

Analisis Dispersi Emisi Hidrokarbon pada Onshore Receiving Facilities menggunakan ALOHA 5.4.5

Muhammad Radifan Putra dan Arie Dipareza Syafei

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: dipareza@enviro.its.ac.id

Abstrak—Onshore Receiving Facilities (ORF) adalah fasilitas penerimaan dan distribusi gas alam terletak di daratan. ORF dilengkapi dengan *vent tower* yang berfungsi untuk melepas gas alam ke atmosfer melalui proses yang dinamakan *emergency hydrocarbon release*. Proses ini dinamakan *emergency hydrocarbon release* karena sifatnya yang darurat (untuk keselamatan) dan komposisi utama dari gas alam adalah hidrokarbon. Analisis dispersi emisi hidrokarbon yang terjadi saat *emergency hydrocarbon release* menjadi penting karena bahaya yang ditimbulkan oleh hidrokarbon terhadap manusia. Analisis dispersi dilakukan dengan menggunakan perangkat *Areal Locations of Hazardous Atmosphere* (ALOHA) 5.4.5. Hasil penelitian berupa jarak sebaran emisi terjauh yang dianggap berbahaya (rawan meledak dan beracun) yang didapat dengan membandingkan konsentrasi emisi hidrokarbon di permukaan dengan standar baku pembanding. Penelitian kali ini menggunakan tiga jenis variabel, yaitu volume emisi hidrokarbon, kecepatan angin, dan kelas kestabilan atmosfer. Berdasarkan hasil analisis dispersi menggunakan ALOHA 5.4.5, jarak terjauh yang dianggap berbahaya (rawan meledak dan beracun) adalah masing-masing 1,6 km dan 2,8 km. Jarak terjauh ini terjadi pada volume emisi hidrokarbon terbesar, kecepatan angin terendah, dan kondisi atmosfer cenderung stabil.

Kata Kunci—ALOHA 5.4.5, *emergency hydrocarbon release*, emisi hidrokarbon, dan *onshore receiving facilities*.

I. PENDAHULUAN

KOMPONEN utama penyusun dari gas alam adalah hidrokarbon fraksi ringan, yaitu metana (CH_4) dan sedikit CO_2 , H_2O , air raksa, dan H_2S . Pada umumnya gas alam digunakan sebagai bahan penghasil energi, baik untuk perumahan ataupun industri [1].

ORF adalah fasilitas penerimaan dan distribusi gas alam dari kilang penghasil gas alam yang terletak di tengah laut menuju fasilitas pembeli di daratan. ORF dilengkapi dengan *vent tower* yang berfungsi pada keadaan darurat untuk melakukan *emergency hydrocarbon release*, yaitu proses lepasnya gas alam (hidrokarbon) ke udara bebas dan biasanya dalam jumlah besar [2]. Gas hidrokarbon yang merupakan komponen utama penyusun dari gas alam ini terlepas ke udara bebas dan menyebar dengan jauh karena tekanan dan kecepatan yang tinggi [3].

Hidrokarbon dalam wujud gas memiliki sifat beracun yang lebih berbahaya dibandingkan dengan wujud padatan dan cairan. Gas hidrokarbon apabila dihirup dapat menyebabkan

iritasi pada membran mukosa dan menimbulkan infeksi paru-paru bila terhisap [4]. Dampak lain yang ditimbulkan dari gas hidrokarbon antara lain, dapat menyebabkan penyerapan oksigen bagi tubuh berkurang karena darah yang mengikat gas hidrokarbon [5]. Selanjutnya dijelaskan pula konsentrasi hidrokarbon melebihi 10% dapat menyebabkan hilangnya kesadaran pada manusia.

Oleh karena risiko yang ditimbulkan dari emisi hidrokarbon pada manusia saat *emergency hydrocarbon release* terjadi, membuat penelitian ini perlu dilakukan. Penelitian mengenai analisis dispersi emisi hidrokarbon dilakukan untuk mengetahui jarak sebaran emisi terjauh dimana konsentrasi hidrokarbon dianggap berbahaya untuk risiko rawan terbakar dan beracun. Analisis dispersi emisi hidrokarbon menggunakan perangkat ALOHA. Perangkat ini dapat digunakan untuk membuat *emergency response plan* pada keadaan darurat [6]. ALOHA telah digunakan dalam permodelan emisi udara dalam keadaan darurat, seperti kebocoran reaktor nuklir Fukushima [7], kecelekaan truk pengangkut klorin di Amerika Serikat [8] dan Ledakan pada sebuah pabrik hidrogen klorida di Cina [9]. Hidrokarbon yang akan dianalisis dispersinya pada penelitian kali ini adalah metana (CH_4).

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Komposisi Gas Alam

Gas alam atau sering juga disebut gas bumi merupakan bahan bakar yang sangat sederhana. Sekitar 90% dari gas alam adalah metana (CH_4), yang terdiri dari satu atom karbon dan empat atom hidrogen. 10% lainnya terdiri dari etana (C_2H_6), propana (C_3H_8), butana (C_4H_{10}), serta komponen pengotor seperti H_2O , H_2S , dan CO_2 [10]. Tabel 1 menunjukkan komposisi gas alam yang ada di ORF.

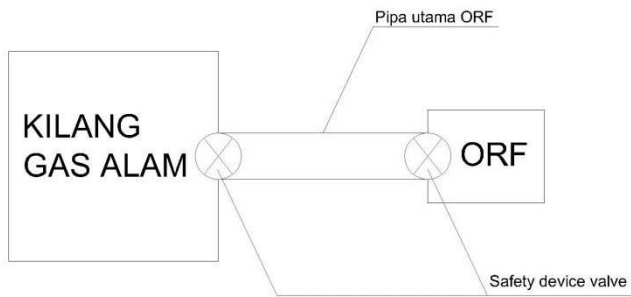
Tabel 1
Komposisi Gas Alam ORF

Nama Komponen	Persen (%)
Etana	1,9
Butana	1,3
Propana	2,8
Metana	90,1
Pentana	0,4
Nitrogen	1

Karbon Dioksida	2,3
Lain-lain	0,2

B. Emergency Hydrocarbon Release

Emergency hydrocarbon release adalah proses yang terjadi diluar rencana dan bertujuan selain untuk mengurangi tekanan berlebih pada distribusi dari migas juga untuk mencegah agar api tidak menyebar ketika terjadi kebakaran dengan cara menjauhkan gas alam dari sumber api [11]. Pada saat *emergency hydrocarbon release*, gas dalam pipa distribusi akan dikosongkan untuk mencapai tekanan tertentu yang dianggap aman untuk kemudian dilakukan proses perbaikan [12]. Skema dari *emergency hydrocarbon release* yang ada di ORF dijelaskan pada Gambar 1.



Gambar 1 Skema emergency hydrocarbon release pada ORF.

Pada saat terjadi *emergency hydrocarbon release*, *safety device valve* yang ada di ujung pipa utama ORF akan menutup, sehingga tidak ada suplai gas dari kilang. Gas yang ada di ORF kemudian akan dilepas melalui *vent tower*.

III. METODE PENELITIAN

A. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan referensi yang berhubungan dengan pokok penelitian berupa jurnal ilmiah dan penelitian terdahulu. Referensi yang digunakan adalah teori mengenai hubungan antara *emergency hydrocarbon release* dengan panjang, diameter dan tekanan pada pipa di ORF [13]

Data sekunder yang digunakan pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

- 1) Data meteorologi berupa temperatur udara rata-rata bulanan, kelembapan udara rata-rata bulanan, kecepatan angin rata-rata bulanan, serta arah angin dominan bulanan hasil pengukuran Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika setempat tahun 2015.
- 2) Data *flow rate* gas alam pada ORF, berupa metering penyerahan gas harian kepada pembeli pada bulan Januari 2016.
- 3) Data spesifikasi *vent tower* berupa tinggi, diameter, tekanan dan diameter dari pipa utama pada ORF.

B. Skenario Penelitian

Skenario pada penelitian kali ini adalah hasil kombinasi dari variabel – variabel penelitian yang digunakan. Skenario penelitian yang digunakan pada penelitian kali ini adalah

sebagai berikut.

- 1) Skenario *emergency hydrocarbon release* normal, dimana volume emisi hidrokarbon yang diemisikan dihitung dari durasi *emergency hydrocarbon release* dikalikan dengan *flow rate* pada ORF yang selanjutnya disebut dengan skenario 1. Persamaan 1 menunjukkan volume emisi hidrokarbon skenario 1.

$$V = \text{flow rate ORF} \times t \times \% \text{ metana} \quad (1)$$

Dimana: t : waktu *emergency hydrocarbon release* (detik)

- 2) Skenario *emergency hydrocarbon release (worst case)* dimana pada skenario ini terjadi kegagalan pada *safety device valve* sehingga seluruh gas yang ada di ORF dikeluarkan melalui *vent tower* yang selanjutnya disebut dengan skenario 2. Volume emisi hidrokarbon yang diemisikan dihitung berdasarkan volume pipa utama yang ada di ORF. Secara desain, skenario 2 tidak dimungkinkan, adanya skenario ini hanya untuk kepentingan studi. Persamaan 2 menunjukkan volume emisi hidrokarbon skenario 2.

$$V = L \times \frac{1}{4} \pi D^2 \quad (2)$$

Dimana: V : volume (m³)

L : panjang pipa (m)

D : diameter pipa (m)

π : 3.14

B. Durasi Emergency Hydrocarbon Release

Durasi *emergency hydrocarbon release* dihitung dengan menggunakan persamaan 3 sebagai berikut.

$$t = f^2 \frac{D^2}{d^2} L \Delta P \quad (3)$$

Dimana: t : waktu *emergency hydrocarbon release* (menit)

f : koefisien (0,38 min/Mpa.km)

D : diameter dari pipa utama (m)

d : diameter dari pipa vent (m)

L : panjang pipa utama (km)

ΔP: perbedaan tekanan sebelum dan sesudah *hydrocarbon release* (MPa)

C. Analisis Dispersi Emisi Hidrokarbon

Hasil dari analisis dispersi emisi menggunakan ALOHA 5.4.5 adalah jarak sebaran emisi yang berisiko rawan terbakar dan beracun dimana jarak tersebut didapatkan dari perbandingan konsentrasi emisi dipermukaan dengan baku mutu pembanding yang digunakan. Penentuan baku mutu yang dipakai sebagai pembanding dengan konsentrasi emisi di permukaan adalah *Lower Explosive Limit* (LEL) sebesar 50000 dan 30000 ppm untuk menentukan daerah yang rawan terbakar dan paparan maksimum metana sebesar 2500 ppm untuk daerah beracun. LEL dapat dikatakan sebagai titik nyala dari suatu zat, yang apabila konsentrasi dari LEL telah dicapai atau dilampaui, maka dengan adanya sumber pengapian (panas, api, dll) zat tersebut dapat terbakar [14]. Konsentrasi

dibawah LEL, dianggap terlalu sedikit bagi suatu zat untuk dapat terbakar dengan adanya sumber api, sebaliknya, konsentrasi diatas LEL dianggap terlalu banyak sehingga zat tidak dapat terbakar [15]. Namun pada beberapa kasus, ada terjadi ledakan ketika konsentrasi suatu zat baru mencapai 60% LEL [16]. Sehingga pada penelitian kali ini, baku mutu pembanding yang digunakan untuk daerah rawan terbakar adalah 100% LEL dan 60% LEL. Sedangkan paparan maksimum didapatkan dari referensi [17] bahwa paparan maksimum dari gas methane adalah 5% dari LEL atau setara dengan 2500 ppm. Konsentrasi ini adalah konsentrasi metana sesaat ketika terjadi *emergency hydrocarbon release*.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Durasi Emergency Hydrocarbon Release

Dengan menggunakan (3), durasi *emergency hydrocarbon release* dapat diperkirakan. Nilai dari variabel perhitungan setiap skenario dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2.
Nilai variabel perhitungan untuk setiap skenario penelitian.

Jenis Variabel	Skenario 1	Skenario 2
D (m)	0,254	0,254
d (m)	0,457	0,4572
L (km)	0,065	49,89
ΔP (MPa)	2,41	2,41

Dari hasil perhitungan, durasi *emergency hydrocarbon release* pada skenario 1 adalah sebesar 0,0184 menit sedangkan skenario 2 adalah 14,1 menit.

B. Perhitungan Flow Rate Gas ORF

Flow rate gas pada ORF adalah sebesar 78.291,2 *standard ft³* per hari (MSCFD) atau setara dengan 2.216.971 standar m³ per hari. Kondisi standar yang dijadikan acuan pada pengukuran *flow rate* gas adalah pada tekanan 1 psig dan 60°F sedangkan kondisi aktual di ORF adalah 350 psig dan 83,6°F, sehingga perlu dilakukan penyusuaian volume dengan menggunakan persamaan 2 sebagai berikut.

$$V_A = V_S X \frac{P_S}{P_A} X \frac{T_A}{T_S} \tag{2}$$

- Dimana: V_A : volume aktual (m³)
 V_S : volume standar (m³)
 P_A : tekanan aktual (psig)
 P_S : tekanan standar (psig)
 T_A : suhu aktual (°F)
 T_S : suhu standar (°F)

Sehingga didapatkan *flow rate* gas ORF dalam kondisi aktual adalah sebesar 8867,49 m³/hari atau 0,103 m³/detik.

C. Perhitungan Volume Emisi Hidrokarbon

Perhitungan volume emisi hidrokarbon diperlukan sebagai input data dari perangkat ALOHA 5.4.5

C.Skenario 1

Nilai dari variabel perhitungan volume emisi hidrokarbon skenario 1 dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3.
Nilai variabel perhitungan volume emisi hidrokarbon skenario 1.

Jenis Variabel	Skenario 1
flow rate ORF (m ³ /s)	0,103
t (detik)	1,1
% metana	90,1

Sehingga volume emisi hidrokarbon pada skenario 1 dengan menggunakan (1) adalah sebesar 0,102 m³.

C.Skenario 2

Nilai dari variabel perhitungan volume emisi hidrokarbon skenario 2 dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4.
Nilai variabel perhitungan volume emisi hidrokarbon skenario 2.

Jenis Variabel	Skenario 2
Panjang pipa (m)	49889,54
Diameter pipa (m)	0,6604
t (detik)	846

Sehingga volume emisi hidrokarbon pada skenario 2 dengan menggunakan (2) adalah sebesar 15403,275 m³, sedangkan *flow rate* dari *emergency hydrocarbon release* didapat dengan membagi dengan waktu *emergency hydrocarbon release*, maka didapat *flow rate* dari *emergency hydrocarbon release* adalah 18,21 m³/detik.

D. Input Data ALOHA 5.4.5

Perangkat ALOHA 5.4.5 membutuhkan beberapa input data untuk melakukan analisis dispersi emisi yang ingin diteliti. Input data tersebut dibagi menjadi tiga yaitu:

- 1) Input data meteorologi
- 2) Input data karakteristik emisi
- 3) Input data sumber emisi

1) Input Data Meteorologi

Input data meteorologi yang digunakan pada penelitian kali ini di perlihatkan pada Tabel 5

Tabel 5.
Input data meteorologi ALOHA 5.4.5 untuk setiap skenario penelitian.

Jenis Variabel	Skenario 1/ /Skenario 2
Kecapatan angin minimum,rata-rata,maksimum (knot)	3 / 4,4 / 5
Suhu udara (°C / °F)	28,7 / 83,6
Kelembapan udara (%)	73
Kelas kestabilan atmosfer	B / D

2) Input Data Karakteristik Emisi

Input data karakteristik emisi yang digunakan pada penelitian kali ini di perlihatkan pada Tabel 6

Tabel 6.

Input data karakteristik emisi ALOHA 5.4.5 untuk setiap skenario penelitian.

Jenis Variabel	Skenario 1	Skenario 2
LEL (ppm)	50000	
60% LEL (ppm)	30000	
Paparan Maksimum (ppm)	2500	
Jenis Zat Kimia	Metana	

3) *Input Data Sumber Emisi*

Input data sumber emisi yang digunakan pada penelitian kali ini di perlihatkan pada Tabel 7

Tabel 7.

Input data sumber emisi ALOHA 5.4.5 untuk setiap skenario penelitian.

Jenis Variabel	Skenario 1	Skenario 2
Flow rate (m ³ /s)	0,102	18,21
Tekanan (psia)	364,7	
Temperatur (°F)	83,6	
Ketinggian sumber (ft)	190	

E. *Analisis Dispersi Emisi Hidrokarbon*

Hasil dari analisis dispersi emisi hidrokarbon untuk skenario 1 adalah tidak terdeteksi jarak berbahaya untuk daerah rawan terbakar dan beracun yang berarti bahwa konsentrasi emisi hidrokarbon di permukaan selalu lebih kecil dengan baku mutu pembandingan yang digunakan. Hal ini disebabkan oleh volume emisi yang dikeluarkan kecil (0,102 m³) dan tinggi dari *cold vent* yang ada pada ORF X mencapai 190 feet (59,7 m) sehingga emisi metana terdispersi dengan baik. Hasil dari analisis dispersi emisi hidrokarbon untuk skenario 2 dapat dilihat pada Tabel 8 sampai dengan Tabel 10.

Tabel 8.

Hasil analisis dispersi emisi hidrokarbon (50000 ppm) untuk skenario 2.

	B	D
3	-	-
4,4	-	-
5	-	-

*Hasil analisis dispersi emisi berupa jarak dimana konsentrasi emisi berada diatas baku mutu pembandingan dalam satuan kilometer.

Tabel 9.

Hasil analisis dispersi emisi hidrokarbon (30000 ppm) untuk skenario 2.

	B	D
3	0,273	0,498
4,4	-	0,191
5	-	-

*Hasil analisis dispersi emisi berupa jarak dimana konsentrasi emisi berada diatas baku mutu pembandingan dalam satuan kilometer.

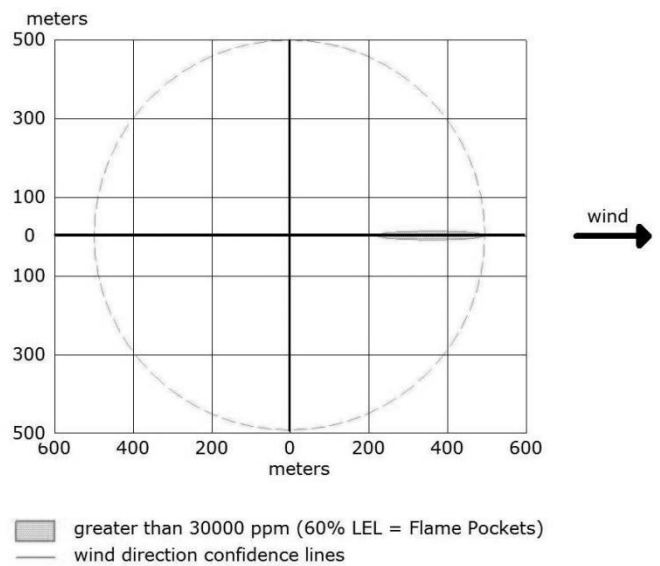
Tabel 10.

Hasil analisis dispersi emisi hidrokarbon (2500 ppm) untuk skenario 2.

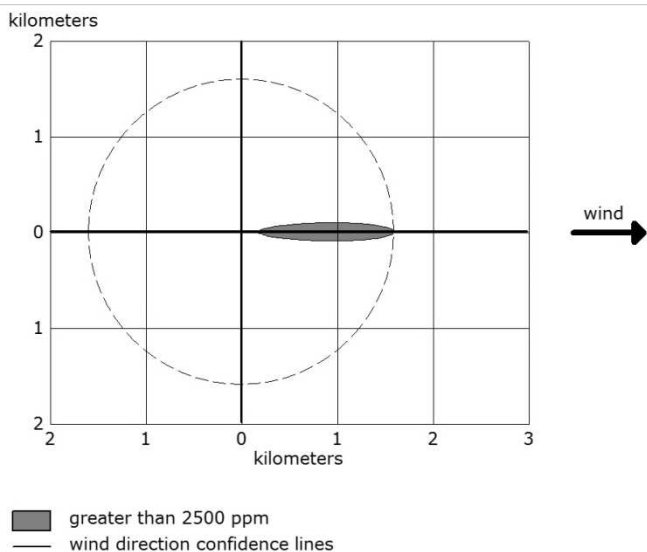
	B	D
3	0,724	1,6
4,4	0,602	1,3
5	0,554	1,1

*Hasil analisis dispersi emisi berupa jarak dimana konsentrasi emisi berada diatas baku mutu pembandingan dalam satuan kilometer.

Jarak terjauh dimana konsentrasi emisi hidrokarbon berada diatas baku mutu pembandingan adalah 0,498 km untuk daerah rawan terbakar dan 1,6 km untuk daerah beracun. Semua jarak terjauh terjadi pada kondisi kecepatan angin minimum (3 knot) dan kelas kestabilan atmosfer D (cenderung stabil). Hal ini disebabkan ketika kecepatan angin minimal terjadi, konsentrasi dari emisi pada koordinat x,y, dan z yang sama semakin besar. Sedangkan kelas kestabilan atmosfer D (cenderung stabil) memiliki tingkat reaktifitas yang rendah sehingga dispersi terjadi lebih jauh. Konsentrasi emisi hidrokarbon di permukaan tidak pernah dilampaui, sehingga tidak terdeteksi di ALOHA 5.4.5. Jarak terjauh hanya terjadi pada skenario 2 yang merupakan *worst case scenario*, dimana terjadi kegagalan *safety device valve* sehingga volume gas yang diemisikan menjadi jauh lebih besar. Pada skenario tersebut, seluruh gas yang ada pada pipa dibuang menuju ORF terdekat. Hasil simulasi ALOHA 5.4.5 menunjukkan bahwa volume gas yang dapat dikeluarkan melalui *ven tower* adalah maksimal 5% dari volume pipa supaya *emergency hydrocarbon release* tidak berbahaya. Gambar 2 menggambarkan visualisasi dispersi emisi untuk daerah rawan terbakar sedangkan Gambar 3 menggambarkan visualisasi dispersi emisi untuk daerah beracun.



Gambar 2 Visualisasi dispersi emisi hidrokarbon untuk daerah rawan terbakar.



Gambar 3 Visualisasi dispersi emisi hidrokarbon untuk daerah beracun

- [8] S. Hanna, dkk. "Comparison of six widely used dense gas dispersion models for recent chlorine accidents" in *Process Safety Progress* Vol. 27 no. 3 (2008) 248-259.
- [9] W. Shuang, and W. Zhi-rong "Simulation analysis on the accident of hydrogen chloride with the simulation software ALOHA" in *Journal of Fire Science and Technology* Vol. 08 (2010)
- [10] M. Nasution, "Penentuan kadar metana pada gas menggunakan kromatografi gas" in *Jurnal Akademik Universitas Indonesia* (2011)
- [11] J. Shapiro, "Fire code requirements for venting of flammable gasses" in *National Fire Protection*. (2011)
- [12] K. Ji Min, "Gas venting time and gas venting amount in natural gas pipeline" in *Journal of Petrochemical Industry Application* (2005)
- [13] Y. Xiong, "Research of emergency venting time in natural gas pipeline accidents with SPS" in *Journal of Safety Science and Technology* (2014)
- [14] D. P. Nolan, *Handbook of Fire and Explosion Protection Engineering Principles*. San Diego, CA: Elsevier (2014)
- [15] B. Martel, *Chemical Risk Analysis A Practical Handbook*. France: Penton Press (2004)
- [16] NOAA, *ALOHA Technical Documentation*. Seattle: Office of Response and Restoration (2013)
- [17] Airgas, *Methane Gas Material Safety Data Sheet*. Available: <http://www.pge.com/includes/docs/pdfs/shared/environment/pge/cleanair/methane1033.pdf>

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Kesimpulan dari penelitian kali ini adalah:

- 1) Volume emisi yang diemisikan pada skenario 1 adalah sebesar $0,102 \text{ m}^3$ dan $15403,275 \text{ m}^3$ untuk skenario 2. Volume emisi terbesar dihasilkan pada saat terjadi kegagalan *safety device valve*. Meskipun begitu, secara desain skenario ini tidak dimungkinkan dan adanya skenario ini hanya untuk keperluan studi.
- 2) Jarak terjauh yang dianggap berbahaya untuk daerah rawan terbakar adalah $0,498 \text{ km}$ dan untuk daerah beracun adalah $1,6 \text{ km}$. Jarak terjauh terjadi pada kondisi kecepatan angin minimum dan kelas kestabilan D (cenderung stabil).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Arie Dipareza Syafei atas bimbingan yang telah diberikan kepada saya selama proses penelitian dan penyusunan jurnal ini. Terimakasih juga penulis ucapkan untuk pihak-pihak yang telah membantu mengumpulkan data-data yang diperlukan untuk penelitian kali ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Chandra, *Fundamentals of Natural Gas: An International Perspective*. Oklahoma: Penwell Books (2006)
- [2] S. Mokhtab, *Handbook of Natural Gas Transmission and Processing*. Oxford: Elsevier (2015)
- [3] F. Khan, "Modelling and simulation of heavy gas dispersion on the basis of modification in plume path theory" in *Journal of Hazardous Material* (2000)
- [4] Sugiarti "Gas pencemar udara dan pengaruhnya bagi kesehatan manusia" dalam *Jurnal Chemica* Vol, 10 nomor 1 (2009) 50-58.
- [5] T. Zongchao, *Air Pollution and Greenhouse Gasses*. Singapore: Springer (2014)
- [6] EPA, *Air Dispersion Modelling Guidance*. Washington D.C: EPA Publication.
- [7] A. Leelossy, R. Meszaros and I. Lagzi "Short and long term dispersion patterns of radionuclides in the atmosphere around Fukushima Nuclear Power Plant", in *Journal of Environmental Radioactivity* vol 102 (2011) 1117-1121.