan model penguapan (Trinity Consultants, 2004).

Asumsi dan Keterbatasan model SLAB :

- Penggunaan model dibatasi untuk *dense gas* rilis atau tumpahan cairan yang menguap menjadi gas padat.
- Model SLAB mengasumsikan medan aliran pada atmosfer datar tanpa penghalang (bangunan, pohon). Penggunaan model dibatasi untuk kondisi dimana kedalaman lapisan penyebaran gas jauh lebih besar dari kekasaran permukaan daerah sekitarnya (Trinity Consultants, 2004).

- DEGADIS

Merupakan dispersi model gas padat yang memperkirakan konsentrasi yang searah dengan angin dari pelepasan kimia yang tidak disengaja dimana penyebaran toksik atau substansi yang mudah terbakar awalnya lebih berat daripada udara diantaranya (Breeze Incident Analyst, 2012).

Sebuah kondisi meteorogikal tunggal ditentukan selama rilis. Tipe rilis dengan model DEGADIS adalah sebagai:

- *Continuous Release* : sebuah kondisi stabil dari gas padat dengan laju yang konstan ke atmosfer selama periode waktu yang panjang. Output dari model rilis stabil adalah perkiraan konsentrasi pada jarak searah angin yang ditentukan oleh model.
- *Finite Duration release* : rilis stabil gas padat dengan laju yang konstan ke atmosfer selama periode singkat. Outputnya diatur baik oleh waktu atau jarak, tergantung pada parameter yang paling sesuai
- *Transient release* : laju pelepasan bervariasi dari waktu ke waktu. Output pemodelan transient diatur baik oleh waktu atau jarak, tergantung pada parameter yang paling sesuai.
- *Jet release* : vertikal rilis dari gas padat atau aerosol dengan menggunakan model matematika ooms.
- *Liquid spill* : pelepasan bahan kimia dalam keadaan cair. Cairan tersebut diasumsikan membentuk kolam dipermukaan tanah, dengan tingkat penguapan dihitung mnggunakan salah satu dari tiga model penguapan yang berbeda yang tergabung dalam DEGADIS. Hasil dari model penguapan berjalan sebagai *continous* atau *finite* durasi rilis (Trinity Consultants, 2004).

Model DEGADIS memiliki asumsi dan keterbatasan dalam mengatur pelaksanaan model :

- Penggunaan model dibatasi dari rilis gas padat atau tumpahan cairan yang menguap ke gas padat
- DEGADIS mengasumsikan medan aliran pada atmosfer datar tanpa penghalang, seperti gedung atau pohon, model ini tidak mempertimbangkan medan miring. Penggunaan model ini terbatas pada kondisi di mana lapisan gas dispering jauh lebih besar daripada kekasaran permukaan daerah sekitarnya.
- Model jet untuk rilis vertikal : tidak ada kecepatan jet rilis horizontal (Trinity Consultants, 2004).

2. Kebakaran

Mengevaluasi radiasi termal. Terdiri dari beberapa model kebakaran diantaranya :

- *Confined Pool Fire*

Model kebakaran yang terjadi ketika cairan dinyalakan di area yang terbatas seperti sebuah tanggul atau tangki. Tanggul dapat berbentuk lingkaran atau persegi panjang. Model ini menghitung berbagai jarak tingkat radiasi yang ditentukan oleh pengguna dan juga dapat menghitung kenaikan temperatur dinamis dari target didekatnya (Breeze Incident Analyst, 2012).

- *Unconfined Pool Fire*

Model kebakaran yang terjadi ketika sebuah bahan bakar gas cair pada *unconfined pool* menyebar dan terignisi. Model ini menghitung jarak berbagai tingkat radiasi yang ditentukan oleh pengguna dan menghitung fluks radiasi sebagai fungsi waktu pada jarak tertentu didekatnya (Breeze Incident Analyst, 2012).

- BLEVE

Model kebakaran yang mungkin timbul dari kebocoran atau pecahnya pipa yang berisi tekanan atau gas cair di bawah tekanan. Model ini menghitung jarak ke tingkat radiasi ditentukan oleh pengguna dan dapat menghitung dimensi nyala jet kecepatan tinggi dari pipa yang pecah didekatnya (Breeze Incident Analyst, 2012).

3. Ledakan

Perkiraan nilai *overpressure* dari *vapor cloud explosion*. Jika sejumlah material yang mudah terbakar dilepaskan, maka akan bercampur dengan udara dan dapat menyebabkan awan uap yang mudah terbakar. Jika awan uap yang mudah terbakar tersebut menemukan sebuah sumber api, maka ledakan awan uap (*vapor cloud explosion*) dapat terjadi didekatnya (Breeze Incident Analyst, 2012).

Terdapat dua metodologi utama untuk pemodelan ledakan akibat ledakan awan uap :

- *TNT Equivalency methods*
- *Methods based on the fuel-air charge blast*

Model ledakan meliputi pendekatan yang diterima secara luas yaitu sebagai berikut :

- U.S. Army TNT Equivalency

Model ini berdasarkan *the work of the U.S. Army*. Menggunakan hubungan proporsional antara massa yang mudah terbakar di awan setara dengan berat TNT. Model ini mengasumsikan bahwa seluruh massa yang mudah terbakar terlibat dalam ledakan tersebut dan ledakan ini berpusat pada satu lokasi. Model ini menggunakan satu dari dua kurva ledakan, tergantung pada ledakan yang dimodelkan, ledakan permukaan atau ledakan bebas udara didekatnya (Breeze Incident Analyst, 2012).

- U.K. HSE TNT Equivalency

Model ini berdasarkan *the work of the U.K. Health and Safety Executive (HSE)*. Menggunakan hubungan proporsional antara massa yang mudah terbakar di awan setara dengan berat TNT. Model ini mengasumsikan bahwa seluruh massa yang mudah terbakar terlibat dalam ledakan tersebut dan ledakan ini berpusat pada satu lokasi didekatnya (Breeze Incident Analyst, 2012).

- TNO Multi-Energy

Memperlakukan potensi ledakan awan uap sebagai angka yang sesuai/ setara dengan *fuel-air charges*. Ledakan awan uap dimodelkan sebagai

rangkaian sub-ledakan dengan setiap sub sesuai potensi sumber ledakan dalam awan didekatnya (Breeze Incident Analyst, 2012).

- Baker-Strehlow

Mempertimbangkan variabilitas kekuatan ledakan dengan menyatakan ledakan itu sebagai jumlah *fuel-air charges*, masing-masing dengan karakteristik individu didekatnya (Breeze Incident Analyst, 2012).

2.9.3 Langkah-langkah Menggunakan BREEZE Incident Analyst

- Pertama-tama mengisi data yang ada di *incident window* yang terdiri dari komponen primer diantaranya :

1. Pengaturan skenario

- Tanggal/waktu

Tanggal dan waktu disesuaikan dengan keinginan pengguna.

- Sistem koordinat

Sistem koordinat dalam bentuk *Universal Transverse Mercator* (UTM).

- Data bahan kimia

BREEZE Incident Analyst memiliki banyak data bahan kimia yang disimpan dalam *chemical library*. Pengguna juga dapat menambahkan zat kimia yang belum tersedia dengan mengisi karakteristik dari zat tersebut.

- Meteorologi

Pengguna dapat mengatur meteorologi sesuai dengan skenario yang diinginkan seperti suhu, kelembaban, kecepatan angin, arah angin, dll.

- *Level of concern*

Level of Concern ini berbeda-beda, tergantung dari bahayanya masing-masing. Pengguna dapat menentukan sendiri LOCnya atau dapat mengikuti rekomendasi dari *BREEZE Incident Analyst*.

- Memo

2. Ringkasan skenario

3. Masalah potensial : pesan/informasi yang memperingatkan pengguna bila melakukan kesalahan sebelum *software* ini *running* (Breeze Incident Analyst, 2012).

- *Mengisi Source Term Wizard*

Source Term Wizard terdiri dari beberapa langkah berikut :

- Memasukkan data koordinat dari lokasi kejadian
- Memasukkan jenis sumber (*tank, pipe, stack, evaporating pool*)
- Memasukkan dimensi tangki (bentuk, tinggi, diameter, dan volume)
- Memasukkan kondisi zat kimia yang tersimpan dalam tabung
- Menentukan karakteristik pelepasan (ukuran lubang kebocoran, tinggi sumber kebocoran dari tanah)

- *Mengisi Source Form*

Dalam *source Form* ini berisi mengenai data-data dari bahaya dispersi, kebakaran, dan ledakan yang akan dievaluasi.

2.10 Software Lainnya

2.10.1 ALOHA

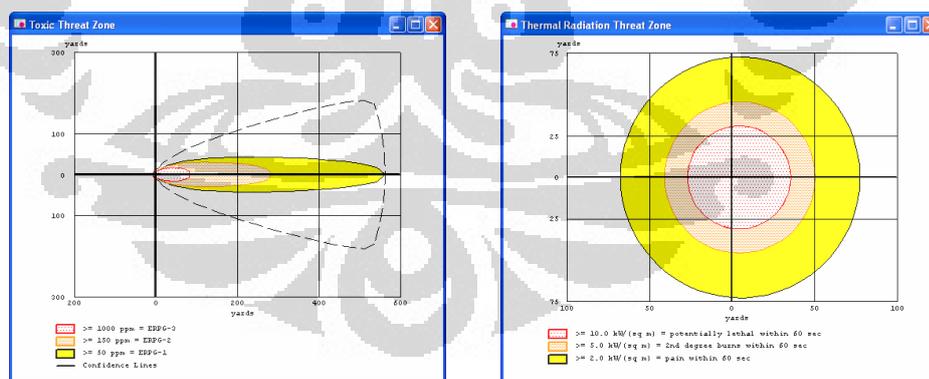
Salah satu *software* lain yang memiliki kegunaan mirip dengan *BREEZE incident analyst* adalah ALOHA (*Area Location Of Hazardous Atmosphere*). ALOHA dikembangkan oleh *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) dan *Environmental Protection Agency* (EPA). ALOHA dan *BREEZE incident analyst* sama-sama mudah digunakan dalam melakukan serta merencanakan keadaan darurat. ALOHA memiliki beberapa keterbatasan seperti ALOHA model menggunakan informasi atmosfer untuk memperkirakan penyebaran dari pelepasan zat kimia. Jika salah satu kondisi atmosfer (misalnya, kecepatan angin) berubah secara substansial selama respon, maka pengguna harus memperbaiki input dan membuat plot *threat zone* baru karena plot yang lama mungkin tidak lagi akurat (Environmental Protection Agency, 2007).

Beberapa kondisi dimana hasil ALOHA menjadi tidak akurat ketika kecepatan angin sangat rendah, kondisi atmosfer sangat stabil, terdapat pergeseran angin dan efek pemetaan topografi, pekatnya konsentrasi, terutama di dekat sumber rilis. Selain itu ALOHA juga tidak dapat menganalisis efek dari produk

sampingan dari kebakaran, ledakan, atau reaksi kimia, partikel, kimia campuran, *terrain*, dan *Hazardous fragment* (Environmental Protection Agency, 2007).

Terdapat kesamaan antara *Breeze Incident Analyst* dengan ALOHA yaitu pada penentuan LOC (*Level Of Concern*) pada model kebakaran dan ledakan. Pada model kebakaran, *Thermal Radiation Level of concern* atau nilai ambang tingkat radiasi termal terdiri dari zona merah: 10 kw/m^2 (berpotensi mematikan dalam waktu 60 detik), zona oranye: 5 kw/m^2 (luka bakar tingkat dua dalam waktu 60 detik), dan zona kuning: 2 kw/m^2 (sakit/pain) dalam waktu 60 detik). Sedangkan *Overpressure level of concern* (LOC) atau tingkat ambang batas tekanan dari gelombang ledakan terdiri dari zona merah : 8,0 psi (menyebabkan bangunan hancur), zona oranye : 3,5 psi (kemungkinan cedera serius), dan zona kuning : 1,0 psi (dapat menyebabkan pecah kaca) (Environmental Protection Agency, 2007).

Keterbatasan ALOHA dibandingkan dengan *BREEZE Incident Analyst* adalah ALOHA hanya dapat menganalisis tangki dengan minimum tinggi 0,5 m, selain itu ALOHA tidak dapat menggambarkan efek dari *thermal radiation* yang hasilnya kurang dari 10 m dan efek dari dispersi gas yang penyebarannya terlalu dekat. (Environmental Protection Agency, 2007).



Gambar 2.10 Contoh Tampilan ALOHA

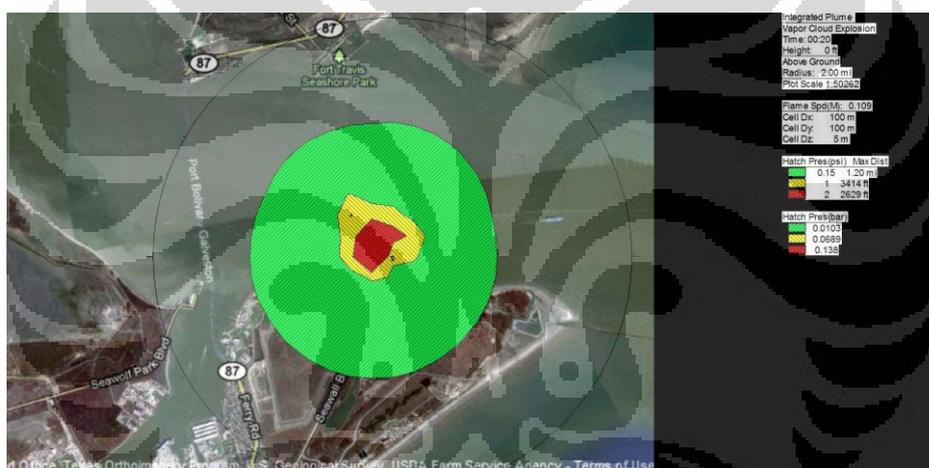
Sumber: Environmental Protection Agency, 2007

2.10.2 CHARM (*Complex Hazardous Air Release Model*)

Potensi rilis bahan kimia berbahaya (dispersi udara dan transportasi), kebakaran (BLEVE, kebakaran kolam api, dan api jet), dan ledakan (kegagalan

mekanik dan dispersi transportasi udara yang diikuti dengan ledakan awan uap) menimbulkan risiko yang harus ditunjukkan pada beberapa tingkatan. Perangkat lunak CHARM dapat digunakan untuk menunjukkan tingkatan tersebut, selain itu perangkat lunak ini juga dapat digunakan untuk melakukan penilaian bahaya dan program tanggap darurat. Simulasi dapat sesuai dengan kejadian yang terjadi sebenarnya dengan memasukkan data *real-time*.

Ada dua versi dari perangkat lunak CHARM yang tersedia. Versi pertama mengasumsikan satu sumber di medan datar. Versi kedua memungkinkan untuk berbagai sumber di daerah kompleks tetapi membutuhkan input lebih dari yang pertama. Keduanya memberikan perhitungan angkutan udara dan dispersi, ledakan awan mekanik dan uap, BLEVE, kebakaran jet, dan radiasi kolom api (CHARM Model, 2012).



Gambar 2.11 Contoh Tampilan CHARM

Sumber: CHARM Model, 2012

2.10.3 FLACS (Flame Acceleration Simulator)

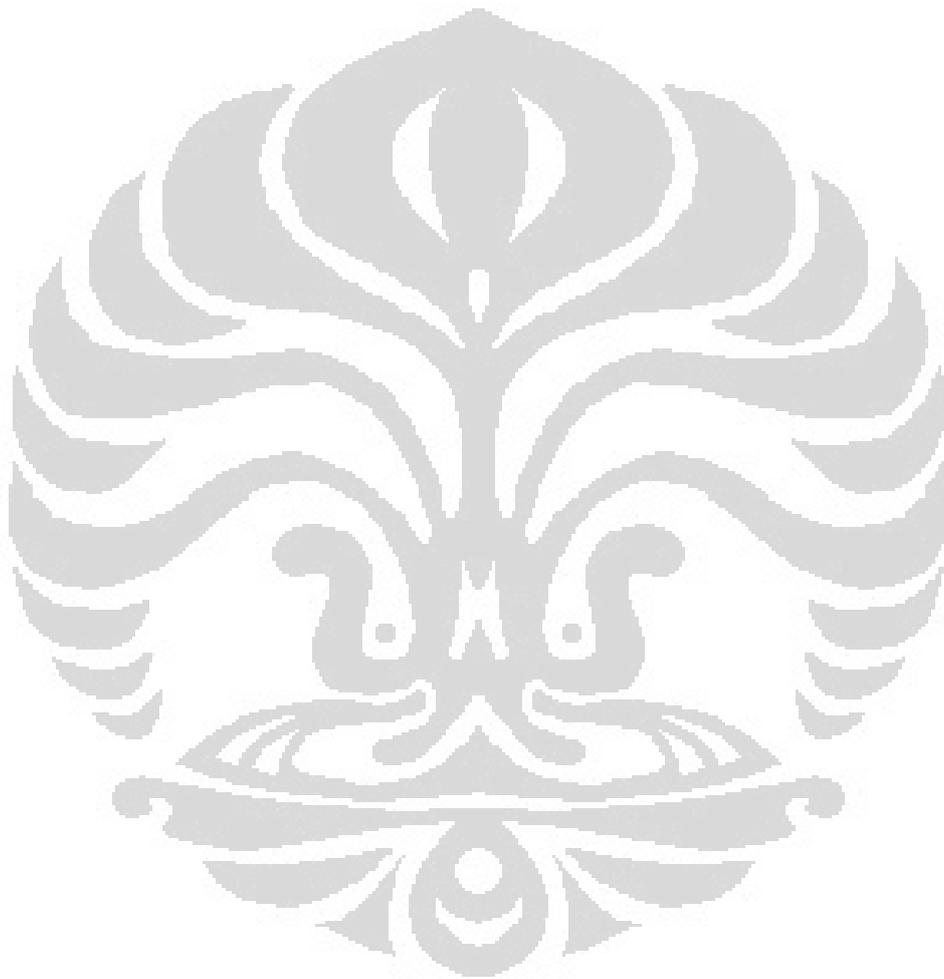
FLACS merupakan *software* lanjutan dari CFD *tool* untuk memperhitungkan konsekuensi (dispersi gas dan ledakan) yang dapat diatur sesuai pengaturan yang ada seperti bangunan, kapal, proses di pabrik, kilang, dan platform lepas pantai. Kelebihan dari FLACS adalah :

- Aplikasi yang luas terkait dengan validasi
- Representasi geometri (dapat mencakup 100.000 objek)
- Diterima dengan baik di industri
- Sudah digunakan oleh 40 perusahaan

Universitas Indonesia

- Penerapan yang luas (dapat melakukan model dispersi dan ledakan dengan *setup* yang sama)

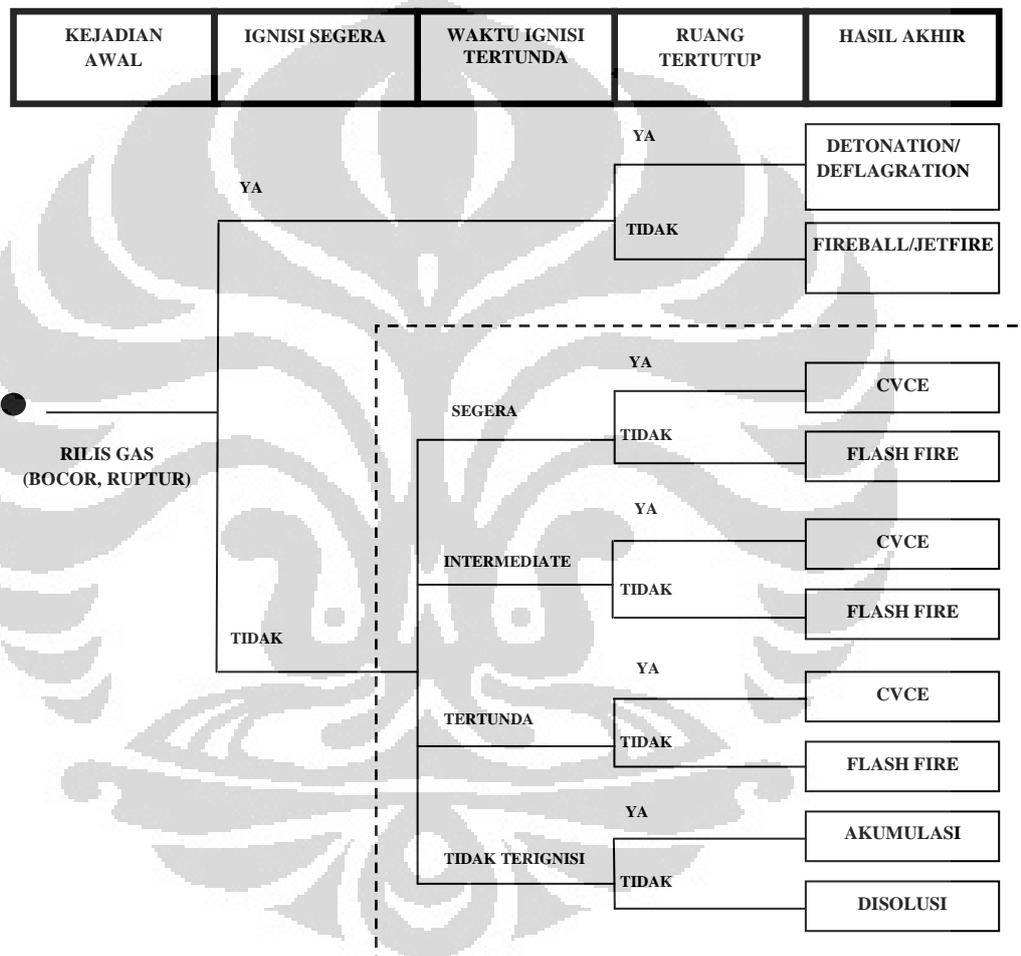
FLACS terdiri dari beberapa version diantaranya FLACS-DISPERSION (*toxic, flammable*, LNG), FLACS GASEX (ledakan gas), FLACS-HYDROGEN (Dispersi dan ledakan dari hidrogen), FLACS-ENERGY (Transformator sekunder ledakan ruang), DSC (pemodelan ledakan debu), dan FLACS (*Full Version*) (Gexcon AS, 2012).



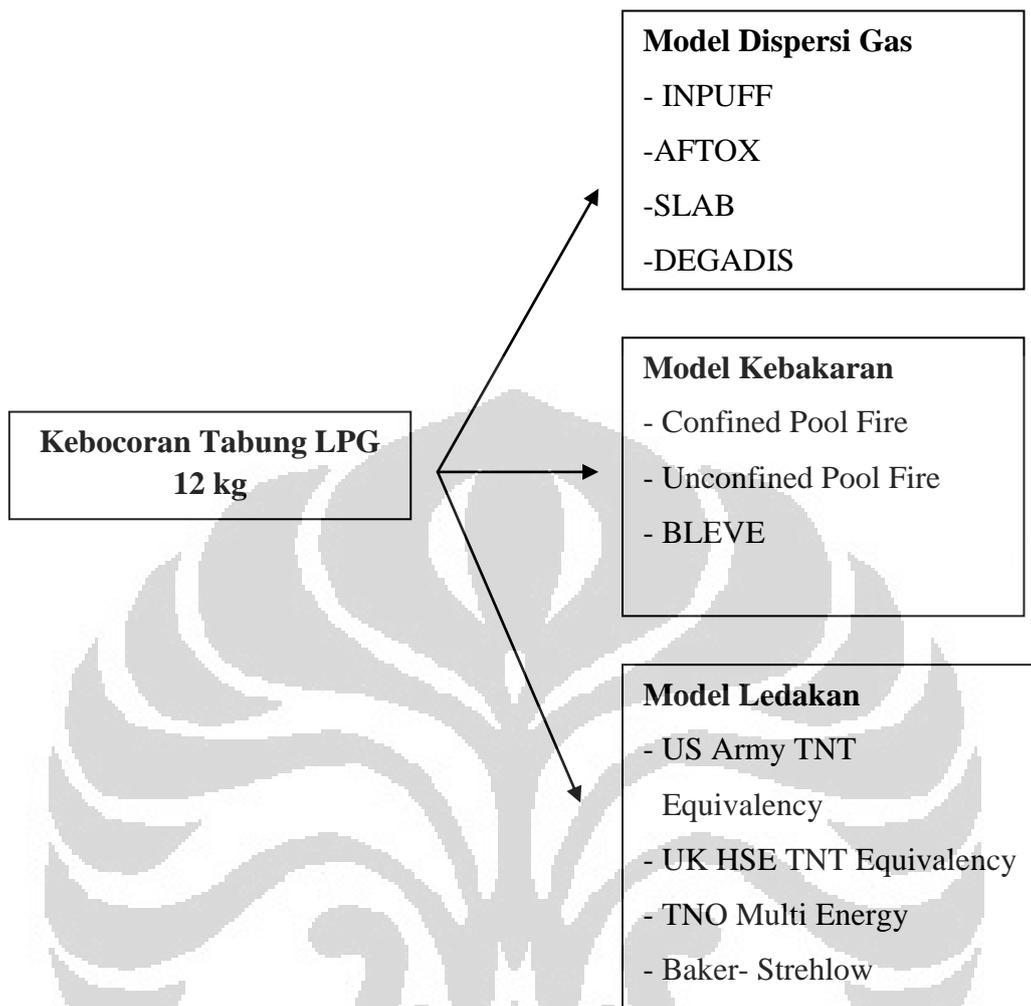
BAB 3 KERANGKA TEORI DAN KONSEP

3.1 Kerangka Teori

Kerangka teori dibawah ini merupakan sebuah *Event Tree Analysis* mengenai *gas release* serta mengenai pemodelan yang terdapat pada *BREEZE Incident Analyst*.



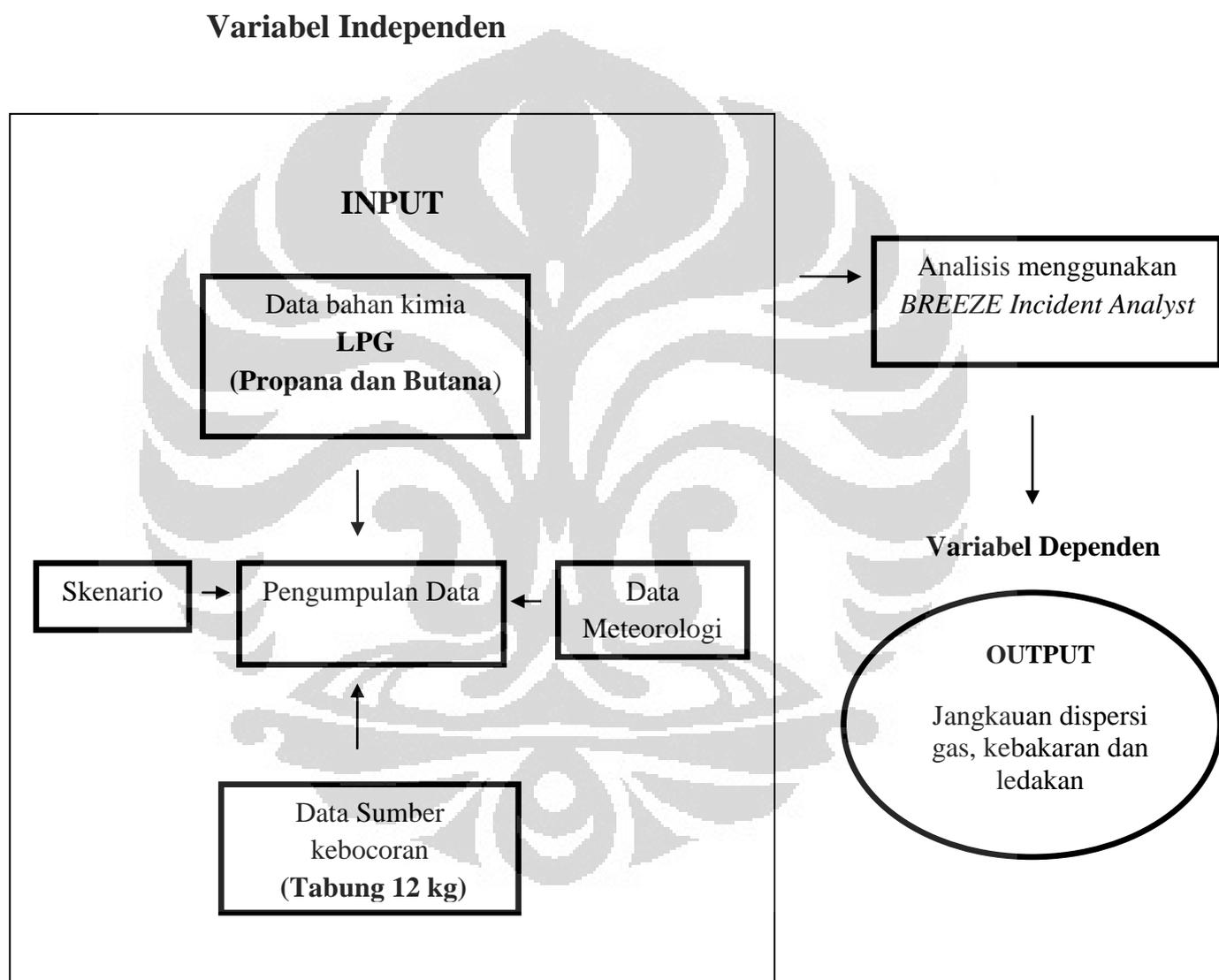
Sklavounos and Rigas. (2005)



(BREEZE Incident Analyst, 2012)

3.2 Kerangka Konsep

Data-data dan asumsi yang terkait dengan kejadian kebocoran tabung gas LPG 12 kg dikumpulkan. Kemudian, langkah selanjutnya adalah menganalisis data-data menggunakan *BREEZE Incident analyst software*. Hasil dari analisis ini adalah jangkauan dari dispersi gas, kebakaran, dan ledakan akibat kebocoran tabung LPG 12 kg. Kerangka konsep dapat dilihat dari bagan dibawah ini :



3.3 Definisi Operasional

| No. | Variabel | Definisi | Alat Ukur | Hasil Ukur | Skala |
|-----|------------------|--|--|---|-------|
| 1. | Data bahan kimia | Informasi mengenai karakteristik bahan kimia yang akan diteliti (propana dan butana) | <i>BREEZE Incident Analyst</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Molecular weight : g/mol • Boiling point : K • Critical temperature :K • Critical pressure : atm • Critical volume : cm³ • Liquid heat Capacity : J/kg • Heat of Vaporization : J/kg | Rasio |
| 2. | Data Meteorologi | Informasi mengenai kondisi lingkungan lokasi kejadian | Data sekunder yang disesuaikan dengan kebutuhan <i>BREEZE Incident Analyst</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Temperatur : C • Tekanan : atm • Kelembaban relatif : % • Arah angin : derajat • Kecepatan angin : m/s • Tingkat stabilitas | Rasio |

| No. | Variabel | Definisi | Alat Ukur | Hasil Ukur | Skala |
|-----|-----------------------|---|--|---|-------|
| 3. | Data sumber kebocoran | Informasi mengenai sumber kebocoran bahan kimia dalam hal ini tabung LPG ukuran 12 kg | Data sekunder yang disesuaikan dengan kebutuhan <i>BREEZE Incident Analyst</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Diameter : m • Panjang : m • Volume : liter • Temperatur : C • Tekanan : atm • Massa dalam tabung : kg • Letak tinggi kebocoran (pada tanki) : m • Ukuran bocor : m | Rasio |
| 4. | Skenario | Model kejadian dispersi gas, kebakaran, dan ledakan yang mungkin terjadi dari kejadian kebocoran tabung LPG 12 kg | <i>BREEZE Incident Analyst</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Dispersi gas <ul style="list-style-type: none"> - INPUFF - AFTOX - SLAB - DEGADIS • Kebakaran <ul style="list-style-type: none"> - Confined Pool Fire - Unconfined Pool Fire - BLEVE • Ledakan <ul style="list-style-type: none"> - US Army TNT Equivalency - UK HSE TNT Equivalency - TNO Multi Energy - Baker- Strehlow | Rasio |

| No. | Variabel | Definisi | Alat Ukur | Hasil Ukur | Skala |
|-----|----------|---|--|--|---------|
| 5. | Output | Hasil yang didapat dari <i>BREEZE Incident Analyst</i> berupa konsekuensi dari dispersi gas, kebakaran, dan ledakan | Simulasi dan analisis menggunakan <i>BREEZE Incident Analyst</i> | Hasil dari simulasi kebocoran berupa jangkauan dari dampak dispersi toksik, <i>thermal radiation</i> , dan <i>overpressure</i> . | Ordinal |



BAB 4 METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang dilakukan dengan cara mengumpulkan data sekunder. Data yang dikumpulkan antara lain informasi mengenai gas LPG, tabung LPG 12 kg, serta data-data lain yang dibutuhkan seperti data meteorologi, lokasi, dan skenario. Data-data tersebut didapatkan melalui studi literatur dan *browsing* di internet. Setelah data-data dan asumsi yang terkait dengan kejadian kebocoran tabung gas LPG 12 kg dikumpulkan, langkah selanjutnya adalah menganalisis data-data menggunakan *BREEZE Incident analyst software*. Selain itu penelitian ini juga dilengkapi dengan data primer yaitu data mengenai salah satu lokasi rumah dan lingkungan sekitarnya dimana hasil simulasi dari *BREEZE Incident Analyst* akan diproyeksikan di rumah tersebut. Data primer ini didapatkan dari observasi langsung di wilayah Manggarai Selatan dan wawancara.

4.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret-Mei 2012 di Kelurahan Manggarai Selatan.

4.3 Objek Penelitian

Objek dari penelitian ini adalah tabung LPG propana dan butana yang berukuran 12 kg.

4.4 Teknik Pengumpulan Data

4.4.1 Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang disesuaikan dengan kebutuhan dari *BREEZE Incident Analyst software* seperti data lokasi, meteorologi dan juga data tabung LPG 12 kg. Sedangkan data primer yang dikumpulkan adalah data yang terkait dengan lokasi rumah dan lingkungan sekitarnya dimana hasil dari simulasi akan diproyeksikan di lokasi tersebut.

4.4.2 Cara Pengumpulan Data

Pengumpulan data sekunder diperoleh dari hasil *browsing* di internet, maupun studi literatur dari buku dan jurnal yang terkait. Sedangkan data primer diperoleh dengan melakukan observasi serta wawancara dengan ketua RT serta salah satu warga dari Kelurahan Manggarai Selatan.

4.5 Analisis Data

Data yang diperoleh kemudian akan dianalisis menggunakan *BREEZE Incident analyst software*. Hasil analisis dari *software* tersebut kemudian diinterpretasikan dalam bentuk narasi.

4.6 Asumsi yang digunakan

1. Tabung LPG 12 kg diasumsikan berisi zat propana sepenuhnya dan butana sepenuhnya.
2. Kondisi meteorologi yang digunakan adalah kondisi umum rata-rata DKI Jakarta dan diasumsikan setiap skenario memiliki kondisi meteorologi yang sama.

4.7 Keterbatasan Penelitian

1. Penentuan skenario didasarkan pada kemampuan peneliti dalam menganalisis kemungkinan terjadinya kebocoran tabung LPG 12 kg.
2. Berdasarkan penelitian sebelumnya *BREEZE Incident Analyst Software* tidak dapat digunakan untuk menganalisis *Liquid Petroleum Gas (LPG)* campuran, sehingga peneliti memisahkan menjadi zat propana dan butana.

BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini membahas tentang konsekuensi dispersi gas, kebakaran, dan ledakan akibat kebocoran tabung LPG 12 kg yang berisi propana dan butana dengan menggunakan *BREEZE Incident Analyst software* yang dilakukan secara terpisah, hal ini dilakukan karena keterbatasan dari *software* tersebut yang tidak bisa menganalisis LPG campuran. Konsekuensi yang ditimbulkan dapat dilihat dari hasil simulasi mengenai dispersi toksik, ledakan, dan kebakaran yang dapat berdampak pada manusia, properti, juga pada lingkungan.

Hasil simulasi ini didapatkan dengan memasukkan beberapa asumsi atau data terkait seperti data meteorologi, data ukuran tabung, skenario kebocoran, dan data zat kimianya. Hasil atau *output* dari simulasi ini adalah jangkauan atau jarak dari titik terjadinya kejadian kebocoran yang digambarkan dalam bentuk *map* dan grafik yang terdapat pada *BREEZE 3D Analyst*.

5.1 Tabung LPG 12 Kg

Data ukuran tabung LPG 12 Kg yang digunakan dalam simulasi ini adalah data tabung LPG 12 Kg yang digunakan oleh masyarakat pada umumnya yakni yang dikeluarkan oleh Pertamina. Berikut adalah ukuran atau dimensi dari tabung LPG 12 Kg :

- Jenis Tangki/tabung : Vertikal
- Tinggi : 0,46 m
- Diameter : 0,3 m
- Volume penuh : 0,033 m³
- Temperatur dalam tabung : 27 °C
- Tekanan dalam tabung : 6 atm / 4560 mmHg



Gambar 5.1 Tabung LPG 12 Kg

Sumber : Pertamina, 2012

5.2 Bahan Kimia

Data mengenai bahan kimia propana dan butana sudah tersedia dalam *BREEZE Incident Analyst Software*. Berikut adalah karakteristik dari kedua zat tersebut :

Tabel 5.1 Karakteristik Propana dan Butana

| Karakteristik | Propana | Butana |
|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Berat Molekul | 44,097 g/g-mole | 58,124 g/g-mole |
| Titik didih | 231,078 K | 272,65 K |
| Temperatur kritis | 369,8 K | 425,156 K |
| Tekanan kritis | 41,94 atm | 37,493 atm |
| Volume kritis | 203 cm ³ /g-mole | 254,707 cm ³ /g-mole |
| Liquid Heat Capacity | 500,5 J/Kg-K | 2420 J/Kg-K |
| Heat of Vaporization | 425740 J/kg | 390000 J/kg |
| Flammability | Ya | Ya |

Sumber : BREEZE Incident Analyst

5.3 Lokasi dan Meteorologi

Lokasi yang diambil dalam simulasi ini adalah kelurahan Manggarai Selatan, Jakarta Selatan. Alasan dalam pengambilan lokasi ini telah dijelaskan di dalam latar belakang penelitian. Data meteorologi yang diambil adalah kondisi rata-rata harian ruang terbuka di wilayah DKI Jakarta. Dengan demikian hasil simulasi ini dapat mewakili beberapa wilayah lain yang kondisi lingkungannya

tidak jauh berbeda dari Manggarai Selatan. Berikut adalah beberapa data terkait dengan lokasi dan meteorologi :

- Nama daerah : Manggarai Selatan
- Koordinat Lokasi :
 - *Universal Transverse Mercator (UTM) Zone 48*
 - X : 704334
 - Y : 9312227
- Suhu : 27 °C
- Kelembaban : 85 %
- Tekanan : 1 atm
- Arah angin : 270 °
- Kecepatan angin : 2,5 m/s
- Tingkat stabilitas : D (*neutrally stable*)

Hasil dari simulasi ini kemudian akan diproyeksikan pada salah satu rumah yang berada di Kelurahan Manggarai Selatan. Rumah yang dijadikan pemodelan adalah rumah dari Bapak Maroji yang berlokasi di Jalan Dr. Saharjo, Gg Sadar RT 09 RW 03 No.7 Kelurahan Manggarai Selatan, Kec. Tebet. Rumah tersebut memiliki luas bangunan $\pm 50 \text{ m}^2$. Di RT 09 ini terdapat 20 Kepala Keluarga dengan total warganya 100 orang.

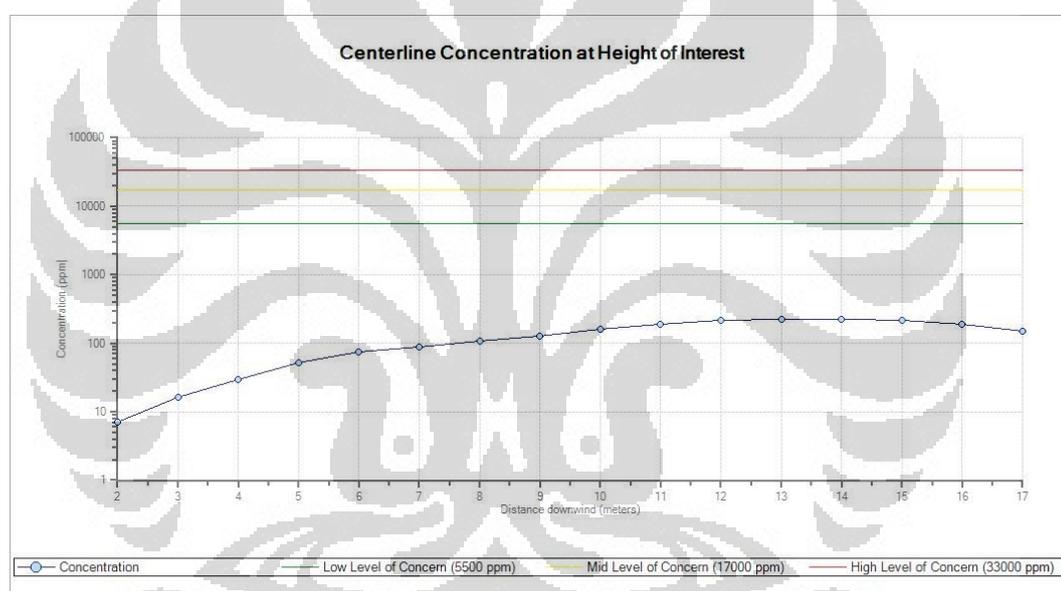
5.4 Simulasi Skenario Kejadian Kebocoran Propana

Kejadian kebocoran tabung 12 Kg berisi propana terjadi pada tanggal 2 Mei 2012 pada pukul 11.30 WIB. Lubang kebocoran adalah sebesar 0,001 m atau 1 mm, letak kebocoran ada di dasar tabung dikarenakan lebih rawan terkena korosi. Tabung tersebut berisi $0,026 \text{ m}^3$ atau sekitar 80 % dari kapasitas penuhnya yaitu sebesar $0,033 \text{ m}^3$. Kejadian kebocoran tersebut menimbulkan beberapa konsekuensi seperti dispersi toksik, ledakan, dan juga kebakaran. Berikut adalah hasil atau *output* yang didapatkan dari simulasi dengan memasukkan skenario kebocoran dan data-data yang dibutuhkan.

5.4.1 Dispersi Toksik

Dispersi toksik dapat terjadi jika gas keluar dari tabung yang mengalami kebocoran tidak terignisi oleh api, sehingga gas akan terakumulasi dan menyebar

sesuai dengan arah angin. Setelah memasukkan data dan skenario kebocoran didapatkan bahwa nilai dari *emission rate* adalah sebesar $0,01144354 \approx 0,011$ kg/s. *BREEZE Incident Analyst* merekomendasikan untuk menggunakan model dispersi DEGADIS. Peneliti juga memasukkan data LOC (*Level Of Concern*) sebesar 5500 ppm untuk *low level of concern* (zona hijau), 17000 ppm untuk *middle level of concern* (zona kuning), dan 33000 ppm untuk *upper level of concern* (zona merah). Selain itu, peneliti juga menentukan *height of interest* setinggi alat pernapasan manusia pada umumnya yaitu 1,5 m. Setelah dilakukan simulasi dengan model dispersi toksik ini maka dihasilkan *output* berupa grafik sebagai berikut :



Gambar 5.2 Grafik Hasil Simulasi Dispersi Toksik Pada Tabung Propana 12 Kg

Model analisis dispersi yang direkomendasikan oleh *BREEZE Incident Analyst* adalah DEGADIS. Model tersebut merupakan model dispersi gas padat yang memperkirakan konsentrasi yang searah dengan angin dari pelepasan zat kimia yang tidak disengaja dimana penyebaran zat tersebut awalnya lebih berat dari udara di sekitarnya. Selain itu model ini juga mengasumsikan bahwa medan aliran pada atmosfer adalah datar tanpa penghalang. Gas propana merupakan zat yang memiliki berat 1,56 kali dari berat udara atau termasuk dalam *dense gas* (gas padat). Grafik tersebut menunjukkan bahwa penyebaran propana mengalami

kenaikan konsentrasi hingga jarak beberapa meter yang kemudian konsentrasinya akan menurun. Konsentrasi propana pada jarak 2 meter adalah sebesar 7 ppm kemudian karena adanya kecepatan angin (2,5 m/s) konsentrasi butana terus mengalami kenaikan sampai mencapai puncaknya pada jarak 13 meter dengan konsentrasi 200 ppm. Setelah itu konsentrasi mengalami penurunan sampai pada jarak 17 meter dengan konsentrasi sebesar 150 ppm. Penyebaran ini dipengaruhi oleh kecepatan dan arah angin.

Peneliti menentukan tiga nilai LOC (*Level Of Concern*) sebesar 5500 ppm untuk *low level of concern* (zona hijau), 17000 ppm untuk *middle level of concern* (zona kuning), dan 33000 ppm untuk *upper level of concern* (zona merah). Ketiga nilai tersebut merupakan nilai berdasarkan AEGLs (*Acute Exposure Guideline Levels*). AEGLs mewakili batas paparan ambang batas untuk masyarakat umum. Menurut EPA (*U.S. Environmental Protection Agency*), tiga nilai AEGLs didefinisikan sebagai berikut:

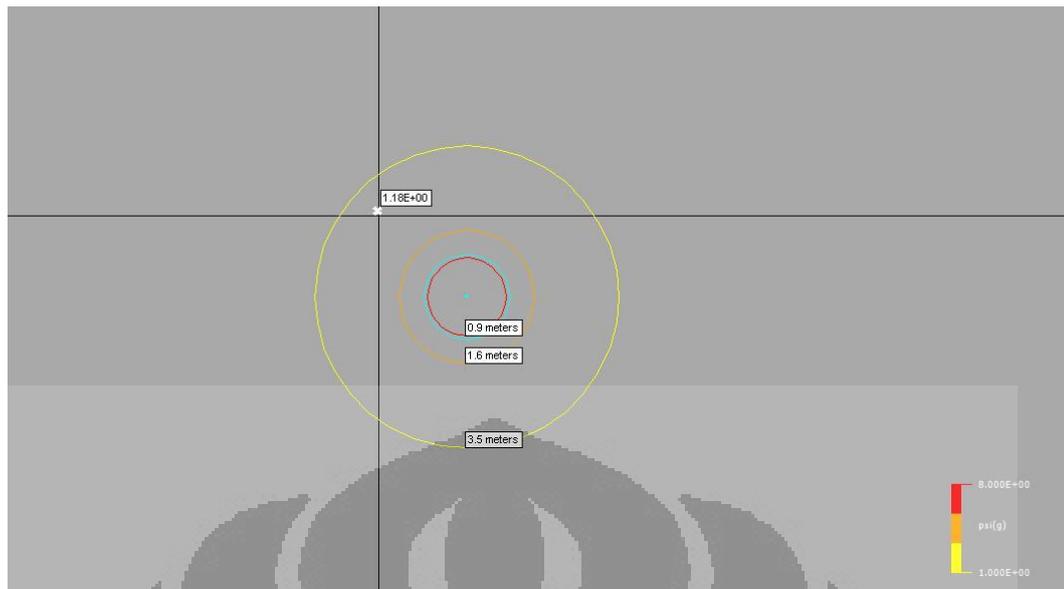
- AEGL-1 adalah konsentrasi suatu zat (ppm atau mg/m^3), bila berada di atas nilai tersebut diperkirakan dapat menyebabkan populasi umum, termasuk individu yang rentan bisa mengalami ketidaknyamanan, iritasi, atau tanpa gejala tertentu, non-indraawi efek.
- AEGL-2 adalah konsentrasi suatu zat (ppm atau mg/m^3), bila berada di atas nilai tersebut diperkirakan dapat menyebabkan populasi umum, termasuk individu yang rentan bisa mengalami ireversibel atau hal lain yang serius, serta efek jangka panjang yang merugikan kesehatan.
- AEGL-3 adalah konsentrasi suatu zat (ppm atau mg/m^3), bila berada di atas nilai tersebut dapat menyebabkan populasi umum, termasuk individu yang rentan dapat mengalami ancaman jiwa, efek kesehatan atau kematian.

Pada simulasi ini terlihat bahwa pergerakan propana masih berada dibawah ketiga level konsentrasi tersebut, artinya tidak membahayakan atau tidak menyebabkan efek kesehatan. Propana sendiri menurut Pertamina merupakan zat yang dalam konsentrasi yang besar dapat menyebabkan toksikologi akut seperti asfiksia (sesak nafas), peningkatan detak jantung atau nadi, inkoordinasi, sakit kepala, mual, muntah dan disorientasi. Sedangkan menurut CDC pada konsentrasi

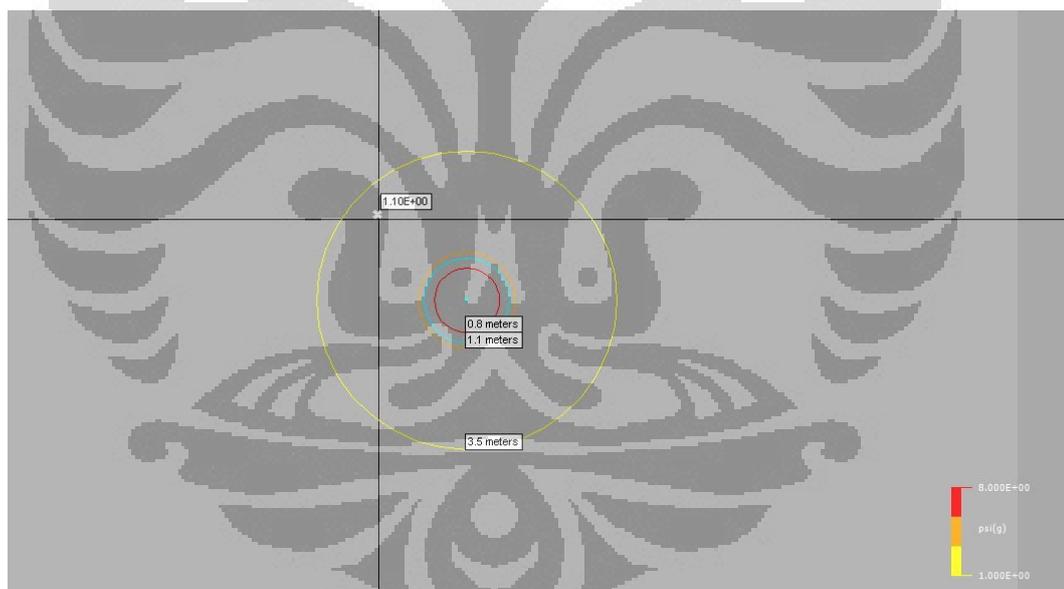
10.000 ppm propana tidak menimbulkan gejala apapun pada manusia, pada konsentrasi 100.000 ppm propana dapat menyebabkan sedikit pusing dalam beberapa menit paparan tapi tidak terasa mengiritasi mata, hidung, atau saluran pernapasan.

5.4.2 Ledakan

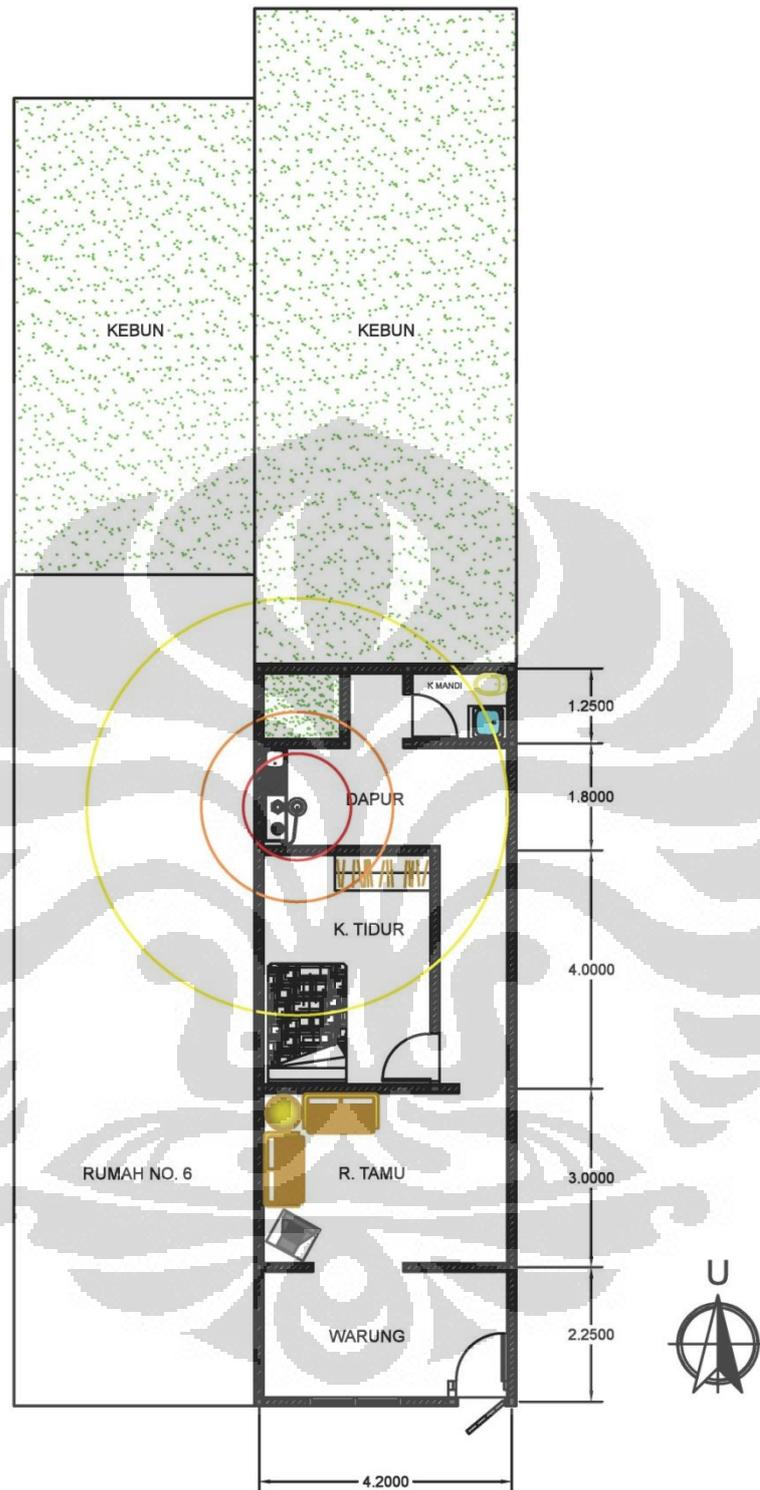
Kebocoran gas propana juga dapat menimbulkan konsekuensi ledakan yaitu berupa *overpressure* atau kelebihan tekanan yang dapat berdampak pada manusia dan juga properti. Ledakan yang terjadi adalah *Vapor Cloud Explosion*. Jika gas yang keluar dari tabung yang mengalami kebocoran terakumulasi dan bercampur dengan udara sekitar, kemudian membentuk awan uap yang mudah terbakar dan bila awan uap tersebut bertemu dengan sumber api maka VCE akan terjadi. Dalam penentuan model ledakan peneliti menggunakan model *U.S Army TNT equivalency*. Model ini menggunakan hubungan proporsional antara massa yang mudah dibakar di awan setara dengan berat TNT dan mengasumsikan bahwa seluruh massa yang mudah terbakar terlibat dalam ledakan tersebut. Data yang kemudian dimasukkan adalah *flammable mass* yaitu sebesar $0,026 \text{ m}^3$, *percent yield of TNT* 3 %, dan *explosion height* 3 m. Kemudian setelah data-data tersebut dimasukkan maka hasil/output yang didapatkan adalah berupa *surface explosion overpressure* dan *free air explosion overpressure* yang digambarkan dalam bentuk *threat zone map*.



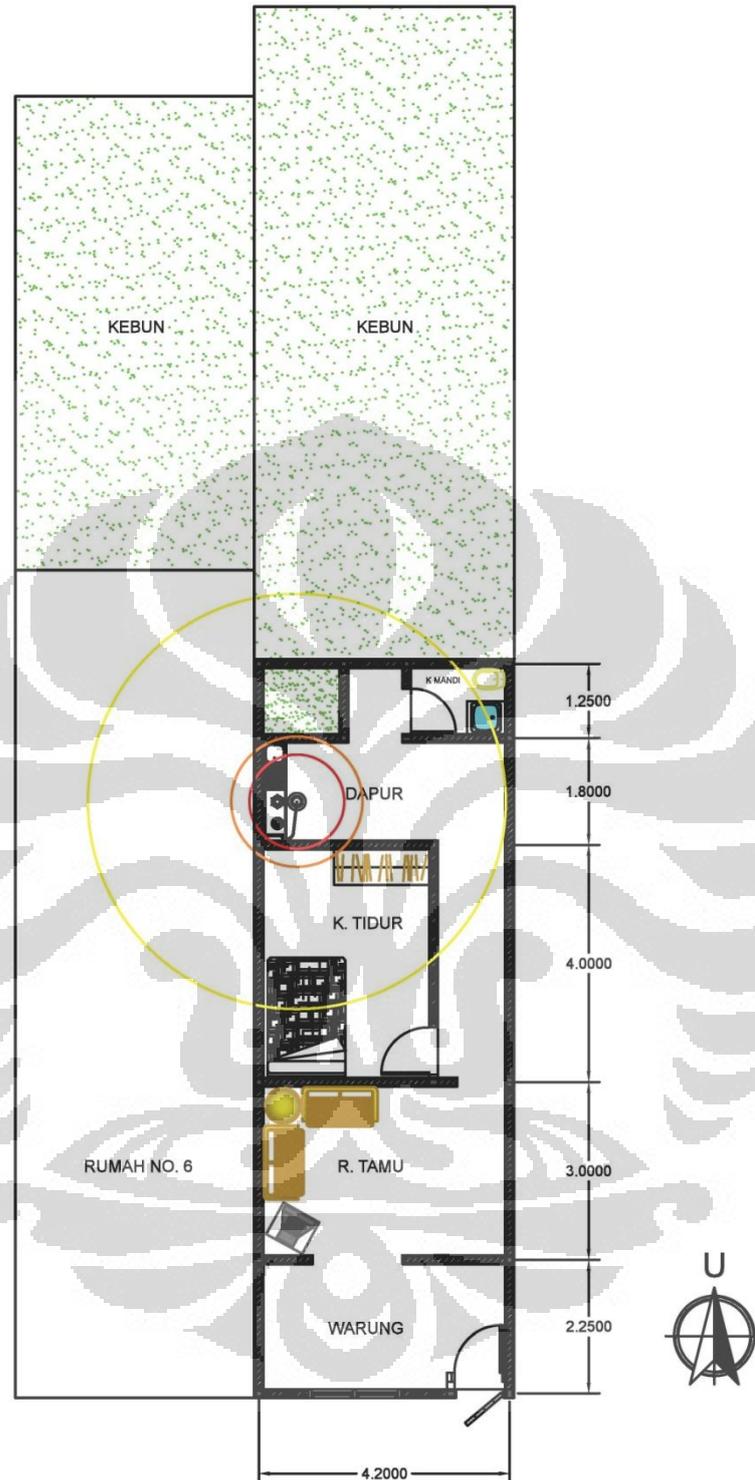
**Gambar 5.3 Hasil Simulasi Ledakan Pada Tabung Propana 12 Kg Berupa
*Surface Explosion Overpressure***



**Gambar 5.4 Hasil Simulasi Ledakan Pada Tabung Propana 12 Kg Berupa
*Free Air Explosion Overpressure***



Gambar 5.5 Proyeksi Hasil Simulasi Ledakan (*Surface Explosion Overpressure*) Tabung Propana 12 Kg Pada Denah Rumah



Gambar 5.6 Proyeksi Hasil Simulasi Ledakan (*Free Air Explosion Overpressure*) Tabung Propana 12 Kg Pada Denah Rumah

Data *percent yield of TNT* yang dimasukkan adalah 3 %. Dalam *gas explosion handbook*, disebutkan bahwa nilai dari *percent yield of TNT* adalah sebesar 3-5 %. Sedangkan tinggi ledakan 3 meter diasumsikan bahwa ledakan gas propana dalam tabung 12 kg terjadi setinggi rumah pada umumnya. Peneliti menentukan 3 nilai LOC, untuk *low level of concern* sebesar 1 Psi (zona kuning), *middle level of concern* sebesar 3,5 Psi (zona oranye), dan *upper level of concern* sebesar 8 Psi (zona merah). Menurut EPA (*U.S. Environmental Protection Agency*) dan NOAA (*National Oceanic And Atmospheric Administration*) zona kuning (1 Psi) dapat menyebabkan pecahnya kaca, zona oranye (3,5 Psi) kemungkinan dapat menyebabkan cedera serius, dan zona merah (8 Psi) dapat mengakibatkan hancurnya bangunan.

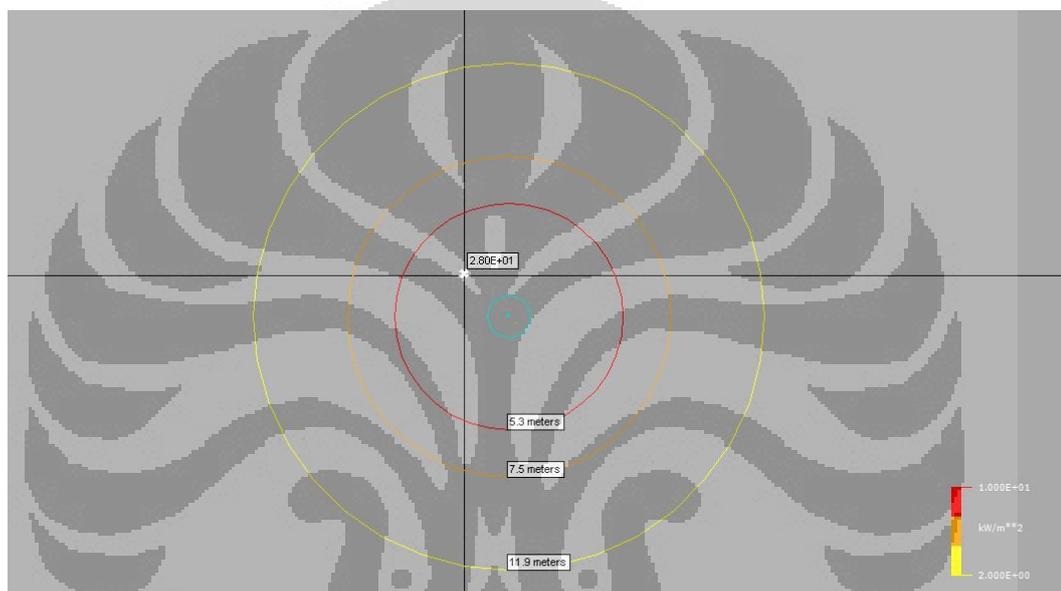
Kebocoran gas propana pada tabung 12 kg menyebabkan terjadinya ledakan dengan konsekuensi berupa *overpressure* baik di permukaan maupun pada udara bebas. Pada *surface explosion overpressure* dari hasil simulasi menunjukkan bahwa zona merah (8 psi) dapat mencapai jarak 0,9 meter, zona oranye (3,5 psi) mencapai jarak 1,6 meter, sedangkan zona kuning (1 psi) dapat mencapai 3,5 meter. Dengan demikian zona aman dari dampak ledakan ini adalah pada jarak lebih dari 3,5 meter dari titik kebocoran. Sementara pada *free air explosion overpressure*, hasil simulasi menunjukkan bahwa zona merah dapat mencapai jarak 0,8 meter, zona oranye mencapai 1,1 meter, sedangkan zona kuning dapat mencapai jarak 3,5 meter. Zona aman berada setelah jarak 3,5 meter.

Setelah hasil diproyeksikan pada denah rumah (gambar 5.5 dan 5.6) terlihat bahwa lokasi terparah yang terkena dampak dari kejadian ledakan adalah ruangan dapur. Zona kuning dari ledakan ini juga dapat mencapai rumah no.6. Orang-orang yang berisiko terkena dampak dari ledakan ini adalah keluarga dari Bapak Maroji yang berjumlah 3 orang dan keluarga dari tetangga Bapak Maroji (Rumah No.6) yang berjumlah 5 orang. Dengan demikian dapat diperkirakan jumlah orang yang berisiko terkena dampak ledakan ini adalah sebanyak 8 orang.

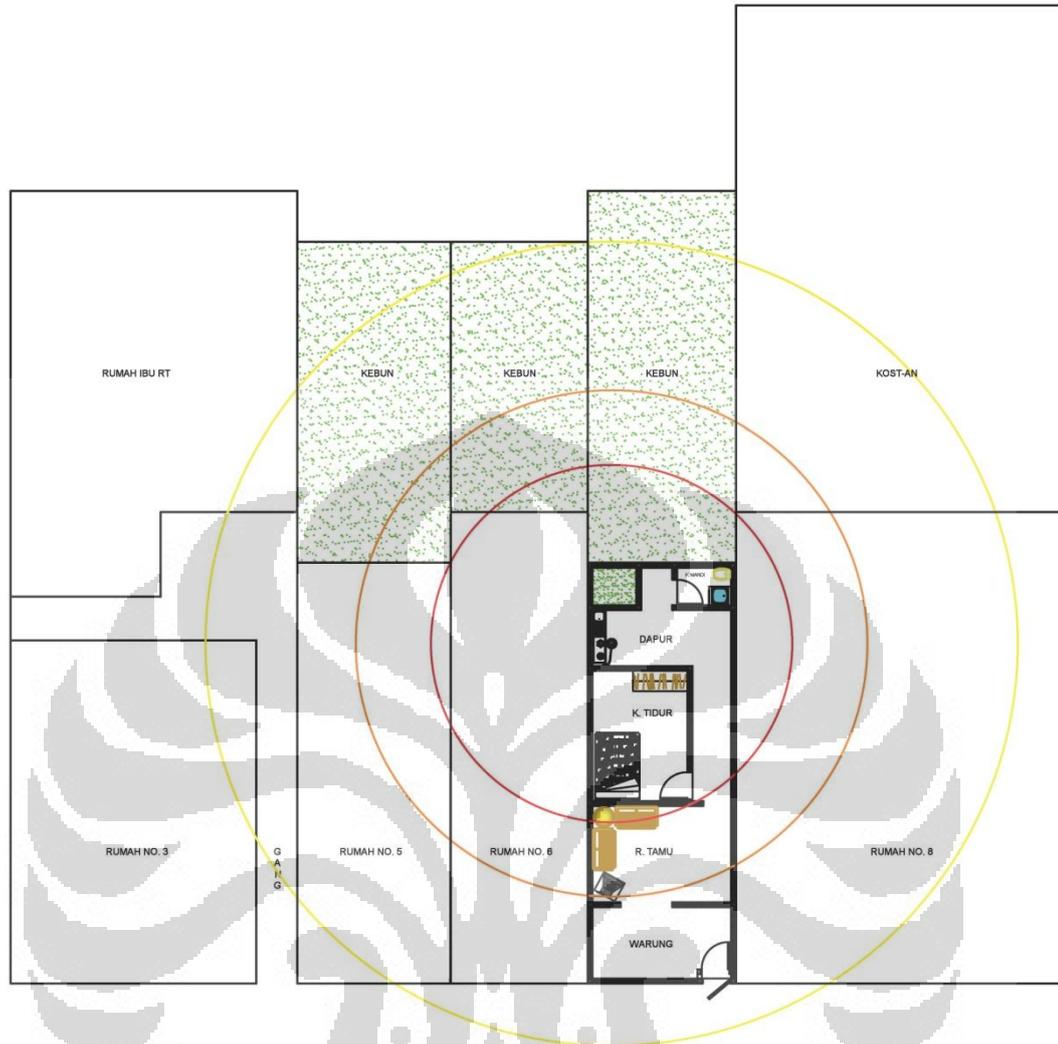
5.4.3 Kebakaran

Kebocoran gas propana pada tabung 12 kg juga dapat menimbulkan kejadian kebakaran (*fire*) yang dapat menyebabkan konsekuensi berupa radiasi

panas (*thermal radiation*) yang akan berdampak pada daerah di sekitar titik kebocoran. Untuk jenis kebakaran yang diskenariokan adalah BLEVE (*Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion*). Tabung yang berisi propana tersebut diasumsikan tidak mampu menahan stress internal karena adanya peningkatan suhu dari lingkungan maupun sumber panas lainnya. Data yang perlu dimasukkan dalam simulasi kebakaran ini adalah *flammable mass* yaitu sebesar $0,026 \text{ m}^3$. Setelah dilakukan simulasi, hasil/*output* yang didapatkan adalah berupa *threat zone map* dari *thermal radiation level* (tingkat radiasi panas).



**Gambar 5.7 Hasil Simulasi Kebakaran Pada Tabung Propana 12 Kg Berupa
*Thermal Radiation Level***



**Gambar 5.8 Proyeksi Hasil Simulasi Kebakaran (*Thermal Radiation Level*)
Tabung Propana 12 Kg Pada Denah Rumah**

Peneliti menentukan 3 nilai LOC (*Level Of Concern*) yaitu *lower level of concern* (zona kuning) sebesar 2 kw/m^2 , *middle level of concern* (zona oranye) sebesar 5 kw/m^2 (zona oranye), dan *upper level of concern* (zona merah) sebesar 10 kw/m^2 . Menurut EPA (*U.S. Environmental Protection Agency*) dan NOAA (*National Oceanic And Atmospheric Administration*), zona merah (10 kw/m^2) berpotensi mematikan dalam waktu 60 detik, zona oranye (5 kw/m^2) dapat menyebabkan luka bakar tingkat dua dalam waktu 60 detik, dan zona kuning (2 kw/m^2) dapat menyebabkan rasa sakit dalam waktu 60 detik.

Hasil dari simulasi tersebut menunjukkan bahwa zona merah dapat mencapai jarak 5,3 meter dari titik terjadinya kebocoran, zona oranye mencapai

7,5 meter, dan zona kuning dapat mencapai 11,9 meter dari titik kebocoran. Zona aman untuk bahaya kebakaran ini adalah berada setelah jarak 11,9 meter. Setelah diproyeksikan pada denah rumah terlihat bahwa jangkauan dari dampak kebakaran sangatlah luas bila dibandingkan dengan kejadian ledakan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa jarak terjauh dari kejadian kebakaran adalah 11,9 m. Berdasarkan jarak tersebut, maka dapat diketahui bahwa kejadian kebakaran ini dapat mengenai beberapa rumah di sekitar titik kejadian. Diperkirakan orang-orang yang berisiko terkena dampak kebakaran ini juga lebih banyak yaitu ± 48 orang. Orang-orang tersebut terdiri dari keluarga Bapak Maroji, penghuni di rumah nomor 3, 5, 6, dan 8, keluarga Ibu RT, dan penghuni yang berada di kost-an.

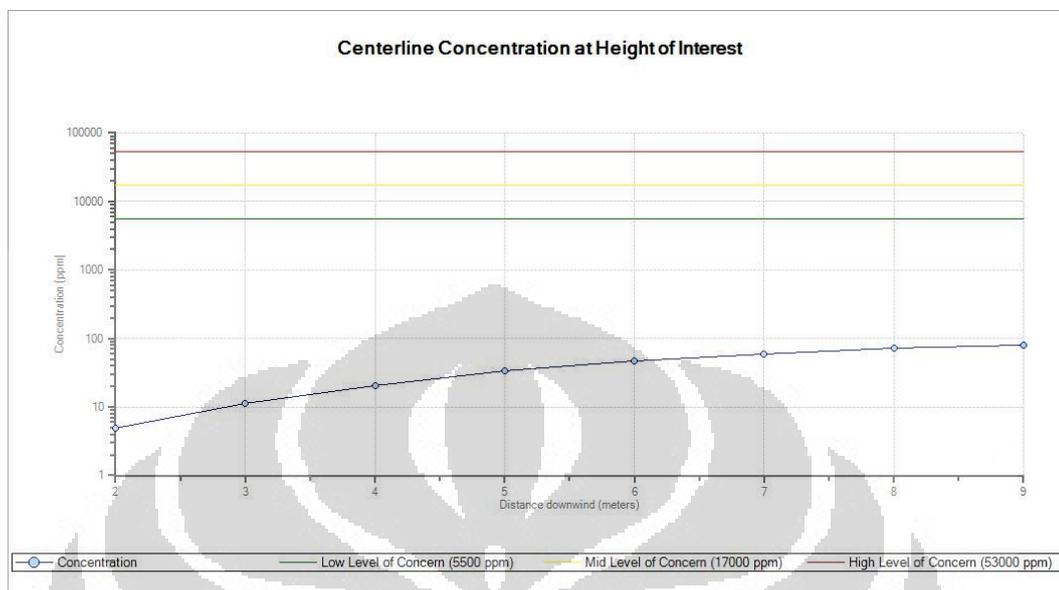
5.5 Simulasi skenario Kejadian Kebocoran Butana

Kejadian kebocoran tabung 12 Kg berisi butana terjadi pada tanggal 2 Mei 2012 pada pukul 11.50 WIB. Besarnya lubang kebocoran adalah sebesar 0,001 m atau 1 mm, letak kebocoran adalah di dasar tabung dikarenakan lebih rawan terkena korosi. Tabung tersebut berisi 0,026 m³ atau sekitar 80 % dari kapasitas penuhnya yaitu sebesar 0,033 m³. Kejadian kebocoran tersebut menimbulkan beberapa konsekuensi seperti dispersi toksik, ledakan, dan juga kebakaran. Data-data dan asumsi yang dimasukkan dalam simulasi gas butana ini sama dengan data-data pada simulasi kebocoran gas propana. Berikut adalah hasil atau *output* yang didapatkan dari simulasi dengan memasukkan skenario kebocoran dan data-data yang dibutuhkan.

5.5.1 Dispersi Toksik

Kebocoran gas butana pada tabung 12 kg dapat menyebabkan terjadinya penyebaran toksik atau *toxic dispersion*. Setelah memasukkan data dan skenario kebocoran didapatkan bahwa *BREEZE Incident Analyst* merekomendasikan untuk menggunakan model dispersi DEGADIS yang merupakan model untuk menganalisis *dense gas* atau gas padat yang memiliki berat lebih besar dari udara (Butana memiliki berat 2,01 kali dari berat udara). Model ini juga mengasumsikan bahwa medan aliran pada atmosfer adalah datar tanpa penghalang. Setelah memilih model tersebut kemudian memasukkan data *emission rate* sebesar

$0,01132645 \approx 0,011$ kg/s. Setelah dilakukan simulasi dengan model dispersi toksik ini maka dihasilkan *output* berupa grafik sebagai berikut :



Gambar 5.9 Grafik Hasil Simulasi Dispersi Toksik Pada Tabung Butana 12 Kg

Pada jarak 2 meter konsentrasi butana adalah sebesar 5 ppm, karena adanya kecepatan angin konsentrasi butana terus mengalami kenaikan hingga jarak 9 meter dengan konsentrasi butana sebesar 90 ppm. Dispersi toksik ini dipengaruhi oleh kecepatan dan arah angin (2,5 m/s dan 270°).

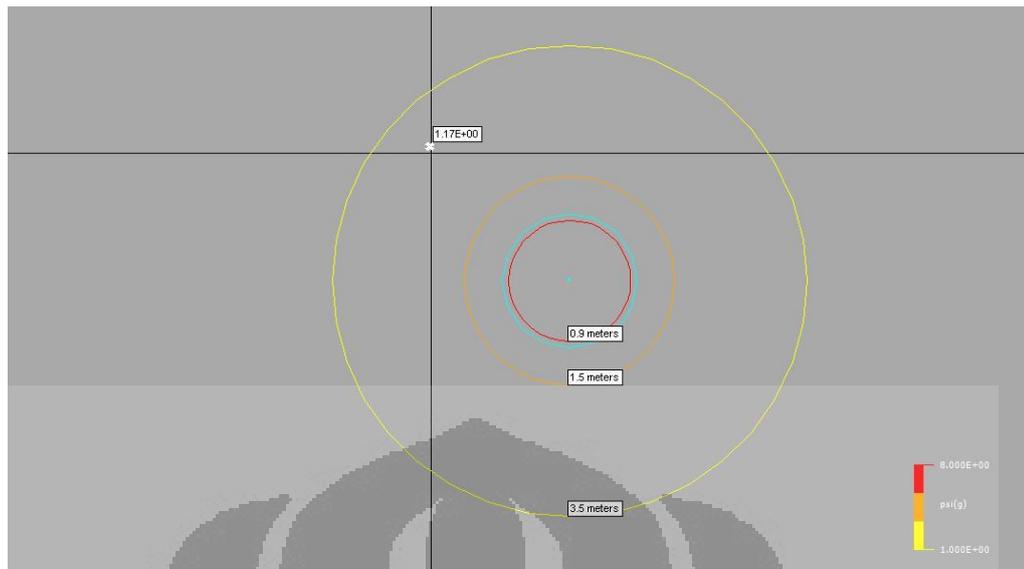
Selain itu peneliti juga memasukkan data LOC (*Level Of Concern*) sebesar 5500 ppm untuk *low level of concern* (zona hijau), 17000 ppm untuk *middle of level concern* (zona kuning), dan 53000 ppm untuk *upper level of concern* (zona merah). Ketiga nilai tersebut merupakan nilai berdasarkan AEGLs (*Acute Exposure Guideline Levels*). Nilai AEGLs-1 dapat menyebabkan populasi umum, termasuk individu yang rentan bisa mengalami ketidaknyamanan, iritasi, atau tanpa gejala tertentu, non-irradiasi efek. Nilai AEGL-2 dapat menyebabkan populasi umum, termasuk individu yang rentan bisa mengalami ireversibel atau hal lain yang serius dan efek jangka panjang yang merugikan kesehatan. Nilai AEGL-3 dapat menyebabkan populasi umum, termasuk individu yang rentan dapat terancam jiwanya jiwa, efek kesehatan atau kematian.

Pada simulasi ini terlihat bahwa pergerakan butana masih berada dibawah ketiga level konsentrasi tersebut, artinya tidak membahayakan atau tidak menyebabkan efek kesehatan kepada manusia. Menurut Pertamina, butana merupakan zat yang dalam konsentrasi besar dapat menyebabkan toksikologi akut seperti asfiksia (sesak nafas), peningkatan detak jantung/nadi, inkoordinasi, sakit kepala, mual, muntah dan disorientasi. Sedangkan menurut CDC, paparan 10.000 ppm selama 10 menit dapat menyebabkan kantuk tapi tidak menimbulkan efek sistemik.

5.5.2 Ledakan

Kebocoran gas butana pada tabung 12 kg juga dapat menimbulkan kejadian ledakan yang memiliki konsekuensi yaitu berupa *overpressure*. Dalam penentuan model ledakan peneliti menggunakan model *U.S Army TNT equivalency*. Model ini menggunakan hubungan proporsional antara massa yang mudah dibakar di awan setara dengan berat TNT dan mengasumsikan bahwa seluruh massa yang mudah terbakar terlibat dalam ledakan tersebut.

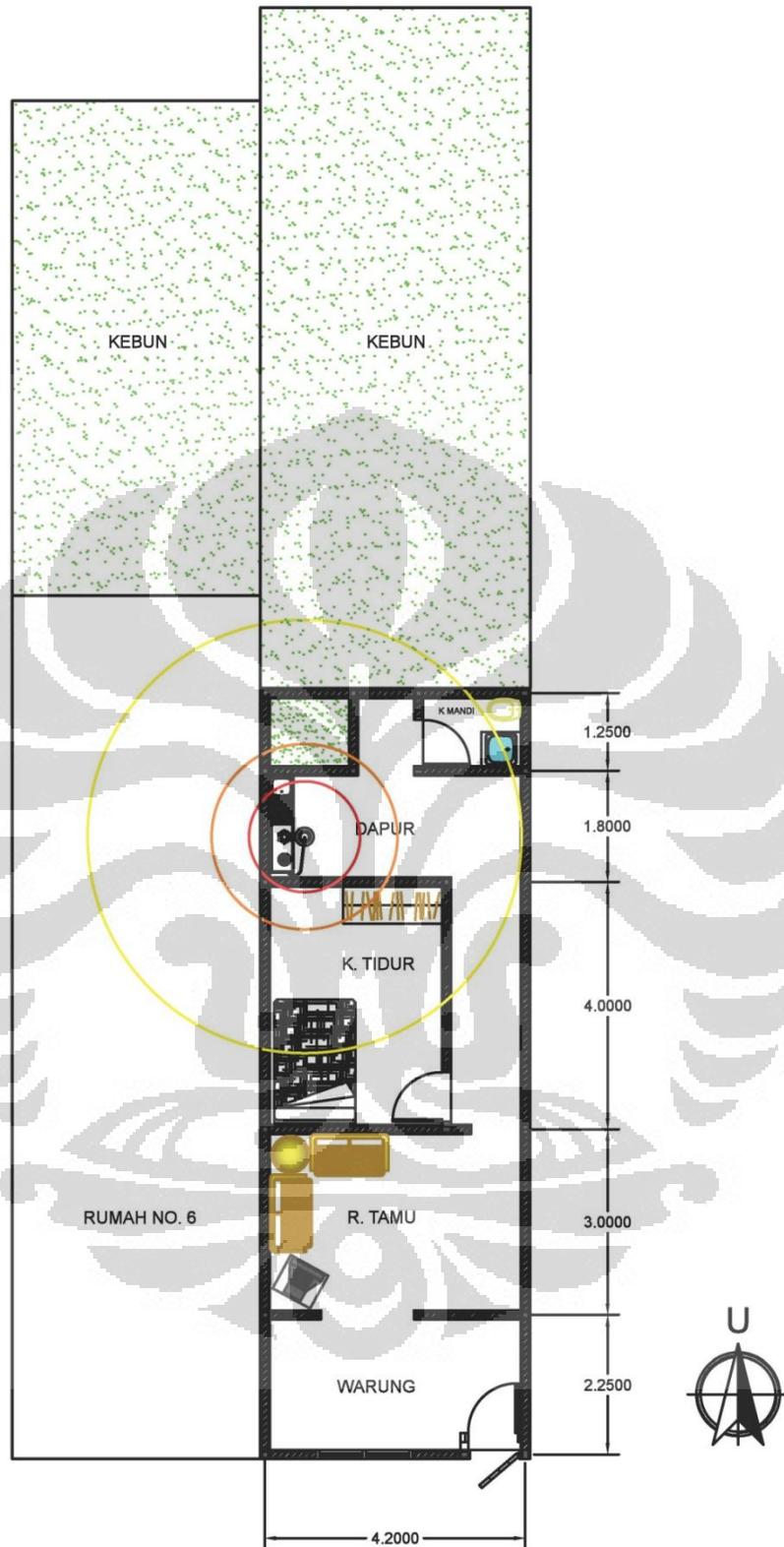
Data yang kemudian dimasukkan adalah *flammable mass* $0,026 \text{ m}^3$, *percent yield of TNT* 3 %, dan *explosion height* 3 m. Kemudian setelah data-data tersebut dimasukkan maka hasil/output yang didapatkan adalah berupa *surface explosion overpressure* dan *free air explosion overpressure* yang digambarkan dalam bentuk *threat zone map*.



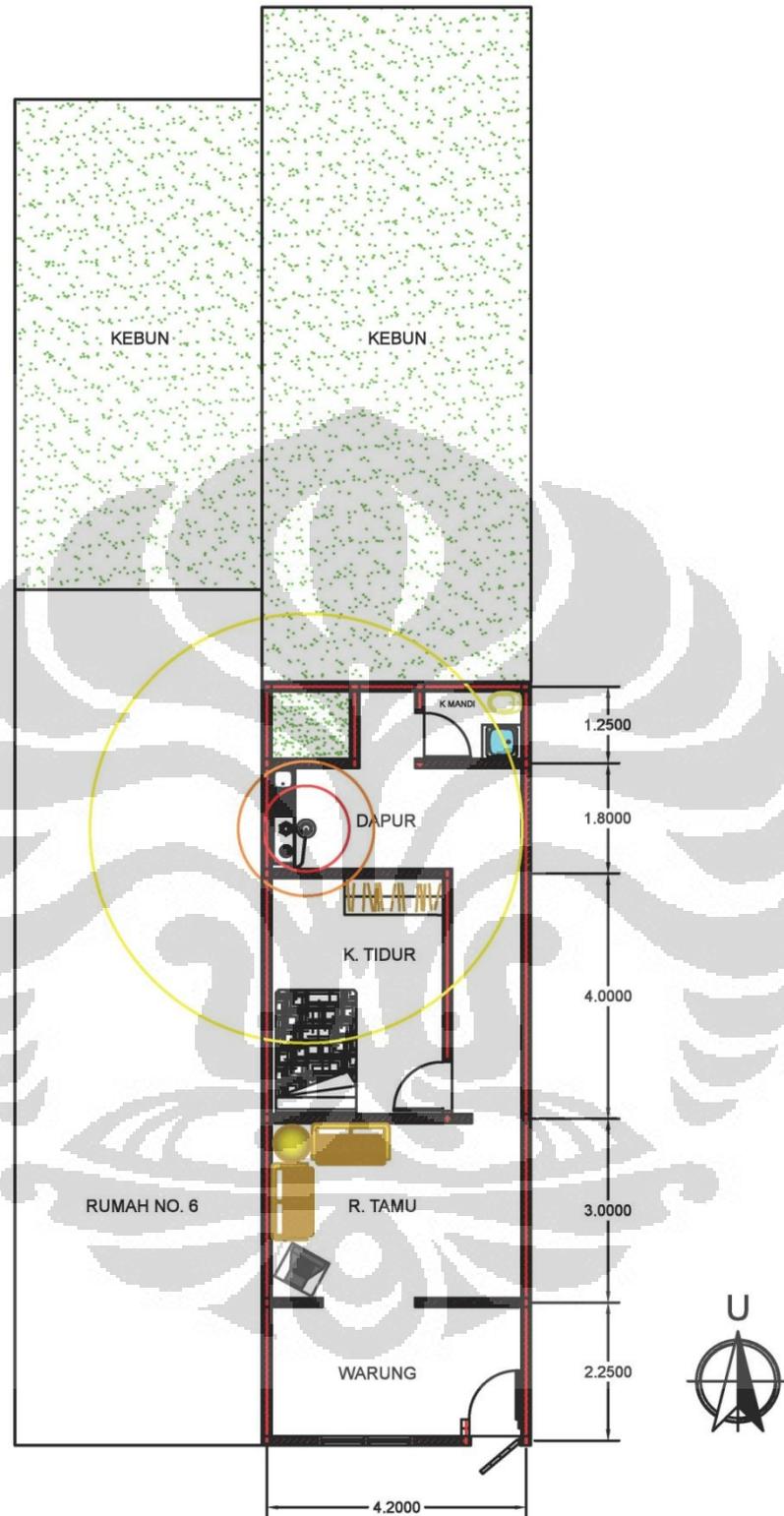
Gambar 5.10 Hasil Simulasi Ledakan Pada Tabung Butana 12 Kg Berupa *Surface Explosion Overpressure*



Gambar 5.11 Hasil Simulasi Ledakan Pada Tabung Butana 12 Kg Berupa *Free Air Explosion Overpressure*



Gambar 5.12 Proyeksi Hasil Simulasi Ledakan (*Surface Explosion Overpressure*) Tabung Butana 12 Kg Pada Denah Rumah



Gambar 5.13 Proyeksi Hasil Simulasi Ledakan (*Free Air Explosion Overpressure*) Tabung Butana 12 Pada Denah Rumah

Data *percent yield of TNT* yang dimasukkan adalah 3 %. Berdasarkan *gas explosion handbook*, disebutkan bahwa nilai dari *percent yield of TNT* adalah sebesar 3-5 %. Sedangkan tinggi ledakan 3 m diasumsikan bahwa ledakan gas butana dalam tabung 12 kg terjadi setinggi rumah pada umumnya. Peneliti menentukan 3 nilai LOC (*Level Of Concern*) yaitu :

- *low level of concern* (zona kuning) sebesar 1 Psi
- *middle level of concern* (zona oranye) sebesar 3,5 Psi
- *upper level of concern* (zona merah) sebesar 8 Psi

Menurut EPA (*U.S. Environmental Protection Agency*) dan NOAA (*National Oceanic And Atmospheric Administration*), zona kuning (1 psi) dapat menyebabkan pecahnya kaca, zona oranye (3,5 Psi) kemungkinan dapat menyebabkan cedera serius, dan zona merah (8 Psi) dapat mengakibatkan hancurnya bangunan.

Kebocoran gas butana pada tabung 12 kg menyebabkan terjadinya ledakan dengan konsekuensi berupa *overpressure* baik di permukaan maupun pada udara bebas. Pada *surface explosion overpressure* dari hasil simulasi menunjukkan bahwa zona merah dapat mencapai jarak 0,9 meter, zona oranye mencapai jarak 1,5 meter, sedangkan zona kuning dapat mencapai 3,5 meter. Sementara pada *free air explosion overpressure*, hasil simulasi menunjukkan bahwa zona merah dapat mencapai jarak 0,7 meter dari titik kejadian, zona oranye mencapai 1,1 meter, sedangkan zona kuning mencapai 3,5 meter. Jarak aman untuk bahaya ledakan adalah setelah jarak 3,5 meter.

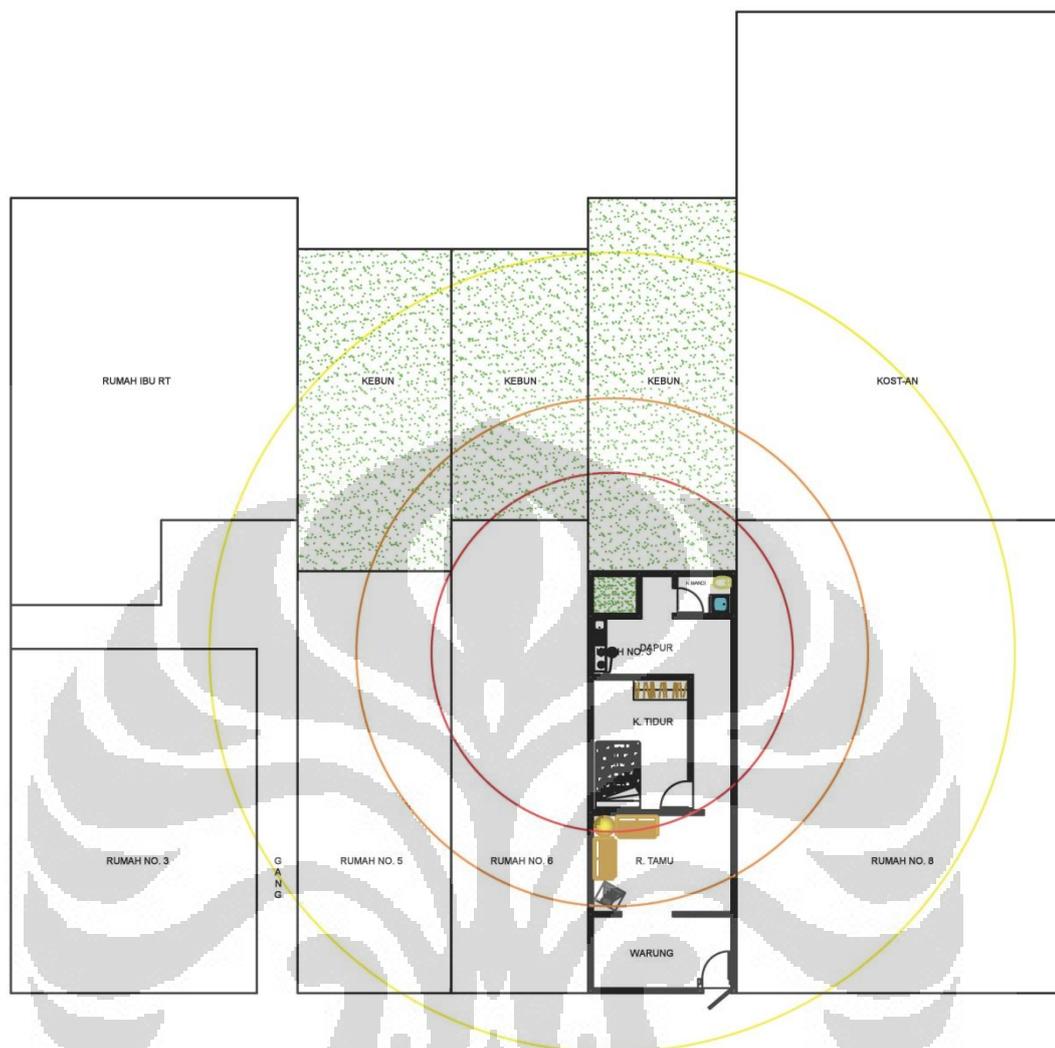
Kejadian ledakan pada tabung butana tidak berbeda jauh dengan ledakan pada tabung propana. Setelah hasil diproyeksikan pada denah rumah terlihat bahwa dampak dari kejadian ledakan dapat mengenai ruangan dapur, kamar tidur, dan rumah no.6. Orang-orang yang berisiko terkena dampak dari ledakan ini adalah keluarga dari Bapak Maroji yang berjumlah 3 orang dan keluarga dari Rumah No.6 yang berjumlah 5 orang. Dengan demikian dapat diperkirakan jumlah orang yang berisiko terkena dampak ledakan ini adalah sebanyak 8 orang.

5.5.3 Kebakaran

Kebocoran gas butana pada tabung 12 kg juga dapat menimbulkan kejadian kebakaran yang dapat menyebabkan konsekuensi berupa radiasi panas (*thermal radiation*) yang akan berdampak pada daerah di sekitar titik kebocoran. Untuk jenis kebakaran yang diskenariokan adalah BLEVE (*Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion*). Data yang perlu dimasukkan dalam simulasi kebakaran ini adalah *flammable mass* yaitu sebesar $0,026 \text{ m}^3$. Setelah dilakukan simulasi maka hasil/output yang didapatkan adalah berupa *threat zone map* dari *thermal radiation level* (tingkat radiasi panas).



Gambar 5.14 Hasil Simulasi Kebakaran Pada Tabung Butana 12 Kg Berupa *Thermal Radiation Level*



Gambar 5.15 Proyeksi Hasil Simulasi Kebakaran (*Thermal Radiation Level*) Tabung Butana 12 Kg Pada Denah Rumah

Peneliti menentukan 3 nilai LOC (*Level Of Concern*), yaitu *lower level of concern* (zona kuning) sebesar 2 kW/m^2 , *middle level of concern* (zona oranye) sebesar 5 kW/m^2 , dan *upper level of concern* (zona merah) sebesar 10 kW/m^2 . Menurut EPA (*U.S. Environmental Protection Agency*) dan NOAA (*National Oceanic And Atmospheric Administration*), zona merah (10 kW/m^2) berpotensi menyebabkan kematian dalam waktu 60 detik, zona oranye (5 kW/m^2) dapat menyebabkan luka bakar tingkat dua dalam waktu 60 detik, dan zona kuning (2 kW/m^2) dapat menyebabkan rasa sakit dalam waktu 60 detik.

Hasil dari simulasi tersebut menunjukkan bahwa zona merah (10 kW/m^2) dapat mencapai 5,3 meter dari titik kejadian, zona oranye (5 kW/m^2) dapat

mencapai 7,5 meter, dan zona kuning (2 kw/m^2) mencapai 11,8 meter. Dengan demikian zona amannya adalah setelah jarak 11,8 meter. Setelah diproyeksikan pada denah rumah terlihat bahwa dampak dari kebakaran pada tabung butana cukup luas bila dibandingkan dengan dampak ledakannya. Dampak kebakaran pada tabung butana hampir sama pada kejadian kebakaran pada tabung propana yaitu dapat mengenai 7 rumah dimana orang-orang yang berisiko terkena dampak kebakaran ini diperkirakan berjumlah ± 48 orang.

Hasil analisis menunjukkan bahwa konsekuensi yang terjadi akibat kebocoran pada tabung LPG berisi propana tidak jauh berbeda dengan tabung yang berisi gas butana. Diharapkan dengan mengetahuinya gambaran ini maka dapat dijadikan tambahan informasi mengenai pentingnya aspek keselamatan yang berhubungan dengan penanganan tabung LPG 12 kg dikalangan masyarakat pada umumnya. Selama ini banyak masyarakat yang kurang waspada terhadap penangan LPG khususnya yang berukuran 12 kg karena dianggap lebih aman dari LPG 3 kg. Hasil ini juga dapat digunakan sebagai langkah awal dari upaya pencegahan kebocoran gas LPG agar tidak menimbulkan kejadian yang merugikan seperti dispersi toksik, ledakan dan juga kebakaran.

Beberapa program keselamatan dapat diterapkan untuk mencegah (upaya preventif) dan mengurangi dampak (upaya mitigasi) dari kebocoran tabung LPG 12 kg ini diantaranya adalah :

- **Upaya Preventif**

Upaya preventif dilakukan untuk mencegah terjadinya kejadian kebocoran tabung gas LPG agar tidak menimbulkan bahaya seperti dispersi toksik, kebakaran, maupun ledakan. Upaya preventif dapat dilakukan dengan :

- Pengguna tabung LPG harus teliti dengan tidak menggunakan tabung gas LPG yang kondisinya tidak layak pakai.
- Menempatkan tabung LPG di tempat yang kering sehingga tidak menimbulkan korosi.
- Hindari tabung LPG dari panas matahari, rokok, maupun sumber panas lainnya.

- Memberikan sosialisasi kepada masyarakat mengenai cara penggunaan tabung gas LPG yang aman.

- **Upaya Mitigasi**

Upaya mitigasi dilakukan untuk mengurangi dampak atau konsekuensi dari ledakan dan kebakaran akibat kebocoran tabung LPG. Upaya-upaya tersebut antara lain :

- Mengatur penempatan tabung LPG sesuai jarak yang aman dengan aktivitas manusia. Hal ini bisa diterapkan untuk mengurangi dampak dari ledakan yang jaraknya tidak terlalu jauh.
- Menyediakan APAR (Alat Pemadam Api Ringan) yang diletakkan pada tempat yang strategis. Bila tidak memungkinkan dapat diganti dengan karung goni basah.
- Menyimpan nomor telepon penting seperti petugas pemadam kebakaran dan RS terdekat.
- Membuat jalur evakuasi dan tempat berkumpul yang berada di zona aman ketika terjadi kejadian kebakaran maupun ledakan seperti lapangan atau jalan yang lebih besar. Selain itu perlunya memberikan pengetahuan dan pelatihan kepada masyarakat mengenai tanggap darurat bila terjadi kebakaran ataupun ledakan. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan koordinasi antara RT/RW, Ibu-ibu PKK, masyarakat dan dinas terkait

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi mengenai dispersi gas, ledakan, dan kebakaran dengan menggunakan *BREEZE Incident Analyst*, maka dapat disimpulkan bahwa:

- Hasil simulasi dispersi toksik akibat kebocoran tabung gas propana maupun butana masih di bawah *Level of Concern* atau tidak bersifat toksik bagi masyarakat. Pada simulasi gas propana, konsentrasi tertinggi berada pada jarak 13 meter dengan konsentrasi sebesar 200 ppm. Sedangkan pada simulasi gas butana, konsentrasi terus mengalami kenaikan sampai pada jarak 9 meter dengan konsentrasi sebesar 90 ppm.
- Hasil simulasi ledakan dengan menggunakan *U.S. Army TNT Equivalency* menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang cukup besar antara tabung gas propana dan butana. Zona aman bagi keduanya adalah berada pada jarak setelah 3,5 m untuk jenis ledakan pada permukaan maupun pada udara bebas.
- Hasil simulasi kebakaran dengan skenario BLEVE juga menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang cukup besar antara hasil simulasi pada gas propana dan butana. Zona aman pada tabung propana berada pada jarak lebih dari 11,9 meter, sedangkan untuk tabung berisi butana adalah setelah 11,8 meter.

6.2 Saran

Saran ini secara umum ditujukan kepada masyarakat yang menggunakan gas LPG ukuran 12 kg pada kesehariannya.

- Setelah mengetahui jangkauan dari dispersi toksik, kebakaran, dan ledakan maka harus diperhatikan mengenai penempatan tabung LPG 12 kg sesuai dengan jarak yang aman.
- Melakukan upaya preventif agar tidak terjadi kebocoran pada tabung gas LPG antara lain dengan lebih teliti dalam membeli produk LPG 12 kg ini. Masyarakat harus memperhatikan kondisi dari tabung dan memastikan

bahwa tabung berada dalam kondisi yang layak, selain itu tabung LPG juga harus diperhatikan mengenai perawatannya selama masa pemakaian seperti tidak ditempatkan pada tempat yang basah atau yang dapat menimbulkan korosi, tabung tidak boleh terkena matahari secara langsung atau sumber panas lainnya. Untuk itu diperlukannya sosialisasi dari pemerintah mengenai penggunaan LPG yang aman bagi masyarakat.

- Untuk meminimalisasi akibat dari kebocoran yang mungkin terjadi, maka sebaiknya masyarakat lebih memperhatikan penempatan tabung LPG. Tabung LPG harus ditempatkan pada ruangan yang cukup memiliki sirkulasi udara yang baik. Bila diperlukan dapat menggunakan alat detektor gas, agar apabila terjadi kebocoran dapat segera dilakukan upaya untuk menanggulangnya sebelum menimbulkan kejadian yang lebih parah seperti ledakan dan kebakaran.
- Apabila sudah terjadi ledakan atau kebakaran maka perlu dilakukan upaya mitigasi untuk mengurangi dampak dari bahaya tersebut. Upaya-upaya yang dapat dilakukan antara lain dengan menyediakan APAR (bila memungkinkan) atau karung goni basah ; menyediakan jalur evakuasi dan tempat berkumpul di zona yang aman ; melakukan kerjasama antara RT/RW, Ibu-ibu PKK, masyarakat dengan dinas terkait untuk memberikan pengetahuan mengenai tanggap darurat kebakaran dan ledakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abduh, M. (2012) *Elpiji 12 Kg Meledak, Dua Tewas 8 Luka*. Tersedia dalam: <http://www.seputar-indonesia.com/ediscetak/content/view/478376/> (Diakses 26 Mei 2012).
- Arif, Johar. (2011) *Kelurahan Kalianyar Terpadat Se-DKI*. Tersedia dalam: <http://www.republika.co.id/berita/breaking-news/metropolitan/11/01/13/158088-kelurahan-kalianyar-terpadat-se-dki> (Diakses 14 Maret 2012).
- Arifenie, Fitri Nur. (2011) *Pertamina Klaim Kecelakaan Tabung Gas Elpiji Turun*. Tersedia dalam: <http://industri.kontan.co.id/news/pertamina-klaim-kecelakaan-tabung-gas-elpiji-turun-1/2011/06/23> (Diakses 1 Maret 2012).
- Assael, Marc J & Kakosimos, Konstantinos E. (2010) *Fires, Explosions, And Toxic Gas Dispersions*. Boca Raton: CRC Press.
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. Katup Tabung Baja LPG. Standar Nasional Indonesia No. 18283_SNI 1591_2008. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2011. Tabung Baja LPG. Standar Nasional Indonesia No. 3474_SNI 1452_2011. Jakarta.
- Bjerketvedt, D., J.R. Bakke & K.V. Wingerden. (1997) Gas Explosion Handbook. *Journal of Hazardous Material*, 52, 1-150.
- BREEZE Software. (2012) *BREEZE Incident Analysis*. Tersedia dalam: <http://www.BREEZE-software.com/incidentanalyst/> (Diakses 16 Maret 2012).
- CDC. (1978) *Occupational Health Guideline for Propane*. Tersedia dalam: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/81-123/pdfs/0524.pdf> (Diakses 7 Mei 2012).
- CDC. (1992) *Occupational Safety and Health Guideline for n-Butane*. Tersedia dalam: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/81-123/pdfs/0068.pdf> (Diakses 7 Mei 2012).
- CHARM Software. (2012) *Complex Hazardous Air Release Model*. Tersedia dalam: <http://www.charmmodel.com/> (Diakses 27 April 2012).

CVCC (2010). *Fire Extinguisher Training -The Fire Triangle*. Tersedia dalam: http://www.cvcc.edu/About_Us/HR/Occupational_Safety/Fire/triangle.cfm (Diakses 27 April 2012).

Damanik, Caroline. (2010) *Kasus Ledakan Tabung 12 Kg Lebih Banyak*. Tersedia dalam: <http://bisniskeuangan.kompas.com/read/2010/07/12/18474736/Kasus.Ledakan.Tabung.12.Kg.Lebih.Banyak> (Diakses 25 Februari 2012).

DEN. (2010) Media Informasi dan Komunikasi Dewan Energi Nasional edisi 4 tahun.

Departemen ESDM. (2007) *Program Pengalihan Minyak Tanah Ke LPG*. Tersedia dalam: perpustakaan.bappenas.go.id/lontar/file?file=digital/112681 (Diakses 22 Mei 2012)

Draeger. (2010) *Gas Dispersion*. Tersedia dalam: http://www.draeger.com/media/10/03/05/10030544/gas_dispersion_br_9046434_en.pdf (Diakses 2 Maret 2012).

Environmental Protection Agency. (2007) *ALOHA User's Manual*. Tersedia dalam: <http://www.epa.gov/oswer0e1/docs/cameo/ALOHAManual.pdf> (Diakses 15 Februari 2012).

EPA. (2008) *nButane Interim Acute Exposure Guideline Levels*. Tersedia dalam: http://www.epa.gov/oppt/aegl/pubs/butane_interim_dec_2008_v1.pdf (Diakses 7 Mei 2012).

EPA. (2008) *Propane Interim Acute Exposure Guideline Levels*. Tersedia dalam: http://www.epa.gov/oppt/aegl/pubs/propane_interim_dec_2008.pdf (Diakses 7 Mei 2012).

Fire Risk UK. (2012) *Theory of Fire*. Tersedia dalam: http://www.fireriskuk.com/training/theory_of_fire.htm (Diakses 10 Maret 2012).

Gexcon AS. (2012) *FLACS CFD Software*. Tersedia dalam: <http://www.environmental-expert.com/software/flacs-cfd-software-18972/view-comments> (Diakses 30 April 2012).

Ilyasan, Rahmat. (2011) *Tabung Elpiji 12 Kg Meledak, 2 Warga Terluka*. Tersedia dalam: <http://news.okezone.com/read/2011/08/28/340/497632/tabung-elpiji-12-kg-meledak-2-warga-terluka> (Diakses 25 Februari 2012).

Kalsum, Umi. (2009) *53 Titik Rawan Kebakaran di Jakarta*. Tersedia dalam: http://metro.vivanews.com/news/read/113357-53_titik_rawan_kebakaran_di_jakarta (Diakses 14 Maret 2012).

Kurniawan, Hasan. (2011) *Tabung Gas 12 Kg Meledak, Sekeluarga Tewas*. Tersedia dalam: <http://news.okezone.com/read/2011/03/02/338/430607/tabung-gas-12-kg-meledak-sekeluarga-tewas> (Diakses 25 Februari 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.

Nursal, Andi. (2010) *Ledakan Kompor Gas Dan Di Mana Perhatian Negara*. Tersedia dalam: <http://politik.kompasiana.com/2010/08/14/ledakan-kompor-gas-dan-dimana-perhatian-negara/> (Diakses 5 Maret 2012).

Pemerintah Kota Administrasi Jakarta Selatan. (2010) *Demografi*. Tersedia dalam: <http://selatan.jakarta.go.id/v3/?page=Demografi> (Diakses 9Maret 2012).

Pertamina. (2012) *Frequently Asked Questions*. Tersedia dalam: <http://gasdom.pertamina.com/faq.aspx> (Diakses 26 Februari 2012).

Pertamina. (2012) *Elpiji*. Tersedia dalam: http://gasdom.pertamina.com/produk_dan_services_elpiji.aspx (Diakses 10 Maret 2012).

Purchon, Nigel D. (2012) *Alkanes*. Tersedia dalam: <http://www.purchon.com/chemistry/alkanes.htm> (Diakses 27 April 2012).

Purnomo, Wahyu Praditya. (2012) *Korsleting Listrik Pemicu Utama Kebakaran di DKI*. Tersedia dalam: <http://metropolitan.inila>

h.com/read/detail/1837904/korsleting-listrik-pemicu-utama-kebakaran-di-dki (Diakses 12 April 2012).

Ramli, Suhatman. (2010) *Petunjuk Praktis Manajemen Kebakaran*. Jakarta: PT. Dian Rakyat.

Rohul News. (2012) *Tabung Gas 12 Kg Meledak, Satu Keluarga Luka Bakar*. Tersedia dalam: http://rohulnews.com/berita_dtl.php?id=1899&c_jns=8 (Diakses 25 Februari 2012).

Siswanto dan Mahaputra (2010) *2010 Ini, 78 Kasus Ledakan Tabung Gas Terjadi*. Tersedia dalam: <http://metro.vivanews.com/news/read/163235-2010-ini--78-kasus-ledakan-tabung-gas-terjadi> (Diakses 25 Februari 2012).

Sklavounos, Spyros and Rigas, Fotis. (2005) 'Estimation of safety distances in the vicinity of fuel gas pipelines', *Loss Prevention in the Process Industries*.19 (2006) 24–31, viewed 4 februari 2012, (www.sciencedirect.com).

Trinity Consultants. (2004) *Applying Proper dispersion models for Industrial Accidental Releases*. Tersedia dalam: www.trinityconsultants.com (Diakses 18 Maret 2012).

Wahyudi, Andian. (2010) *Antara Subsidi, Program Konversi, dan Bom Elpiji*. Tersedia dalam: <http://politik.kompasiana.com/2010/10/08/antara-subsidi-program-konversi-dan-bom-elpiji/> (Diakses 25 Februari 2012).

Wartakota. (2010) *Kawasan Padat Bangunan Rawan Ledakan gas*. Tersedia dalam: <http://www.wartakota.co.id/detil/berita/29434/Kawasan-Padat-Bangunan-rawan-Ledakan-Gas> (Diakses 3 Maret 2012).

Wisaksono, Haryo dan Rahayu, Triana. (2011) *Manajemen Risiko*. Tersedia dalam: <http://asuransi.astra.co.id/index.php?page=news.read&id=71> (Diakses 10 maret 2012).



Lampiran 1

| | | |
|-------|--|---|
| Nomor | PERTAMINA Direktorat Pembekalan Dan Pemasaran Dalam Negeri | Tanggal Pembuatan : Tanggal Revisi : |
|-------|--|---|

LEMBAR DATA KESELAMATAN BAHAN (MATERIAL SAFETY DATA SHEET)

1. PRODUK DAN IDENTITAS PERUSAHAAN

NAMA PRODUK : ELPIJI PROPANA

PRODUSEN : PERTAMINA

Jalan Perwira No.4
Jakarta Pusat. Kode Pos
Telpon : Faksimili :

Nomor Telpon Keadaan Darurat dalam 24 Jam :

Nomor Telpon Informasi LDKB / MSDS :

2. KOMPOSISI / INFORMASI KANDUNGAN BAHAN

| | |
|---------------------------|---------------|
| Nama Unsur bahan Produksi | Kandungan (%) |
|---------------------------|---------------|

| | |
|---------|------|
| Propane | > 95 |
|---------|------|

| | |
|--------|-------|
| Butane | < 2,5 |
|--------|-------|

Lihat Bagian : 16 mengenai uraian tentang bahan kandungan

Lihat Bagian : 8 mengenai urutan tentang ambang batas (jika ada)

3. PENGENALAN BAHAYA

Standar Komunikasi Bahaya: berdasarkan OSHA 29 CFR 1910.1200 dan bahan ini dianggap berbahaya.

Efek Paparan: Dapat menyebabkan iritasi dan luka beku pada kulit. Dapat menyebabkan kesulitan nafas, gejala iritasi saluran pernafasan, sakit kepala, mual and kehilangan kesadaran. Keterpaparan pada konsentrasi lebih dari 2% dapat menyebabkan gangguan penurunan sistim persarafan pusat. Keterpaparan yang lama dapat menyebabkan penurunan atau hilangnya kemampuan membau. Cegahlah "fire/explosion" dan gunakan perlindungan pernafasan segera setelah mengetahui adanya bau khas.

Data Tanggapan Darurat: Gas cair tidak berwarna. Sangat mudah. Akumulasi gas dapat terbakar / meledak bila terjadi kontak dengan api / bunga api. Kontainer yang bertekanan tinggi dapat meledak bila terpapar dengan api atau temperatur tinggi.

4. TATA CARA PERTOLONGAN PERTAMA

Kontak Mata : Bilas dengan air sebanyak-sebanyaknya. Jika terjadi iritasi, hubungi dokter.

Kontak Kulit : Cucilah bagian kulit yang terkena dengan air hangat selama 30 sampai dengan 60 menit.

Terhirup : jika muncul gejala-gejala berikut ini seperti : aspiksia (sesak nafas), iritasi saluran nafas, pusing, mual dan pingsan, cepat hubungi petugas kesehatan. Jika terjadi henti nafas gunakan resusitator bertekanan positif.

Tertelan : Pada keadaan biasa/normal hampir tidak pernah terjadi

5. TATA CARA PENANGGULANGAN KEBAKARAN

Media Pemadam Kebakaran : Karbon dioksida, foam, *dry chemical* dan *water fog*.

Prosedur Khusus Pemadaman Kebakaran : Hentikan aliran bahan bakar gas yang ada. Siramlah wadah yang ada dengan air untuk menjaga agar wadah tersebut tetap dingin. Jika terjadi kebocoran, tetapi tidak sampai menimbulkan kebakaran, semprotkan air untuk mendispersikan vapors. Cegah pekerja yang berusaha untuk memperbaiki kebocoran. Cegah agar tumpahan dan kebocoran yang ada agar tidak mengalir ke dalam saluran air, selokan atau ke lokasi sumber air bersih (air minum).

Alat Pelindung Khusus : Untuk kejadian kebakaran pada area yang tertutup, operator pemadam kebakaran harus menggunakan *Self Contained Breathing Apparatus (SCBA)*.

Bahaya Ledakan Dan Kebakaran Lain : akumulasi vapor dapat menyebabkan ledakan.

| | | |
|-------|--|---|
| Nomor | PERTAMINA Direktorat Pembekalan Dan Pemasaran Dalam Negeri | Tanggal Pembuatan : Tanggal Revisi : |
|-------|--|---|

Titik nyala °C(F) : TA
 Flammable limits - LEL : TA
 UEL : TA
 NFPA Hazard ID : Kesehatan : 1, Flammability : 4, Reaktivitas : 0
 Dekomposisi Bahan Berbahaya : Karbon monoksida.

6. TATA CARA PENANGGULANGAN TUMPAHAN DAN KEBOCORAN

Catatan Prosedur : Laporkan terjadinya tumpahan sesuai dengan sistem dan prosedur yang telah ditentukan. Jika terjadi tumpahan yang diperkirakan dapat memasuki saluran air ataupun daerah aliran sungai, segera laporkan kepada petugas yang berwenang.
 Prosedur Kebocoran Atau Tumpahan : Hentikan aliran gas dan penguapan ke udara. Gunakan air untuk mengencerkan (dilusi) awan uap yang terjadi. Eliminasi semua bahan yang mudah terbakar. Lakukan evakuasi pada daerah bahaya.
 Pencegahan Terhadap Lingkungan : Cegahlah tumpahan agar tidak masuk ke dalam selokan, saluran pembuangan limbah serta ke dalam tanah.
 Pencegahan Terhadap Orang : Lihat bagian 8.

7. PENANGANAN DAN PENYIMPANAN

Penanganan : Hindari kontak secara personal. Ethyl Mercaptan dapat digunakan untuk mendeteksi kebocoran yang terjadi (dari baunya). Kelemahan sistem deteksi dini dengan menggunakan bau ini adalah kemungkinan terjadinya penurunan kualitas baunya selama penyimpanan maupun transportasi. Penanganan ELPIJ harus dilakukan sesuai prosedur dan sebaiknya dilakukan di tempat yang mempunyai ventilasi cukup baik dan jauh dari bahan-bahan yang mudah terbakar.
 Penyimpanan : Jauhkan dari bahan-bahan yang mudah terbakar selama proses pengisian dan "venting". Simpanlah ditempat yang dingin. Kontainer yang disimpan dalam gudang harus dikat / disatukan sama lain dan dipasang arde.

8. PENGENDALIAN PEMAPARAN / PERLINDUNGAN DIRI

Ventilasi : Gunakan ELPIJ ditempat yang mempunyai ventilasi yang baik. Ventilasi dan peralatan yang digunakan dalam penggunaan ELPIJ sebaiknya terbuat dari bahan yang tahan ledakan (explosion proof).
 Perlindungan Pernapasan : Tidak diperlukan ketenangan khusus pada keadaan biasa. Bila terjadi keadaan darurat gunakan Self Contained Breathing Apparatus (SCBA).
 Perlindungan Mata : alat pelindung mata seperti goggle khusus untuk proteksi dari bahaya kimia digunakan bila terdapat kemungkinan kontak dengan ELPIJ.
 Perlindungan Kulit : Tidak diperlukan peralatan khusus. Gunakan sarung tangan ketika melakukan handling (penanganan) ELPIJ.
 Batas pemaparan : Produk ini tidak mengandung bahan-bahan yang telah diketahui memiliki nilai ambang batas pemaparan.

| | | |
|-------|--|---|
| Nomor | PERTAMINA Direktorat Pembekalan Dan Pemasaran Dalam Negeri | Tanggal Pembuatan : Tanggal Revisi : |
|-------|--|---|

| 9. DATA FISIK DAN KIMIAWI | | | |
|--|---------|-----------------|-----------|
| Test Matrix Sifat – sifat | Batasan | | |
| | Min | Max | ASTM Lain |
| Specific Gravity at 60/60 °F | : | akan dilaporkan | D-1657 - |
| Tekanan uap 100 F, psig | : | - 120 | D-1267 - |
| Weathering test at 36 F | : | 95 - | D-1837 - |
| Copper corrosion 1 hrs | : | - ASTM no.1 | D-1838 - |
| Total Sulphur, grains/100 cuft | : | - 15 | D2704 - |
| Komposisi : | | | D-2163 |
| C3 total % vol. | : | 95 | |
| C4+ (C4 and heavier) % vol | : | 2.5 | |
| Ethyl or buthyl mercaptan Added, ml/100 AG | : | 50 | |

| 10. STABILITAS DAN REAKTIVITAS | |
|--|---|
| Stabilitas (thermal, light, etc) | : stabil. |
| Kondisi / Situasi Yang Harus Dihindari | : Panas tinggi, percikan api, flame dan bahaya elektrik |
| Ketidaksesuaian (Bahan Yang Harus Dihindari) | : Oksidator kuat |
| Dekomposisi Bahan Berbahaya | : Karbon monoksida |
| Reaksi Polimerisasi yang berbahaya | : Tidak akan terjadi |

| 11. DATA TOKSIKOLOGI | |
|---|---|
| ----- TOKSIKOLOGI AKUT ----- | |
| Toksistas Oral (Tikus) | : Belum diketahui |
| Toksistas Kulit (Kelinci) | : Belum diketahui |
| Toksistas Penghirupan (Tikus) | : Non-toksik (LC50: lebih besar dari 5 mg/l). ----Berdasarkan uji terhadap bahan maupun komponen yang serupa. |
| Iritasi Mata (Kelinci) | : Non-iritasi. <i>Draize score</i> : lebih besar dari 6, namun lebih kecil dari 15. ----Berdasarkan uji terhadap bahan maupun komponen yang serupa. |
| Iritasi Kulit (Kelinci) | : Non-iritasi. (<i>Primary Irritation Index</i> : lebih besar dari 0.5, namun lebih kecil dari 3). ---Berdasarkan uji terhadap bahan maupun komponen serupa. |
| Data Toksistas Akut Lain | : aspiksia (sesak nafas), peningkatan detak jantung/nadi, inkoordinasi, sakit kepala, mual, muntah dan disorientasi. |
| Pada keadaan lebih lanjut karena kurangnya pasokan oksigen, dapat terjadi kejang, pingsan bahkan sampai meninggal | |

| 12. INFORMASI EKOLOGI |
|---|
| Efek terhadap lingkungan: belum diselenggarakan |

| 13. PERTIMBANGAN-PERTIMBANGAN PEMBUANGAN (DISPOSAL CONSIDERATIONS) |
|--|
| Pembuangan Limbah : Produk ini dapat dibakar pada tempat yang tertutup untuk tujuan memperoleh energi, atau dibakar pada insinerasi. |
| Informasi Peraturan-Perundang-undangan : Bahan ini mengandung komponen yang berbahaya. Produk ini mempunyai sifat-sifat yang berbahaya seperti <i>ignitability</i> , korosifitas dan diformulasikan mengandung |

| | | |
|-------|--|---|
| Nomor | PERTAMINA Direktorat Pembekalan Dan Pemasaran Dalam Negeri | Tanggal Pembuatan : Tanggal Revisi : |
|-------|--|---|

kontaminan-kontaminan yang memerlukan penentuan dengan TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure).

14. INFORMASI TRANSPORTASI

USA DOT

SHIPPING NAME: Petroleum Gases, Liquefied
HAZARD CLASS & DIV: 2.1
ID NUMBER: UN1075
ERG NUMBER: 115
PACKING GROUP: Tidak diketahui
STCC: Tidak diketahui
DANGEROUS WHEN WET: Tidak
POISON: Tidak
LABEL(s): Flammable Gas

RID/ADR:

HAZARD CLASS: 2
HAZARD SUB CLASS: 4 (b)
LABEL: 3
DANGER NUMBER: 23
UN NUMBER: 1965
SHIPPING NAME: Mixtures of Hydrocarbons (Liquefied gas)

IMO:

HAZARD CLASS & DIV: 2.1
ID/UN NUMBER: 1075
PACKING GROUP: Tidak diketahui
SHIPPING NAME: Petroleum Gases, Liquefied
LABEL(s): Flammable Gas

ICAO/IATA

HAZARD CLASS & DIV: 2.1
ID/UN NUMBER: 1075
PACKING GROUP: Tidak diketahui
SHIPPING NAME: Petroleum Gases, Liquefied
LABEL (s): Flammable Gas, Cargo Aircraft only

15. INFORMASI PERATURAN-PERATURAN

Status Inventory: terdaftar pada TSCA.

EU Labeling :

Symbol: F+ = Extremely flammable

Risk Phrase(s): R12.

Extremely flammable.

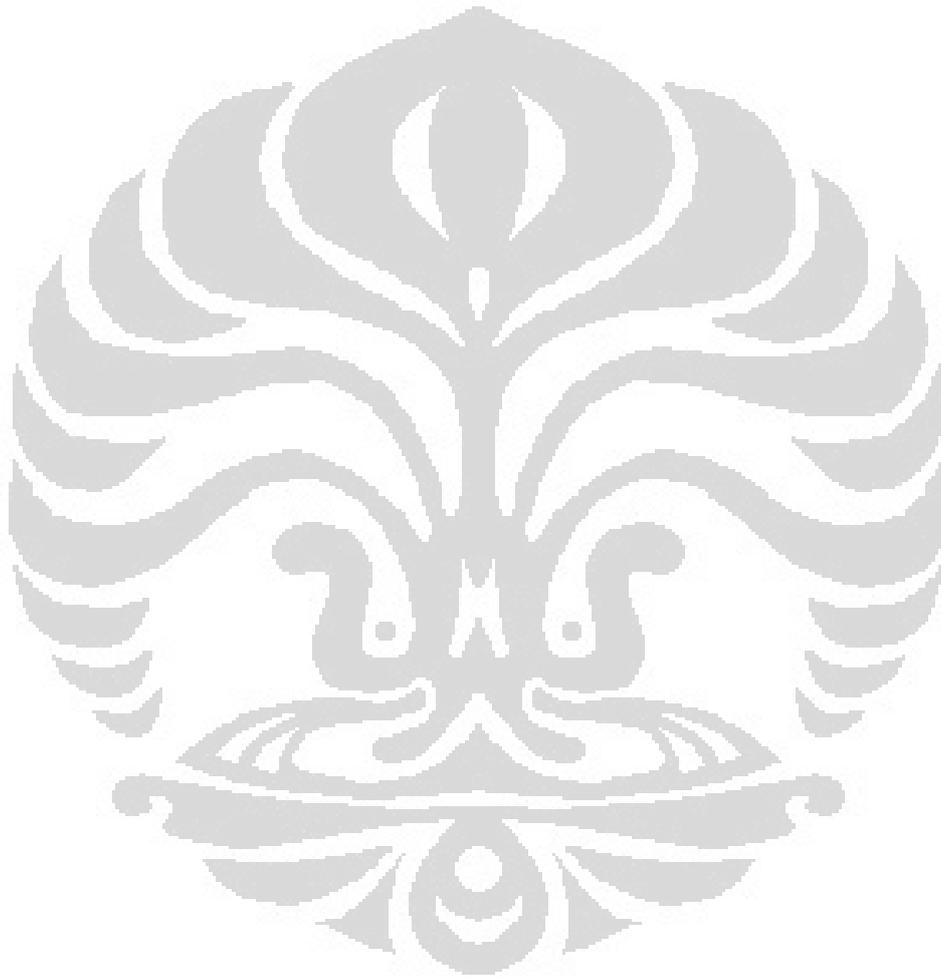
Safety Phrase(s): S9-16-33

Letakkan container pada lokasi dengan ventilasi yang baik. Jauhkan dari sumber nyala-

Dilarang merokok.

| | | |
|-------|--|---|
| Nomor | PERTAMINA Direktorat Pembekalan Dan Pemasaran Dalam Negeri | Tanggal Pembuatan : Tanggal Revisi : |
|-------|--|---|

| |
|--|
| 16. INFORMASI LAIN-LAIN |
| LABEL: MENGANDUNG LIQUIFIED PETROLEUM GAS ! BAHAYA ! JIKA KONTAK DENGAN KULIT DAPAT TERJADI LUKA BAKAR. MENYEBABKAN IRTASI MATA DAN KULIT. DAPAT MENYEBABKAN CENTRAL NERVOUS SYSTEM DEPRESSION. Kondisi dan kesesuaian produk untuk penggunaan tertentu diluar jaminan perusahaan; semua resiko penggunaan produk ditanggung oleh pengguna. Tanda peringatan dan prosedur penanganan produk ini harus dimiliki oleh pengguna dan petugas yang menangani produk ini. Dilarang untuk mengganti dokumen ini, kecuali dengan persetujuan secara hukum. |



Lampiran 2

| | | |
|-------|--|---|
| Nomor | PERTAMINA Direktorat Pembekalan Dan Pemasaran Dalam Negeri | Tanggal Pembuatan : Tanggal Revisi : |
|-------|--|---|

LEMBAR DATA KESELAMATAN BAHAN (MATERIAL SAFETY DATA SHEET)

| | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------|--------|-------------------------------|-------|--|
| 1. PRODUK DAN IDENTITAS PERUSAHAAN | | | | | | | |
| <p>NAMA PRODUK : ELPIJI BUTANA PRODUSEN : PERTAMINA Jalan Perwira No.4 Jakarta Pusat. Kode Pos Telpn : Faksimili :</p> <p>Nomor Telpn Keadaan Darurat dalam 24 Jam : Nomor Telpn Informasi LDKB / MSDS :</p> | | | | | | | |
| 2. KOMPOSISI / INFORMASI KANDUNGAN BAHAN | | | | | | | |
| <p>Nama Unsur bahan Produksi</p> <table border="0"> <tr> <td>Butane</td> <td style="text-align: right;">Kandungan (%)</td> </tr> <tr> <td>Pentana</td> <td style="text-align: right;">> 97,5</td> </tr> <tr> <td>Heksana (heksana dan heavier)</td> <td style="text-align: right;">< 2,5</td> </tr> </table> <p>Lihat Bagian : 16 mengenai uraian tentang bahan kandungan Lihat Bagian : 8 mengenai urutan tentang ambang batas (jika ada)</p> | Butane | Kandungan (%) | Pentana | > 97,5 | Heksana (heksana dan heavier) | < 2,5 | |
| Butane | Kandungan (%) | | | | | | |
| Pentana | > 97,5 | | | | | | |
| Heksana (heksana dan heavier) | < 2,5 | | | | | | |
| 3. PENGENALAN BAHAYA | | | | | | | |
| <p>Standar Komunikasi Bahaya : berdasarkan OSHA 29 CFR 1910.1200 dan bahan ini dianggap berbahaya.</p> <p>Efek Paparan : Dapat menyebabkan iritasi dan luka beku pada kulit. Dapat menyebabkan kesulitan nafas, gejala iritasi saluran pernafasan, sakit kepala, mual and kehilangan kesadaran. Keterpaparan pada konsentrasi lebih dari 2% dapat menyebabkan gangguan penurunan sistim persarafan pusat. Keterpaparan yang lama dapat menyebabkan penurunan atau hilangnya kemampuan membau. Cegahlah "fire/explosion" dan gunakan perlindungan pernafasan segera setelah mengetahui adanya bau khas.</p> <p>Data Tanggap Darurat : Gas cair tidak berwarna. Sangat mudah. Akumulasi gas dapat terbakar / meledak bila terjadi kontak dengan api / bunga api. Kontainer yang bertekanan tinggi dapat meledak bila terpapar dengan api atau temperatur tinggi.</p> | | | | | | | |
| 4. TATA CARA PERTOLONGAN PERTAMA | | | | | | | |
| <p>Kontak Mata : Bilas dengan air sebanyak-sebanyaknya. Jika terjadi iritasi, hubungi dokter.</p> <p>Kontak Kulit : Cucilah bagian kulit yang terkena dengan air hangat selama 30 sampai dengan 60 menit.</p> <p>Terhirup : jika muncul gejala-gejala berikut ini seperti : aspiksia (sesak nafas), iritasi saluran nafas, pusing, mual dan pingsan, cepat hubungi petugas kesehatan. Jika terjadi henti nafas gunakan resusitator bertekanan positif.</p> <p>Tertelan : Pada keadaan biasa/normal hampir tidak pernah terjadi</p> | | | | | | | |
| 5. TATA CARA PENANGGULANGAN KEBAKARAN | | | | | | | |
| <p>Media Pemadam Kebakaran : Karbon dioksida, foam, <i>dry chemical</i> dan <i>water fog</i>.</p> <p>Prosedur Khusus Pemadaman Kebakaran : Hentikan aliran bahan bakar gas yang ada. Siramlah wadah yang ada dengan air untuk menjaga agar wadah tersebut tetap dingin. Jika terjadi kebocoran, tetapi tidak sampai menimbulkan kebakaran, semprotkan air untuk mendispersikan vapors. Cegah pekerja yang berusaha untuk memperbaiki kebocoran. Cegah agar tumpahan dan kebocoran yang ada agar tidak mengalir ke dalam saluran air, selokan atau ke lokasi sumber air bersih (air minum).</p> | | | | | | | |

| | | |
|-------|--|---|
| Nomor | PERTAMINA Direktorat Pembekalan Dan Pemasaran Dalam Negeri | Tanggal Pembuatan : Tanggal Revisi : |
|-------|--|---|

| | |
|-----------------------------------|--|
| Alat Pelindung Khusus | : Untuk kejadian kebakaran pada area yang tertutup, operator pemadam kebakaran harus menggunakan <i>Self Contained Breathing Aparatus (SCBA)</i> . |
| Bahaya Ledakan Dan Kebakaran Lain | : akumulasi vapor dapat menyebabkan ledakan. |
| Titik nyala °C(F) : TA | |
| Flammable limits - LEL | : TA |
| UEL | : TA |
| NFPA Hazard ID | : Kesehatan : 1, Flammability : 4, Reaktivitas ; 0 |
| Dekomposisi Bahan Berbahaya | : Karbon monoksida. |

6. TATA CARA PENANGGULANGAN TUMPAHAN DAN KEBOCORAN

| | |
|----------------------------------|---|
| Catatan Prosedur | : Laporkan terjadinya tumpahan sesuai dengan sistem dan prosedur yang telah ditentukan. Jika terjadi tumpahan yang diperkirakan dapat memasuki saluran air ataupun daerah aliran sungai, segera laporkan kepada petugas yang berwenang. |
| Prosedur Kebocoran Atau Tumpahan | : Hentikan aliran gas dan penguapan ke udara. Gunakan air untuk mengencerkan (dilusi) awan uap yang terjadi. Eliminasi semua bahan yang mudah terbakar. Lakukan evakuasi pada daerah bahaya. |
| Pencegahan Terhadap Lingkungan | : Cegahlah tumpahan agar tidak masuk ke dalam selokan, saluran pembuangan limbah serta ke dalam tanah. |
| Pencegahan Terhadap Orang | : Lihat bagian 8. |

7. PENANGANAN DAN PENYIMPANAN

| | |
|-------------|--|
| Penanganan | : Hindari kontak secara personal. Ethyl Mercaptan dapat digunakan untuk mendeteksi kebocoran yang terjadi (dari baunya). Kelemahan sistem deteksi dini dengan menggunakan bau ini adalah kemungkinan terjadinya penurunan kualitas baunya selama penyimpanan maupun transportasi. Penanganan ELPIJI harus dilakukan sesuai prosedur dan sebaiknya dilakukan di tempat yang mempunyai ventilasi cukup baik dan jauh dari bahan-bahan yang mudah terbakar. |
| Penyimpanan | : Jauhkan dari bahan-bahan yang mudah terbakar selama proses pengisian dan "venting". Simpanlah ditempat yang dingin. Kontainer yang disimpan dalam gudang harus diikat / disatukan sama lain dan dipasang arde. |

8. PENGENDALIAN PEMAPARAN / PERLINDUNGAN DIRI

| | |
|-------------------------|---|
| Ventilasi | : Gunakan ELPIJI ditempat yang mempunyai ventilasi yang baik. Ventilasi dan peralatan yang digunakan dalam penggunaan ELPIJI sebaiknya terbuat dari bahan yang tahan ledakan (explosion proof). |
| Perlindungan Pernapasan | : Tidak diperlukan ketentuan khusus pada keadaan biasa. Bila terjadi keadaan darurat gunakan <i>Self Contained Breathing Apparatus (SCBA)</i> . |
| Perlindungan Mata | : alat pelindung mata seperti goggle khusus untuk proteksi dari bahaya kimia digunakan bila terdapat kemungkinan kontak dengan ELPIJI. |
| Perlindungan Kulit | : Tidak diperlukan peralatan khusus. Gunakan sarung tangan ketika melakukan handling (penanganan) ELPIJI. |
| Batas pemaparan | : Produk ini tidak mengandung bahan-bahan yang telah diketahui memiliki nilai ambang batas pemaparan. |

| | | |
|-------|--|---|
| Nomor | PERTAMINA Direktorat Pembekalan Dan Pemasaran Dalam Negeri | Tanggal Pembuatan : Tanggal Revisi : |
|-------|--|---|

| 9. DATA FISIK DAN KIMIAWI | | | |
|--|-----------------|-----------|-------------|
| Sifat – sifat | Batasan | | Test Matrix |
| | Min | Max | ASTM Lain |
| Specific Gravity at 60/60 °F | akan dilaporkan | | D-1657 - |
| Tekanan uap 100 F, psig | - | 70 | D-1267 - |
| Weathering test at 36 F | 95 | - | D-1837 - |
| Copper corrosion 1 hrs | - | ASTM no.1 | D-1838 - |
| Total Sulphur, grains/100 cuft | - | 15 | D2704 - |
| Komposisi : | | | D-2163 |
| C4 total % vol. | 95 | | |
| C5 % volume | | 2.5 | |
| C6 + (C6 and heaviar) % vol | | - | |
| Ethyl or buthyl mercaptan Added, ml/100 AG | | 50 | |

| 10. STABILITAS DAN REAKTIVITAS | |
|--|---|
| Stabilitas (thermal, light, etc) | : stabil. |
| Keadaan / Situasi Yang Harus Dihindari | : Panas tinggi, percikan api, flame dan bahaya elektrik |
| Ketidaksesuaian (Bahan Yang Harus Dihindari) | : Oksidator kuat |
| Dekomposisi Bahan Berbahaya | : Karbon monoksida |
| Reaksi Polimerisasi yang berbahaya | : Tidak akan terjadi |

| 11. DATA TOKSIKOLOGI | |
|--|---|
| ----- TOKSIKOLOGI AKUT ----- | |
| Toksisitas Oral (Tikus) | : Belum diketahui |
| Toksisitas Kulit (Kelinci) | : Belum diketahui |
| Toksisitas Penghirupan (Tikus) | : Non-toksik (LC50: lebih besar dari 5 mg/l). ----Berdasarkan uji terhadap bahan maupun komponen yang serupa. |
| Iritasi Mata (Kelinci) | : Non-iritasi. <i>Draize score</i> : lebih besar dari 6, namun lebih kecil dari 15. ----Berdasarkan uji terhadap bahan maupun komponen yang serupa. |
| Iritasi Kulit (Kelinci) | : Non-iritasi. (<i>Primary Irritation Index</i> : lebih besar dari 0.5, namun lebih kecil dari 3). ---Berdasarkan uji terhadap bahan maupun komponen serupa. |
| Data Toksisitas Akut Lain | : aspiksia (sesak nafas), peningkatan detak jantung/nadi, inkoordinasi, sakit kepala, mual, muntah dan disorientasi. |
| Pada keadaan lebih lanjut karena kurangnya pasokan oksigen, dapat terjadi :kejang, pingsan bahkan sampai meninggal | |

| 12. INFORMASI EKOLOGI |
|---|
| Efek terhadap lingkungan: belum diselenggarakan |

| | | |
|-------|--|---|
| Nomor | PERTAMINA Direktorat Pembekalan Dan Pemasaran Dalam Negeri | Tanggal Pembuatan : Tanggal Revisi : |
|-------|--|---|

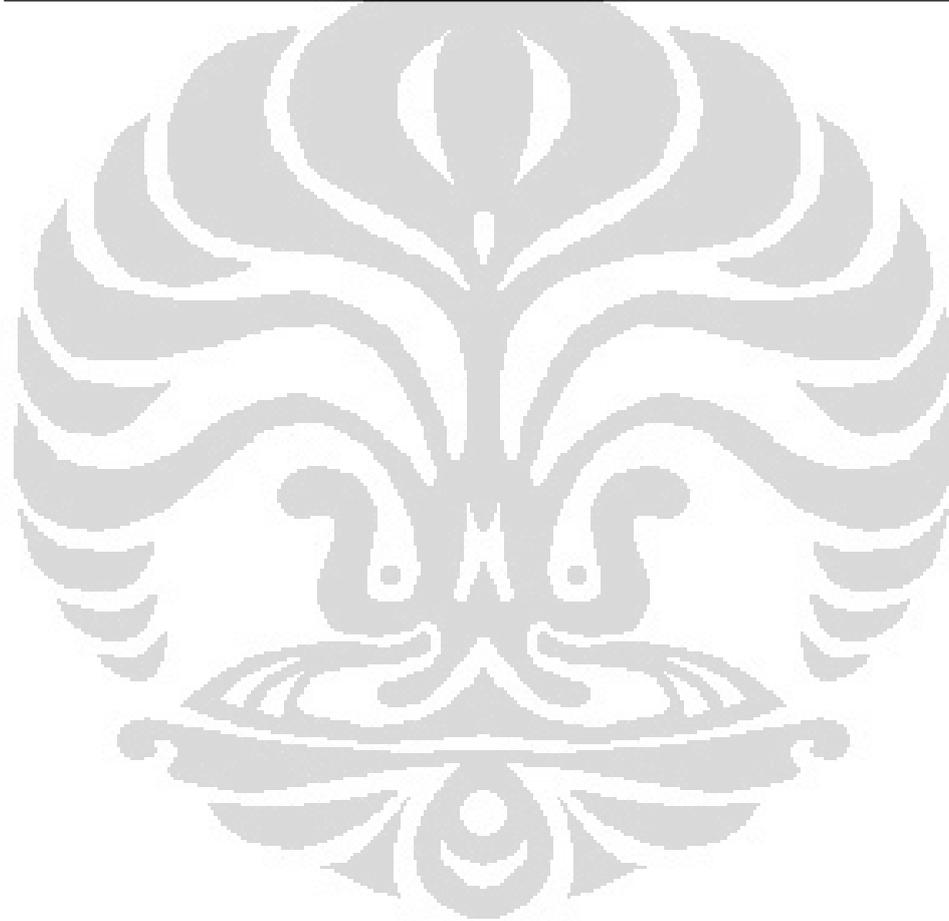
| |
|--|
| 13. PERTIMBANGAN-PERTIMBANGAN PEMBUANGAN (DISPOSAL CONSIDERATIONS) |
| <p>Pembuangan Limbah : Produk ini dapat dibakar pada tempat yang tertutup untuk tujuan memperoleh energi, atau dibakar pada insinerasi.</p> <p>Informasi Peraturan-Perundang-undangan : Bahan ini mengandung komponen yang berbahaya. Produk ini mempunyai sifat-sifat yang berbahaya seperti <i>ignitability</i>, korosifitas dan diformulasikan mengandung kontaminan-kontaminan yang memerlukan penentuan dengan TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure).</p> |

| |
|--|
| 14. INFORMASI TRANSPORTASI |
| <p><u>USA DOT</u></p> <p>SHIPPING NAME: Petroleum Gases, Liquefied HAZARD CLASS & DIV: 2.1 ID NUMBER: UN1075 ERG NUMBER: 115 PACKING GROUP: Tidak diketahui STCC: Tidak diketahui DANGEROUS WHEN WET: Tidak POISON: Tidak LABEL(s): Flammable Gas</p> <p><u>RID/ADR</u></p> <p>HAZARD CLASS: 2 HAZARD SUB CLASS: 4 (b) LABEL: 3 DANGER NUMBER: 23 UN NUMBER: 1965 SHIPPING NAME: Mixtures of Hydrocarbons (Liquefied gas)</p> <p><u>IMO</u></p> <p>HAZARD CLASS & DIV: 2.1 ID/UN NUMBER: 1075 PACKING GROUP: Tidak diketahui SHIPPING NAME: Petroleum Gases, Liquefied LABEL(s): Flammable Gas</p> <p><u>ICAO/IATA</u></p> <p>HAZARD CLASS & DIV: 2.1 ID/UN NUMBER: 1075 PACKING GROUP: Tidak diketahui SHIPPING NAME: Petroleum Gases, Liquefied LABEL (s): Flammable Gas, Cargo Aircraft only</p> |

| |
|--|
| 15. INFORMASI PERATURAN-PERATURAN |
| <p>Status Inventory: terdaftar pada TSCA.</p> <p>EU Labeling :</p> <p>Symbol: F+ = Extremely flammable Risk Phrase(s): R12. Extremely flammable. Safety Phrase(s): S9-16-33 Letakkan container pada lokasi dengan ventilasi yang baik. Jauhkan dari sumber nyala- Dilarang merokok.</p> |

| | | |
|-------|--|---|
| Nomor | PERTAMINA Direktorat Pembekalan Dan Pemasaran Dalam Negeri | Tanggal Pembuatan : Tanggal Revisi : |
|-------|--|---|

| |
|---|
| 16. INFORMASI LAIN-LAIN |
| <p>LABEL: MENGANDUNG LIQUIFIED PETROLEUM GAS ! BAHAYA ! JIKA KONTAK DENGAN KULIT DAPAT TERJADI LUKA BAKAR. MENYEBABKAN IRTIASI MATA DAN KULIT. DAPAT MENYEBABKAN CENTRAL NERVOUS SYSTEM DEPRESSION.</p> <p>Kondisi dan kesesuaian produk untuk penggunaan tertentu diluar jaminan perusahaan; semua resiko penggunaan produk ditanggung oleh pengguna. Tanda peringatan dan prosedur penanganan produk ini harus dimiliki oleh pengguna dan petugas yang menangani produk ini. Dilarang untuk mengganti dokumen ini, kecuali dengan persetujuan secara hukum.</p> |



Lampiran 3

Foto Lokasi



Gang Sadar



Rumah (Tampak Depan)



Ruangan Dapur