



Analisis Potensi Ledakan dan Kebakaran *Primary Reformer* sebagai Unit Proses Produksi Amonia di PT. X

Analysis of Potential of Fire and Explosion at Primary Reformer as Processing Unit in Ammonia Production in PT. X

Resti Ayu Lestari^{1*} dan Katharina Oginawati¹

¹Program Studi TeknikLingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132
E-mail: ¹lestari.restiayu@gmail.com

Abstrak

Peningkatan industri pupuk di dunia berimplikasi pada peningkatan jumlah industri amonia. Amonia memegang peranan penting pada proses produksi pupuk dalam hal penyediaan nitrogen. Proses pembuatan amonia melibatkan bahan baku berupa gas alam yang bersifat *flammable* dengan temperatur dan tekanan yang tinggi dalam setiap tahapan prosesnya. *Primary reformer* merupakan salah satu peralatan proses dalam produksi amonia dengan temperatur dan tekanan paling tinggi serta paling berisiko mengalami kegagalan yang dapat mengakibatkan terjadinya kebakaran/ledakan. *Primary reformer* berperan sebagai salah satu tahapan pemurnian gas alam dengan hasil berupa karbon monoksida. Identifikasi bahaya pada unit *primary reformer* dilakukan dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA). Hasil analisis FTA menghasilkan bahwa sumber bahaya dari ledakan *primary reformer* dapat ditinjau dari faktor teknis dan faktor non teknis. Faktor non teknis menyumbang 74% dari penyebab terjadinya ledakan/kebakaran pada *primary reformer*. Hasil analisis risiko ledakan/kebakaran pada *primary reformer* dilakukan dengan menggunakan *Dow's Fire & Explosion Index* dengan hasil radius area dampak adalah 51 meter. Nilai kerugian finansial mencapai US\$ 23.640.285 dengan kerugian hari kerja minimal adalah 138 hari. Perangkat lunak *Arial Location of Hazardous Atmospheres* menghasilkan radius ledakan dengan dampak terkecil yaitu dapat memecahkan kaca jendela/pintu (0,5 psi) adalah 73 m dari *primary reformer*. Radius ledakan dengan kekuatan ledakan 1 psi (meruntuhkan rumah/perkantoran) adalah 48 m dari *primary reformer*.

Kata kunci: amonia, DFEI, kebakaran, ledakan, *primary reformer*

Abstract

Increasing of fertilizer industry in the world forced the increasing of ammonia industry as well. Ammonia was used as nitrogen source in fertilizer industry. Ammonia process production involved natural gas (flammable) with high temperature and high pressure in the process. Primary reformer was the one of process unit plant in ammonia production that had the highest temperature and pressure among all ammonia unit processes. Beside that, primary reformer had the highest risk to fail and made fire/explosion. Primary reformer was the one of the unit process used to get carbon monoxide from natural gas. Hazard identification for primary reformer was conducted by using Fault Tree Analysis (FTA). The results of FTA analysis for primary reformer could be grouped into technical and non technical aspects. Non technical aspects had 74% possibility in explosion/fire at primary because of reformer. Analysis using Dow's Fire & Explosion Index resulted that the radius effect primary reformer explosion was 51 meter. The actual probable property damage was US\$ 23,640,285 and probable daily outage at least 138 days. Perangkat lunak *Arial Location of Hazardous Atmospheres* resulted that the lowest effect of primary reformer explosion, 0,5 psi, that could shattered the glass was 73 m in radius. Moreover, the radius effect for 1 psi explosion strength (made house/office inhabitable) was 48 m from primary reformer.

Keywords: ammonia, DFEI, explosion, fire, primary reformer

1. Pendahuluan

Peningkatan kebutuhan pupuk dunia berbasis nitrogen dari tahun ke tahun menuntut produksi amonia yang lebih besar lagi. Menurut data yang bersumber dari IFA (*International Fertilizer Industry Association*) pada Juni 2014, kebutuhan pupuk dunia tahun 2013 adalah 111,3 MT dan diprediksi akan meningkat pada tahun 2018 menjadi 119,5 MT. Fungsi utama ammonia adalah sebagai penyedia nitrogen dalam bentuk siap pakai. Industri ammonia merupakan salah satu jenis industri yang tergolong *major hazard*. *Major hazard* secara umum terdiri dari kebakaran, ledakan, dan kebocoran bahan kimia. Kebakaran merupakan bahaya yang paling mengkhawatirkan dan memiliki frekuensi kejadian tertinggi dibanding *major hazard* lainnya (Gultom dan Imran, 2009).

Sumber kebakaran dan ledakan industri ammonia adalah bahan baku berupa gas alam yang bersifat *flammable* dan unit prosesnya yang menggunakan temperatur dan tekanan tinggi. Menurut Ojha dkk. (2010), tahapan proses produksi ammonia yang paling sering mengalami kegagalan adalah unit proses *reformer*, khususnya *primary reformer*. *Primary reformer* merupakan salah satu tahapan proses produksi ammonia dengan pembakaran suhu tinggi untuk mengubah gas metan (CH_4) menjadi karbon monoksida. Kegagalan kerja *primary reformer* disebabkan oleh tersumbatnya *tube-tube* di dalam *primary reformer* sehingga dapat menimbulkan potensi terbakar dan meledak.

Beberapa penelitian sebelumnya menjelaskan beberapa penyebab dari kegagalan *primary reformer*. Ramzaan dkk. (2011) menjelaskan bahwa kegagalan *primary reformer* disebabkan karena kebocoran pada *tube* sehingga memicu timbulnya api. Disamping itu, Turi (2011) mengemukakan bahwa kegagalan *primary reformer* juga disebabkan oleh korosi pada *tube-tube reformer* yang tidak dilakukan *maintenance* selama dua tahun.

Berdasarkan penelitian sebelumnya ini, maka dilakukan analisis risiko kebakaran/ledakan pada *primary reformer* di

PT. X. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penyebab terjadinya ledakan, luasan area dampak, kehilangan hari kerja serta kerugian finansial akibat kebakaran/ledakan. Selain itu, juga dilakukan pembagian radius ledakan berdasarkan kekuatan ledakan yang bersumber dari *primary reformer*. Berdasarkan hasil analisis tersebut, maka dapat ditentukan area prioritas dengan sistem keselamatan yang lebih baik. Oleh karena itu, sebagai dasar upaya pengendalian risiko terhadap bahaya kebakaran dan ledakan pada *primary reformer* PT. X, diperlukan penilaian terhadap potensi bahaya kebakaran dan ledakan. Metode identifikasi bahaya ledakan/kebakaran pada *primary reformer* yang diterapkan adalah *Fault Tree Analysis* (FTA). Metode FTA digunakan untuk mengidentifikasi penyebab kejadian-kejadian besar seperti ledakan, kebakaran maupun pelepasan gas toksik (Woodside dkk., 1997).

Risiko yang timbul karena terjadinya ledakan/kebakaran pada *primary reformer* dihitung menggunakan *Dow's Fire & Explosion Index* (DFEI). DFEI memberikan informasi radius dampak ledakan/kebakaran, kerugian hari kerja dan kerugian finansial akibat terjadinya ledakan/kebakaran. Berdasarkan pedoman DFEI yang dikeluarkan oleh American Institute of Chemical Engineers (1994), langkah-langkah penilaian potensi bahaya kebakaran dan ledakan dimulai dari memilih unit proses, menentukan *material factor* (MF), menentukan *process unit hazard factor* (F3) dengan menghitung *general process hazard factor* (F1) dan *special process hazard factor* (F2), sampai menentukan *fire and explosion index* (F&EI). Penggunaan perangkat lunak ALOHA (*Arial Location of Hazardous Atmospheres*) memberikan informasi mengenai luasan area yang termasuk zona merah, jingga dan kuning berdasarkan tekanan ledakannya serta probabilitas fasilitas eksisting yang terkena dampak.

2. Metodologi

2.1. Lokasi Penelitian

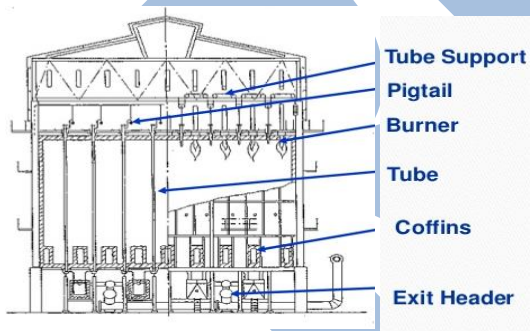
Industri yang dijadikan sebagai objek penelitian adalah PT. X yang bergerak pada

bidang industri pupuk kimia. PT. X memiliki kapasitas produksi amonia 660.000 MT/tahun. Bahan baku berupa gas alam diperoleh dari Pertamina, air diperoleh dari Sungai Parung kadali dan sungai Cikao dan udara bebas diperoleh dari sekitar pabrik sebagai sumber nitrogen. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



- A : Tangki Amonia
- B : Plant Amonia 1A
- C : Plant Urea 1A
- D : Stasiun Pengisian Amonia
- E : Utility Plant 1B
- F : Boiler
- G : Gudang
- H : Lokasi Penelitian
- I : Plant Urea 1B

Gambar 1. Lokasi Primary Reformer



Gambar 2. Primary Reformer

Penelitian difokuskan pada unit proses *primary reformer* yang berperan sebagai tahapan pemurnian gas alam untuk mendapatkan karbon monoksida (CO). *Primary reformer* PT. X terdiri dari 192 tubes dengan temperatur dan tekanan berturut-turut adalah 799°C dan 39,17 kg/cm². *Primary reformer* PT. X dapat dilihat pada Gambar 2.

2.2. Identifikasi Bahaya Menggunakan Fault Tree Analysis

Analisis pada penelitian ini dilakukan menggunakan data spesifikasi unit, kondisi proses serta rencana tanggap darurat eksisting yang sudah ada di PT. X. Data-data ini digunakan untuk mengidentifikasi sumber ledakan/kebakaran pada *primary reformer* dengan menggunakan *Fault Tree Analysis*. FTA dilakukan dengan metode wawancara dengan *engineer* terkait serta didukung oleh studi literatur. Hasil wawancara dan literatur ini digunakan untuk menemukan akar penyebab terjadinya ledakan/kebakaran pada *primary reformer* di PT. X. Analisis FTA akan berbentuk diagram pohon yang analisisnya akan dihentikan jika akar penyebab yang bersifat manajerial sudah ditemukan (Woodside dkk., 1997).

2.3. Analisis Risiko Ledakan/Kebakaran Menggunakan Dow's Fire & Explosion Index

Analisis risiko ledakan/kebakaran dilakukan dengan menggunakan *Dow's Fire & Explosion Index* (DFEI). Tahapan pengerjaan metode ini dapat dilihat pada buku panduan *Dow's Chemical Exposure Index Guide* yang dikeluarkan oleh NFPA (*National Fire Protection Association*) tahun 1994. DFEI bertujuan untuk mengetahui luasan area terkena dampak ledakan/kebakaran, jumlah hari kerja yang hilang sampai kepada kerugian finansial yang dialami oleh perusahaan.

Untuk mencapai tujuan penggunaan DFEI tersebut, maka digunakan beberapa persamaan. Radius area terkena dampak dirumuskan pada persamaan 1. Nilai kerugian finansial karena rusaknya fasilitas pabrik dapat dilihat pada persamaan 2. Selain itu, kerugian finansial akibat terhentinya proses produksi dapat dihitung menggunakan persamaan 5.

$$R = 0,256 \times F\&EI \quad (1)$$

$$VoE = 0,82 \times biaya\ asli \times faktor\ eskalasi \quad (2)$$

$$Base\ MPPD = DF \times VoE \quad (3)$$

$$Actual\ MPPD = LCCF \times Base\ MPPD \quad (4)$$

$$BI = MPDO \times \left(\frac{VPM}{30}\right) \times 0,70 \quad (5)$$

Keterangan

- R : Radius dampak
- F&EI : Konstanta hasil proses DFEI
- VoE : Value of Exposure

Biaya asli	: Nilai aset <i>primary reformer</i>
Faktor eskalasi	: ketetapan dari CEPCI (<i>Chemical Engineering Plant Cost Index</i>)
MPPD	: <i>Maximum Probable Property Damage</i>
LCCF	: <i>Loss Control Credit Factor</i>
BI	: <i>Business interruption</i>
MPDO	: Hari kerja yang hilang
VPM	: Nilai produksi/bulan

Hari kerja yang hilang diketahui dengan menggunakan persamaan/grafik yang ditetapkan DFEI. Ada beberapa jenis persamaan/grafik yang dapat digunakan tergantung pada kemampuan perusahaan untuk membangun ulang unit instalasi yang mengalami kerusakan.

2.4. Analisis Risiko Ledakan Perangkat Lunak ALOHA

ALOHA merupakan program untuk memodelkan dispersi dari area dampak karena lepasnya bahan kimia yang mencakup area toksik, area *flammable*, dan area ledakan. Ledakan menghasilkan suara yang dapat mengakibatkan kerusakan serius pada lingkungan dan populasi sekitar. Semakin dekat sumber ledakan, maka dampak kerusakan juga akan semakin besar (Inanloo dan Tansel, 2015). ALOHA mengestimasi potensi ledakan *primary reformer* serta dampak ledakan yang ditimbulkan.

Nilai kuatnya ledakan merupakan fungsi dari jumlah bahan kimia yang terlepas, karakteristik bahan kimia, dan adanya sumber api. Semakin tinggi jumlah bahan kimia yang dilepaskan, semakin luas area yang berpotensi sebagai *flammable* dan semakin besar kemungkinan uap bahan kimia yang terlepas mendekati sumber api sehingga mengakibatkan ledakan. Jenis bahan kimia juga sangat penting untuk dipertimbangkan. Beberapa jenis bahan kimia tidak bersifat *flammable* dan beberapa jenis lainnya bersifat sangat volatil dan *flammable* (Inanloo dan Tansel, 2015).

ALOHA merupakan *perangkat lunak* yang mudah dipelajari dan bias diatur sesuai skenario yang akan dibuat (Anonymous, 2007). Selain itu, *perangkat lunak* ini juga tidak berbayar sehingga dapat dengan mudah diunduh di internet. Pada penelitian

ini, *perangkat lunak* ALOHA yang digunakan adalah versi 5.4.5 yang dikeluarkan oleh NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Identifikasi Bahaya *Primary Reformer*

Identifikasi bahaya menggunakan FTA dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui sumber yang bisa menjadi penyebab terjadinya ledakan/kebakaran di *primary reformer*. Berdasarkan analisis FTA untuk unit *primary reformer*, penyebab terjadinya ledakan/kebakaran adalah terjadinya bencana alam, timbul percikan api, rusaknya *tube* di dalam *primary reformer* dan terjadinya *pressure drop* yang tinggi ($> 5\text{kg/cm}^2$). Penyebab terjadinya ledakan/kebakaran ini dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan sumber penyebabnya. Identifikasi bahaya menggunakan FTA pada *primary reformer* dapat dilihat pada Gambar 3.

Salah satu penyebab rusaknya *tube primary reformer* adalah *overheating* (Ray dkk., 2016). *Overheating* ini disebabkan oleh terganggunya fungsi katalis yang ada di dalam *tube primary reformer*. Katalis di dalam *tube* harus memiliki bentuk yang utuh dan tidak pecah sehingga dapat tersebar merata di dalam *tube*. Penggunaan katalis yang sudah rusak dapat menyebabkan terjadinya *hotspot* (titik hitam) pada *tube* sehingga *tube* harus dipotong/diganti. Selain itu, *hotspot* juga dipengaruhi oleh usia *tube* dan katalis yang sudah tua (Ray dkk., 2016).

Korosi dan *overheating* yang terjadi pada *tube primary reformer* juga dapat menyebabkan *tube* menjadi rusak/retak (Kumar dkk., 2016). *Plant* amonia memiliki usia pakai termasuk *primary reformer*. Hal ini dikarenakan *tube* yang selalu terpapar temperatur tinggi, kondisi lingkungan serta nilai ketegangan dari material *tube* (Kumar dkk., 2011). Oleh karena itu, diperlukan *maintenance* berkala pada unit *plant* amonia. *Long maintenance* di PT. X dilakukan sekali dalam sepuluh tahun dengan mendatangkan external auditor. Sedangkan

short maintenance dilakukan dengan melihat lubang intip yang ada pada *primary reformer*. Lubang intip ini digunakan untuk melihat kondisi *tube* dengan periode 1 x 2 jam.

Pengelasan *tube primary reformer* juga memberikan pengaruh terhadap rusaknya *tube*. Pengelasan dilakukan pada sambungan *elbow* pipa yang terdapat pada masing-masing ujung pipa (Attarian dkk., 2016). Bagian pinggir pengelasan memiliki ketebalan yang lebih tipis dibandingkan dengan bagian yang tidak dilas sehingga sangat berpotensi mengalami keretakan. Selain itu, kondisi mesin yang sering *shut down* tiba-tiba juga dapat mempengaruhi kondisi bagian *tube* yang dilas (Attarian dkk., 2016). *Shut down* mesin sering mempengaruhi temperatur pada *tube*. *Shut down* mesin sering menyebabkan temperatur *tube* tidak stabil sehingga mempercepat kerusakan *tube*.

Pada Gambar 3 dapat diketahui bahwa sebagian besar potensi penyebab kebakaran/ledakan pada *primary reformer* adalah faktor non teknis seperti kurangnya pengawasan, tidak taat prosedur yang telah ditetapkan perusahaan, ataupun kurangnya pelatihan praktis terhadap karyawan yang bertanggung jawab pada *primary reformer*. Berdasarkan analisis, kesalahan non teknis yang berakibat pada ledakan/kebakaran *primary reformer* adalah sebesar 74%.

3.2. Analisis Risiko Kebakaran/Ledakan

Analisis DFEI dilakukan dengan menggunakan data spesifikasi teknis *primary reformer* yang dianalisis, nilai ekonomi masing-masing unit studi serta *tools* pengaman yang ada di sekitar unit proses jika terjadi kondisi darurat. Penggunaan metode DFEI dilakukan dengan skenario bahwa *primary reformer* meledak/terbakar secara parsial. Hasil analisis DFEI pada unit studi dapat dilihat pada Tabel 1.

Proses produksi yang terjadi di dalam unit *primary reformer* melibatkan gas alam yang kandungan terbesarnya adalah gas CH₄. Gas CH₄ merupakan bahan yang berbahaya

dengan nilai *flammability* (NF) = 4 dan nilai efek pada kesehatan (NH) = 2, sehingga pada hasil perhitungannya diperoleh MF = 21. Selain jenis material yang berpengaruh, kondisi proses turut berperan dalam penilaian bahaya pada unit proses (Jensen dan Jorgenson, 2007).

Tabel 1. Hasil analisis *primary reformer* menggunakan DFEI

Parameter	Nilai	Satuan
Nilai DFEI	199,77	-
Radius dampak	51	m
Nilai base MPPD	11.060.451	US\$
Nilai kerugian aktual	23.640.285	US\$
Hari kerja yang hilang	138	hari
<i>Bisnis Interruption</i>	20.936.279	US\$

Berdasarkan Tabel 1, diketahui bahwa nilai DFEI untuk *primary reformer* adalah 199,77. Nilai ini mengindikasikan bahwa dampak yang ditimbulkan akibat ledakan/kebakaran *primary reformer* tergolong *severe* parah. Tingkat keparahan dampak akibat terjadinya ledakan dapat dilihat dari nilai F&EI yang didapatkan. Tingkat bahaya berdasarkan nilai F&EI ini dapat dilihat pada Tabel 2.

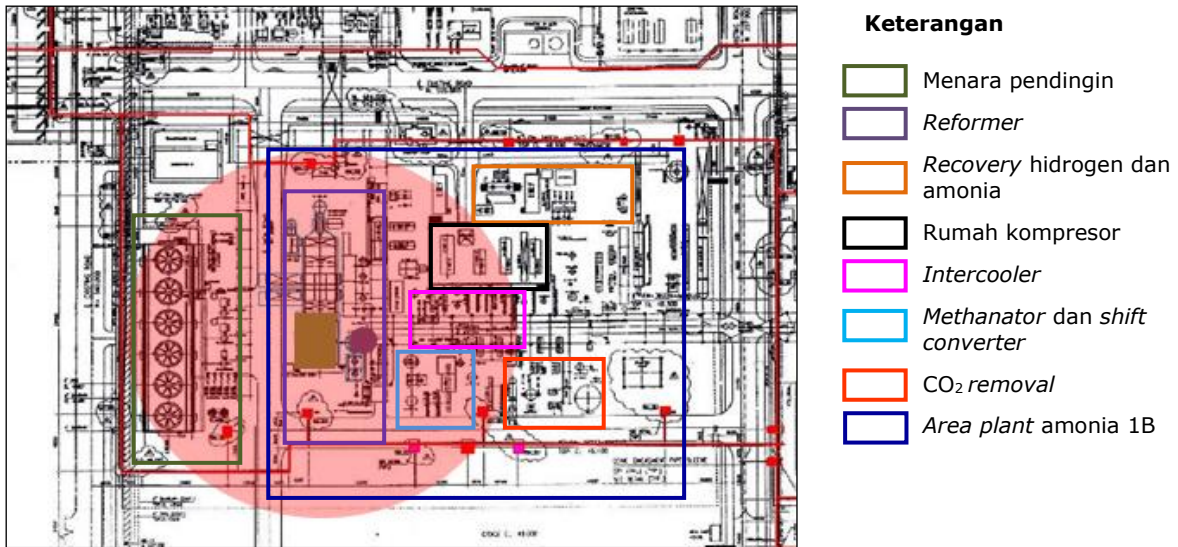
Tabel 2. Analisis bahaya berdasarkan nilai F&EI

F&EI	Degree of Hazard
1-60	Light
61-96	Moderate
97-127	Intermediete
128-158	Heavy
>158	Severe

Sumber: AICHE (1994)

Pada unit *primary reformer*, nilai base MPPD mencapai US\$ 11.060.451. Base MPPD merupakan nilai kerugian perusahaan berdasarkan nilai *damage factor* yang diperoleh. Nilai *damage factor* didapatkan berdasarkan jenis bahan kimia yang dianalisis menggunakan persamaan yang ada pada panduan *Dow's Fire & Explosion Index* dari NFPA (Jensen dan Jorgensen, 2007).

Actual MPPD merupakan nilai kerugian yang diderita perusahaan setelah mempertimbangkan faktor-faktor pengaman yang ada pada unit yang dianalisis. Pada unit *primary reformer* nilai ini mencapai US\$23.640.285.



Gambar 4.Radius Ledakan/Kebakaran pada *Primary Reformer*

Area yang terkena dampak akibat ledakan/kebakaran *primary reformer* dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4 diketahui bahwa hampir semua area produksi amonia 1B (garis biru) berpotensi terkena dampak ledakan *primary reformer*. Unit yang terkena dampak (berwarna merah muda) adalah *cooling tower*, *methanator*, *CO₂ removal*, *ammonia converter*, *pump house* serta unit pendukung di sekitar lokasi amonia 1B.

Tabel 1 juga menginformasikan bahwa kerugian hari kerja minimal adalah 138 hari. Nilai ini belum termasuk kepada pengobatan trauma pada karyawan, kemampuan bangkit perusahaan serta faktor non teknis lainnya (Roshan dan Gredaragh, 2013). Nilai hari kerja yang hilang dianalisis berdasarkan asumsi bahwa setelah terjadinya ledakan, perusahaan dapat langsung bangkit dan membangun kembali unit proses produksi amonia.

Kerugian yang diperoleh pada analisis ini merupakan hasil perhitungan teoritis menggunakan metode DFEI (Javari dkk., 2012). Nilai kerugian ini dapat menjadi lebih besar lagi mengingat masih ada parameter luar yang tidak tercakup dalam metode DFEI dan mempengaruhi hasil analisis. Oleh karena itu, Tabel 1 hanya dijadikan sebagai patokan dasar perusahaan dalam penentuan besaran kerugian akibat kebakaran.

3.3. Analisis risiko ledakan berdasarkan kekuatan ledakan

Analisis ini dilakukan menggunakan perangkat lunak ALOHA dengan keperluan

data berupa spesifikasi teknis *primary reformer*, kondisi proses di dalam unit, serta skenario terjadinya ledakan. Keperluan data input untuk perangkat lunak ALOHA dapat dilihat pada Tabel 3. Skenario yang dipilih adalah terdapat kebocoran yang berdiameter 2 inci di sambungan pipa/*flange* pada *primary reformer*. Hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 4.

Tingkat keparahan ledakan dipengaruhi oleh kondisi meteorologis, jenis zat kimia, volume uap bahan kimia, sifat dari bahan kimia, laju penguapan zat kimia dan geometri wilayah (ruang terbatas atau tidak) (Lilley, 2011). Tabel 4 menjelaskan bahwa nilai terkecil kekuatan ledakan adalah 0,5 psi dengan dampak dapat memecahkan kaca jendela/pintu. Nilai ledakan 1 psi dapat merusak bangunan khususnya yang berjenis rumah/perkantoran sehingga tidak dapat digunakan lagi.

Tabel 3. Parameter untuk analisis ALOHA

Parameter	Nilai
Material kimia	Metan (CH ₄)
Kapasitas	9,503 kg
Stabilitas udara	B (Tidak stabil)
Kecepatan angin	2,07 m/s
Arah angin	Barat Daya
Temperatur	28°C

Tabel 4. Radius dampak ledakan berdasarkan kekuatan ledakan

Unit	Radius Ledakan (m)		
	1 psi	0,7 psi	0,5 psi
<i>Primary reformer</i>	48	59	73

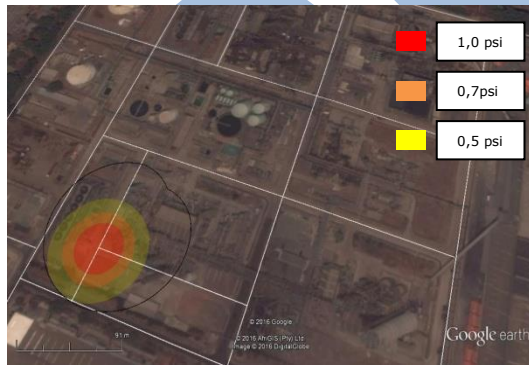
Kekuatan ledakan mempunyai dampak yang berbeda-beda terhadap bangunan di sekitarnya. Dampak nilai kekuatan ledakan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Level kerusakan berdasarkan nilai ledakan

Nilai Kekuatan Ledakan (psi)	Dampak
0,04	Suara keras; seperti suara bom sonic
0,15	Kerusakan kaca
0,40	Kerusakan minor pada struktur bangunan
0,50	Kaca jendela/pintu pecah, struktur kaca/pintu rusak
0,70	Kerusakan minor pada struktur perumahan/kantor
1,00	Perumahan/kantor tidak dapat ditempati
1,00 - 8,00	Cidera serius karena kaca yang beterbangan

Sumber: Anonymous (2007)

Berdasarkan analisis kekuatan ledakan menggunakan perangkat lunak ALOHA, maka digunakan tiga nilai ledakan yaitu 0,5 psi, 0,7 psi, dan 1,0 psi. Area dampak akibat ledakan pada *primary reformer* dapat dilihat pada Gambar 5.



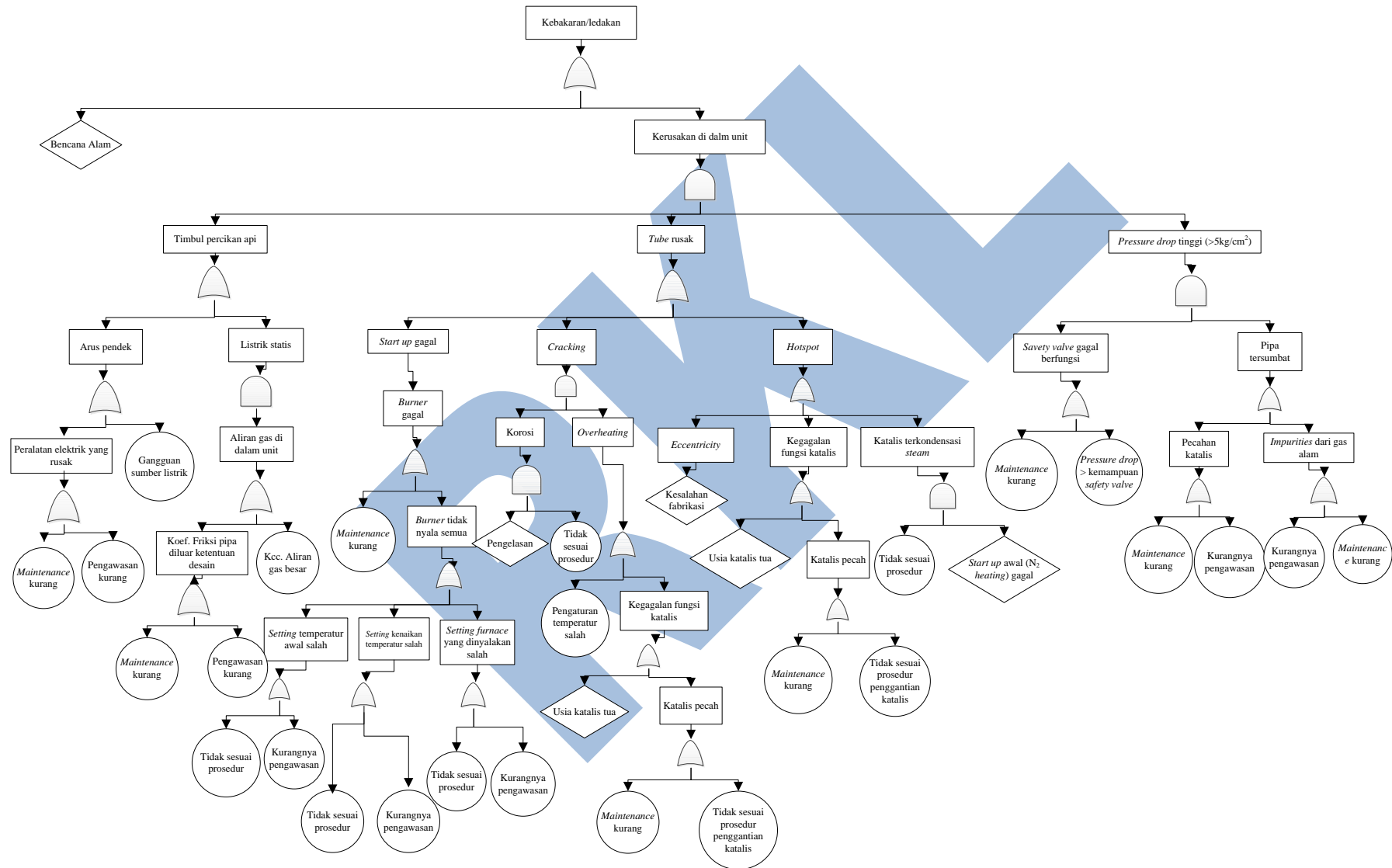
Gambar 5. Pembagian radius ledakan *primary reformer*

Dampak ledakan yang paling kecil (berwarna kuning) mencapai area menara pendingin (*cooling tower*) yang merupakan area yang sudah berada di luar area pabrik amonia 1B. Fasilitas di dalam pabrik amonia 1B yang terkena dampak ledakan mencakup *methanator*, rumah pompa, *CO₂ removal* serta fasilitas-fasilitas pendukung yang berada di dalam area tersebut.

Area dampak ledakan *primary reformer* pada Gambar 5 berbentuk semi circular karena di sekitar area tidak terdapat bangunan tinggi yang dapat memperkecil/menghambat kekuatan ledakan yang pada akhirnya juga akan mempengaruhi luas area dampak ledakan.

Stabilitas udara yang berada pada kategori B (tidak stabil) juga mempengaruhi luasan area dampak ledakan. Kondisi udara yang tidak stabil dapat mendilusikan zat kimia (CH_4) sehingga udara dapat mengurangi jumlah zat kimia yang ada di udara (Vairo dkk., 2014).

Gas metan yang terdilusi di udara menyebabkan zat kimia akan terbawa searah angin. Oleh karena itu, area dampak ledakan dengan kondisi udara yang tidak stabil akan lebih kecil dibanding kondisi udara yang stabil (E atau F). Tingkat stabilitas udara merupakan kemampuan partikel di udara untuk bergerak ke atas atau ke bawah setelah terlepas ke atmosfer (Inanloo dan Tansel, 2015). Semakin stabil kondisi atmosfer, maka partikel akan semakin tidak bergerak di atmosfer. Hal ini mengakibatkan potensi terjadinya ledakan/kebakaran semakin besar.



Gambar 3. FTA primary reformer

4. Kesimpulan

Terjadinya ledakan/kebakaran pada *primary reformer* dapat disebabkan oleh aspek teknis dan non teknis seperti yang diuraikan pada FTA. Berdasarkan hasil FTA, diketahui bahwa potensi kesalahan non teknis untuk menyebabkan terjadinya ledakan/kebakaran di *primary reformer* adalah 74%. Kesalahan non teknis dapat berupa kurangnya pengawasan, tidak taat prosedur yang telah ditetapkan perusahaan, ataupun kurangnya pelatihan praktis terhadap karyawan yang bertanggung jawab pada *primary reformer*.

Nilai minimal kerugian aktual yang dialami perusahaan karena terjadinya ledakan/kebakaran *primary reformer* mencapai US\$ 23.640.285 dengan kehilangan hari kerja minimal adalah 138 hari.

Selain itu, radius ledakan dengan dampak terkecil yaitu dapat memecahkan kaca jendela/pintu (0,5 psi) adalah 73 m dari *primary reformer*. Radius ledakan dengan kekuatan ledakan 1 psi (meruntuhkan rumah/perkantoran) adalah 48 m dari *primary reformer*.

Daftar Pustaka

American Institute of Chemical Engineers. (1994) *Dow's Fire & Explosion Index Hazard Classification Guide*, AIChE Technical Manual, New York.

Anonymous (2007) *ALOHA User's Manual*. U.S Environmental Protection Agency, Washington DC.

Attarian, M., Taheri, A. K., Jalilvand, S., Habib, A. (2016) Microstructural and failure analysis of welded primary reformer furnace tube made of HP-Nb micro alloyed heat resistant steel, *Engineering Failure Analysis*, 68, 32 - 51.

Gultom, Imran, Z. (2009) Analisis konsekuensi penyebaran amonia pada kebocoran storage tank ammonia 2101-f di pt. pupuk kujang cikampek pada tahun 2009 dengan menggunakan Aloha (area locations of hazardous atmosphere), *Tugas Akhir*,

Fakultas Ilmu Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia, Jakarta.

Inanloo dan Tansel (2015) Explosion impacts during transport of hazardous cargo: gis-based characterization of over-pressure impacts and delineation of flammable zones for ammonia, *Journal of Environmental Management*, 156, 1 - 9.

Javari, Mohammad, J., Zarei, M., Movahhedi, M. (2012) The credit of fire and explosion index for risk assessment of iso-max unit in an oil refinery the credit of fire and explosion index for risk, *International Journal Of Occupational Hygiene*, IOHA 4, 10 - 16.

Jensen, N., Jorgensen, S. B. (2007) Taking credit for loss control measures in the plant with the likely loss fire and explosion index (LL-F&EI), *Process Safety and Environmental Protection*, 85, 51 - 58.

Lilley, G. D. (2011) Explosions and release, dispersion and ignition of combustibles: a review, *9th Annual International Energy Conversion Engineering Conference*, San Diego, California, 1 - 18.

Ojha, Madhusoo, Dhiman (2010) Problem, failure and safety analysis of ammonia plant: a review, *International Review of Chemical Engineering*, 2, 631 - 646.

Ramzaan, N., Naveed, S., Rizwan, M., Witt, W. (2011) Root cause analysis of primary reformer catastrophic failure: a case study, *Process Safety Progress*, 30, 62 - 65.

Ray, A K., Roy, N., Raj, A., Roy, B.N. (2016) Structural integrity of service exposed primary reformer tube in a petrochemical industry, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 137, 46 - 57.

Roshan, S. A., Garedagh, M. J. (2013) Economic consequence analysis of fire and explosion in petrochemical feed

- and product pipeline network, *Helthscope*, 2, 90 – 94.
- Kumar, S., Ashok, K. R. G. K., Gunjan, M., Goswami, B., Bose, S. C. (2011) Microstructural studies and remnant life assessment of eleven years service exposed reformer tube, *Materials Science and Engineering*, A 529, 102 – 112.
- Turi, I. (2011) Primary reformer tubes failure due to corrosion attack, *Process Safety Progress*, 30, 157 – 163.
- Vairo, T., Curro, F., Scarcelli, S., Fabiano, B. (2014) Atmospheric emissions from a fossil fuel power station: dispersion modelling and experimental comparison, *AIDIC Italia* 36, 295 – 300.
- Woodside, Gayle, Kocurek, Dianna, (1997) *Environmental, Safety and Health Engineering*, John Wiley & Sons, Inc, New York.

JKL