

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Major Hazard Installations

Major hazard installations menurut ILO (1991), didefinisikan sebagai instalasi industri yang menyimpan, menggunakan atau menghasilkan bahan kimia berbahaya, baik karena jumlah ataupun sifat dari bahan kimia tersebut yang memiliki potensi menimbulkan *major accident*. Kategori dari *major accident* yang dapat ditimbulkan oleh *major hazard installations* antara lain:

- a) Pelepasan bahan kimia beracun seperti *acrylonitrile, ammonia, chlorine, sulphur dioxide, hydrogen sulphide, hydrogen cyanide, carbon disulphide, hydrogen fluoride, hydrogen chloride, sulphur trioxide*, dalam jumlah besar (ton) yang berakibat membahayakan jiwa atau kesehatan walaupun jarak antara sumber dan daerah terpengaruh sangat jauh.
- b) Pelepasan bahan kimia mematikan (*extremely toxic*) seperti *methyl isocyanate* atau *phosgene* dalam jumlah kilogram yang dapat membahayakan jiwa atau kesehatan walaupun jarak antara sumber dan daerah terpengaruh sangat jauh.
- c) Pelepasan cairan atau gas mudah terbakar jumlah besar (ton) yang dapat menghasilkan radiasi panas yang tinggi atau membentuk awan uap yang dapat meledak (*explosive vapour cloud*).
- d) Ledakan yang diakibatkan material reaktif yang tidak stabil seperti *ammonium nitrate, nitroglycerine, trinitrotoluene*.

Berdasarkan jenis dan kuantitas bahan kimia yang digunakan, berikut adalah instalasi industri yang memiliki *major hazard* ILO (1991):

- a) Industri kimia dan petrokimia
- b) Kilang minyak
- c) Tempat penyimpanan LPG (*liquid petroleum gas*)
- d) Tempat penyimpanan gas dan cairan yang mudah terbakar
- e) Gudang bahan kimia
- f) Industri pupuk
- g) Tempat pengolahan air yang menggunakan klorin

Penilaian bagi *major hazard* pada *major hazard installation* diperlukan dalam rangka perencanaan mitigasi bencana bagi instalasi tersebut dan otoritas setempat yang bertanggung jawab terhadap lingkungan sekitar yang dapat terpengaruh. Menurut ILO (1991) penilaian ini harus dapat mengidentifikasi kejadian tidak terkendali yang dapat menyebabkan terjadinya *major accident*, konsekuensi yang ditimbulkan dari ledakan, kebakaran atau pelepasan bahan kimia berbahaya harus diperhitungkan menggunakan teknik dan yang dapat dipertanggung jawabkan. Dalam analisis konsekuensi tersebut, ILO menetapkan harus dapat diperhitungkan mengenai :

- a) Pada bahaya ledakan diperhitungkan perkiraan gelombang ledakan, efek pelontaran benda akibat ledakan
- b) Pada bahaya kebakaran diperhitungkan mengenai radiasi panas yang dihasilkan
- c) Pada pelepasan bahan kimia, diperhitungkan mengenai dosis dan konsentrasi dari bahan berbahaya tersebut.

Selain dari konsekuensi, penilaian *major hazard* menyertakan perhitungan mengenai kekerapan terjadinya *major accident*. Penerapan upaya pengamanan dan efek domino yang ditimbulkan oleh *major accident* tersebut juga diperhitungkan.

2.1.4 Klasifikasi zat kimia berbahaya

Zat-zat kimia berbahaya dapat didefinisikan sebagai bahan kimia berbentuk gas, cairan atau pun padat yang sifat-sifat kimianya bias menyebabkan cedera ataupun mengakibatkan kematian jika berhubungan dengan sel-sel tubuh. Grossel & Crow (1995)

Tingkat toksisitas dari suatu bahan kimia hanya bisa dipastikan oleh uji coba laboratorium menggunakan binatang uji coba atau *apparatus*. Namun demikian hasil dari uji coba tersebut tidak bersifat absolute Grossel & Crow (1995).

Hal ini disebabkan oleh banyaknya variabel berbeda dari populasi target. Seperti, kondisi fisik perorangan saat itu, umur, jenis makanan dan lain-lain. Hal ini menghasilkan data yang kemungkinan berbeda dari setiap uji coba bagi setiap populasi target.

Keadaan demikian menyulitkan dibuatnya klasifikasi jenis bahan kimia yang termasuk bahan kimia sangat mematikan (*highly toxic material*). Walaupun secara garis

besar bahan kimia sangat mematikan adalah bahan kimia yang menimbulkan efek berbahaya dalam dosis yang kecil Grossel & Crow (1995).

Keadaan demikian menimbulkan beberapa perbedaan klasifikasi bagi beberapa bahan kimia pada beberapa klasifikasi yang dikeluarkan oleh pihak berwenang atau literature-literatur toksikologi.

Hodge dan *sterner* membagi tingkat toksisitas menjadi enam skala terpisah yang didasarkan kepada dosis mematikan dari bahan kimia tersebut. Skala 6 dan 5 merupakan bahan kimia dengan tingkat toksisitas tertinggi.

Toxicity rating: class	Probable oral lethal dose (human)	
	Dose	For a 70-kg person (150 lb) ^a
6: Super toxic	Less than 5 mg/kg	A taste (fewer than 7 drops)
5: Extremely toxic	5–50 mg/kg	Between 7 drops and 1 tsp
4: Very toxic	50–500 mg/kg	Between 1 tsp and 1 oz
3: Moderately toxic	0.5–5 g/kg	Between 1 oz and 1 pt
2: Slightly toxic	5–15 g/kg	Between 1 pt and 1 qt
1: Practically nontoxic	More than 15 g/kg	More than 1 qt

Tabel 2.1 Toksisitas Relatif *Hodge* dan *Strener*
Grossel & Crow (1995)

Sedangkan NFPA (*National Fire Protection Association*) menggunakan skala 0 hingga 4 bagi bahaya bahan kimia yang memiliki bahaya terhadap kesehatan. Penilaian dititik beratkan sebagai peruntukan bagi personil tanggap darurat. Hal ini tanpa memperhitungkan bahaya dari pembakaran zat kimia.

Rating	Definition
4	Materials too dangerous to health to expose fire fighters. A few whiffs of the vapor could cause death or the vapor or liquid could be fatal on penetrating the fire fighter's normal full protective clothing. The normal full protective clothing and breathing apparatus available to the average fire department will not provide adequate protection against inhalation or skin contact with these materials.
3	Materials extremely hazardous to health, but areas may be entered with extreme care. Full protective clothing, including self-contained breathing apparatus, coat, pants, gloves, boots, and bands around legs, arms, and waist should be provided. No skin surface should be exposed.
2	Materials hazardous to health, but areas may be entered freely with full-faced mask, self-contained breathing apparatus that provides eye protection.
1	Materials only slightly hazardous to health. It may be desirable to wear self-contained breathing apparatus.
0	Materials to which an exposure under fire conditions would offer no hazard beyond that of ordinary combustible material.

Tabel 2.2 skala NFPA

Grossel & Crow (1995)

Sedangkan EPA (*Environmental Protection Agency*) menggunakan penilaian konsentrasi paparan berdasarkan *level of concern (LOC)* atau sama dengan sepersepuluh dari bahaya langsung bagi kesehatan atau *Immediately Dangerous To Life And Health (IDLH)* dari *National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)*

Level of Concern (LOC; ppm)	EPA LRATE Value
> 500	0
50-500	1
5-50	2
0.5-5	3
0-0.5	4

Tabel 2.3 *Immediately Dangerous To Life And Health (NIOSH)*

Grossel & Crow (1995)

IDLH dianggap sebagai konsentrasi maksimum *vapor* dalam *part per million* (ppm) yang dapat mengakibatkan kegagalan pernafasan jika melebihi paparan selama 30 menit. Skala 4 dianggap sebagai bahan sangat beracun (*highly toxic*).

2.3 Emisi bahan kimia beracun

Emisi bahan kimia beracun dapat berupa pelepasan seketika (*instantaneous*) atau terus-menerus (*continous*) Flynn & Theodore (hlm 233, 2002).

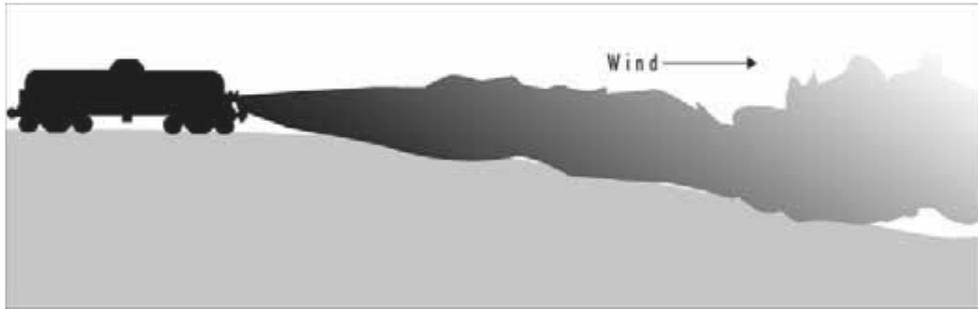
Emisi *continous* biasanya berupa emisi bahan kimia dengan tingkat toksisitas yang rendah yang terkontrol dan rutin. Emisi jenis ini biasanya melibatkan bahan kimia yang dalam jumlah tertentu dilepaskan ke udara akan terpecah atau teraduk hingga tidak berbahaya.

Emisi yang bersifat seketika dengan jumlah signifikan yang berbahaya dalam rentang waktu yang pendek biasanya disebabkan oleh proses tidak terkontrol yang tidak diinginkan atau kecelakaan Flynn & Theodore (2002).

Pola penyebaran emisi gas bahan kimia berbahaya atau disebut dispersi, dapat berupa pola menyebar dan melebar (*dispersi*) atau bergerak maju (*advecting*) dipengaruhi oleh karakteristik bahan tersebut, keadaan atmosfer, dan kondisi bentangan geografis dimana dispersi terjadi EPA & NOAA (2007).

Karakteristik kimia yang mempengaruhi pola penyebaran adalah kemampuan bahan kimia tersebut untuk terapung diudara atau *buoyancy*. Bahan kimia dengan *buoyancy* yang rendah atau disebut gas berat (*heavy gas*) akan membentuk karakteristik pola penyebaran yang menumpuk pada area geografis yang membentuk cerukan dan bergerak menyusuri permukaan tanah sebelum gas tersebut pada akhirnya tercampur dengan udara dan meningkatkan daya apungnya (*neutraly buoyant*) sehingga udara mengapung diudara.

Suatu bahan kimia diklasifikasikan bahan kimia berat oleh berat molekul atau kepadatan bahan kimia tersebut yang memiliki nilai berat molekul lebih berat dari berat molekul udara (29 kilogram/kilomole) dan kepadatan yang melebihi kepadatan udara (1.1 kilogram/meter kubik).

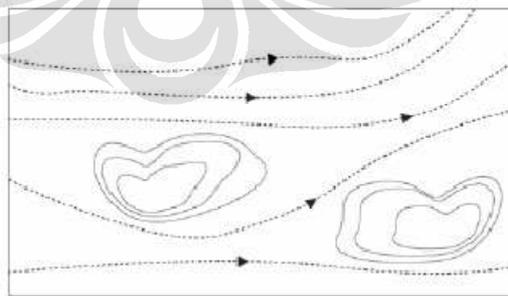


Gambar 2. dispersi *heavy gas*

EPA & NOAA (2007).

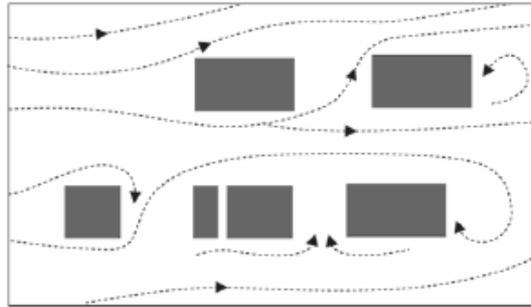
Keadaan atmosfer mempengaruhi perubahan karakteristik bahan kimia yang mengalami dispersi. Kecepatan dan arah angin mempengaruhi pola dan kecepatan penyebaran dan arah penyebaran, angin yang cenderung berkecepatan rendah menyebabkan laju penyebaran melambat atau bahkan bahan kimia terakumulasi di satu tempat. Kelembaban dan suhu mempengaruhi karakteristik bahan kimia yang mempengaruhi *buoyancy* bahan kimia tersebut.

Karakteristik geografis seperti kepadatan area mempengaruhi pola pergerakan angin yang membawa bahan kimia tersebut. Jika pada kepadatan area tersebut terdapat bangunan besar maka angin akan berbelok jika mengenai bangunan tersebut selain itu dimungkinkan terciptanya gelombang pusaran udara kecil atau *eddies*. Hal ini dapat menyebabkan konsentrasi bahan kimia pada area *eddies* tersebut.



Gambar 3. Perubahan arah angin

EPA & NOAA (2007).



Gambar 4. *Eddies*

EPA & NOAA (2007).

2.4 Amonia

Sejarah pemberian nama amonia untuk Nitrogen-*Hydrogen* (NH) diawali dari oasis Ammon (dewa siwa) di Mesir dimana ditemukan sumber garam amonia oleh penduduk setempat Max (1999)

Pada tekanan atmosfer, *Anhydrous ammonia* berupa gas berbau tajam yang tidak berwarna yang mudah dijadikan dalam bentuk cair jika diberikan tekanan atau penurunan suhu. Cairan amonia murni memiliki berat yang lebih ringan dari pada air begitu juga gas amonia murni memiliki berat yang lebih ringan dari pada udara.

Cairan *Anhydrous ammonia* memiliki koefisien ekspansi yang besar, hal ini dapat menimbulkan masalah pada proses penyimpanan amonia karena tekanan hidrostatik yang dikeluarkan oleh cairan tersebut. *Flammability range* dari amonia di udara pada tekanan atmosferik adalah 16-25% amonia dari volume. Peningkatan temperatur dan tekanan pada amonia memperlebar range flammability.

Amonia murni bersifat sangat stabil pada kondisi normal, namun demikian amonia bersifat sangat reaktif, membentuk garam amonia dengan asam organik atau anorganik. Amonia bereaksi dengan chlorine untuk membentuk chloramines. Reaksi amonia dapat menghasilkan bahan yang mudah meledak seperti metal hydrazines, yang dihasilkan dari reaksi metal alkali dan cairan amonia. Selain itu acetylides yang dihasilkan dari reaksi campuran amonia, tembaga, mercury atau garam perak merupakan bahan mudah meledak jika dalam keadaan kering.

Tergantung dari konsentrasinya, paparan amonia memiliki efek iritasi ringan hingga iritasi berat pada membran yang sensitif di hidung, mata, tenggorokan dan

paru-paru. Karena Amonia yang bersifat larut dalam cairan, amonia bersifat iritan pada permukaan kulit manusia. Konsentrasi 500 ppm amonia sudah termasuk kedalam kategori konsentrasi *IDLH*.

Amonia tidak bersifat akumulatif pada tubuh, walau demikian paparan amonia dalam jumlah besar dapat mengakibatkan kematian yang diakibatkan oleh spasme saluran nafas, edema pada *larynx* dan *bronchus*, *pneumonitis* bahan kimia dan pembengkakan paru.

Kontak amonia pada mata dengan konsentrasi tinggi dapat mengakibatkan ulcerasi dari kornea dan *konjungtiva* dan penghancuran dari jaringan *ocular*. Kontak amonia cair dengan kulit dapat mengakibatkan pembekuan pada jaringan karena pembentukan amonia cair yang menggunakan suhu dingin. luka bakar yang disebabkan oleh cairan amonia dapat terjadi karena sifat amonia yang menguap ke udara dengan cepat serta suhu amonia cair yang dingin mengakibatkan amonia menyerap panas dengan sangat cepat sehingga mengakibatkan luka bakar pada kulit.

Anhydrous Amonia dihasilkan dari reaksi *hydrogen* dengan nitrogen dengan keberadaan katalis pada tekanan dan suhu yang ditingkatkan.

Table 2.4 Batas Pajanan *Anhydrous* Amonia

Limit	Concentration (ppm)	Description
IDLH	500	This concentration poses an immediate danger to life and health (i.e., causes of irreversible toxic effects for a 30-minute exposure).
PEL	50	This concentration was determined by OSHA to be the time-weighted 8-hour exposure limit that should result in no adverse effects for the average worker, healthy, male worker.
LC ₁₀	30,000	This concentration is the lowest published lethal concentration for a human over a 5-minute exposure.
TC ₁₀	20	This concentration is the lowest published lethal concentration causing toxic effects (irritation).

Flynn & Theodore (2002).

Table 2.5 Efek Paparan Amonia Terhadap Manusia

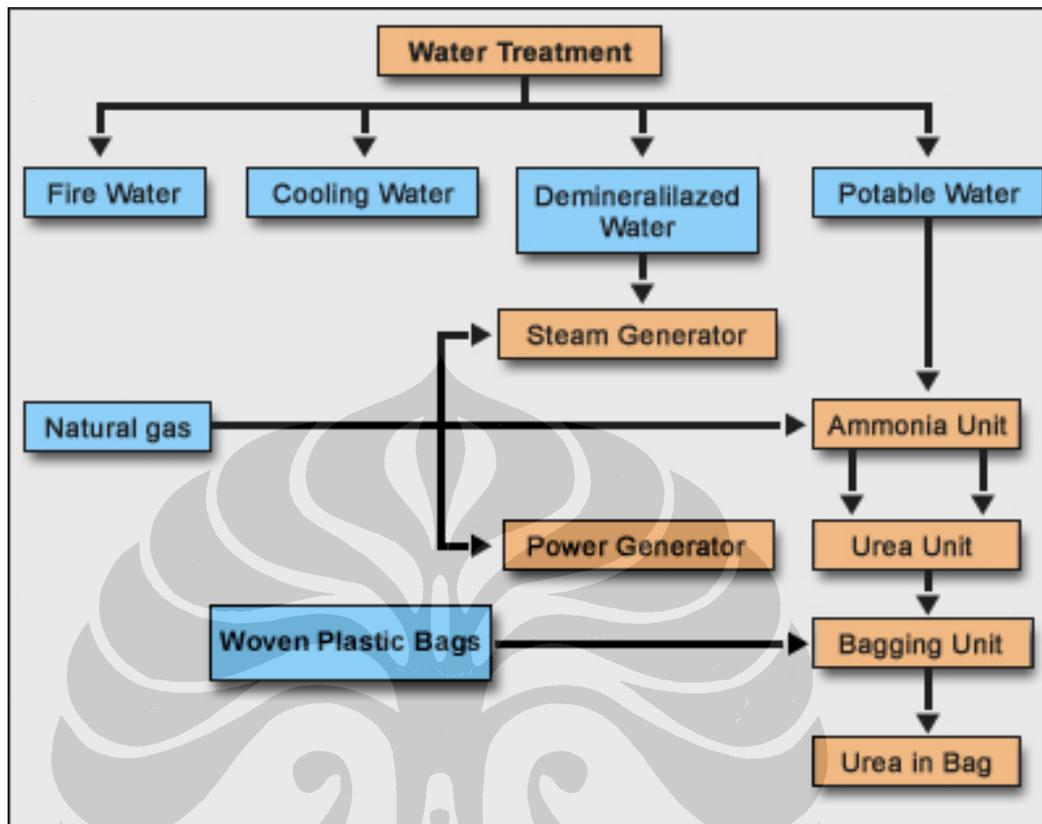
Concentration (ppm)	Effect
5	Least perceptible odor
20-50	Readily detectable odor
40	A few individuals may suffer slight eye irritation
100	Noticeable irritation of eyes and nasal passages after a few minutes exposure
150-200	General discomfort and eye tearing; no lasting effect from short exposure
400	Severe irritation of the throat, nasal passages, and upper respiratory tract
700	Severe eye irritation; no permanent effect if the exposure is limited to less than 30 minutes
1700	Serious coughing, bronchial spasms, burning, and blistering of the skin; less than 30 minutes
5000-10,000	Serious edema, strangulation, asphyxia; rapidly fatal
10,000	Immediately fatal

Flynn & Theodore (2002)

2.4.1 Proses Produksi Amonia PT. Pupuk Kujang

2.4.1.1 Teknologi Proses Produksi

Pabrik Amonia Kujang 1A dirancang oleh *Kellogg Overseas Corp.* dari Amerika Serikat sedangkan proses pembuatan *Ureanya* menggunakan teknologi *Mitsui Toatsu Total Recycle C-Improved* dari *Toyo Engineering Corporation* Jepang. Pabrik Amonia Kujang 1B dibangun oleh *Toyo Engineering Corporation* menggunakan teknologi *Reduced Energy Ammonia Process* yang lisensinya dimiliki oleh *Kellogg Brown dan Root, Inc.* (KBR). Pembuatan *Urea* di pabrik Kujang 1B menggunakan proses ACES 21 dari *Toyo Engineering Corporation* Jepang.



Gambar 5. Alur proses pembuatan Amonia & Urea

Sumber : Utility 1A PT. Pupuk Kujang

2.4.1.2 Penyediaan air baku

Bahan baku utama dalam proses produksi *Urea* adalah gas Alam, Air dan Udara. Ketiga bahan baku tersebut diolah untuk menghasilkan *Nitrogen* (N_2), *Hidrogen* (H_2) dan *Carbondioksida* (CO_2). Pabrik pupuk ini terdiri dari unit *Ammonia* dan Unit *Urea*. Amonia diproduksi dalam pabrik *Ammonia* dan merupakan hasil reaksi gas *Nitrogen* dan Hidorgen. Tahap selanjutnya Amonia dan *Carbondioksida* diproses lebih lanjut di unit *Urea* untuk memperoleh *Urea* butiran dengan diameter 1-2 mm.

2.4.1.3 Penyediaan Air

Untuk memenuhi kebutuhan air pabrik Kujang 1A dan Kujang 1B telah dibangun station pompa Air, yaitu didaerah Parungkadali Bendungan Curug dan di Cikao sebelah hilir Jatiluhur dengan kapasitas 1600 m³/jam

2.4.1.4 Penyediaan Gas Alam

Gas alam untuk proses produksi *Urea* di Kujang 1A dan Kujang 1B diperoleh dari Pertamina dan BP ONWJ dengan jumlah kebutuhan kedua pabrik adalah sebesar 108 MMSCF/hari. Keduanya mengambil sumber gas alam dari lepas pantai laut Jawa.

2.4.1.5 Unit-unit Produksi

2.4.1.5.1 Unit Pembangkit Uap

Unit Pembangkit uap di pabrik Kujang 1A terdiri dari satu unit *waste Heat Boiler* dengan kapasitas 97 ton/jam dan dua unit *Package Boiler* dengan kapasitas 100 ton/jam/unit.

Unit pembangkit uap di pabrik Kujang 1B terdiri dari satu unit *Waste Heat Boiler* dengan kapasitas 30 ton/jam dan satu unit *Package Boiler* dengan kapasitas 100 ton/jam.

2.4.1.5.2 Unit pembangkit Listrik

Baik Kujang 1A maupun Kujang 1B masing-masing memiliki unit pembangkit listrik tersendiri. Unit pembangkit listrik di Kujang 1A terdiri dari satu unit gas Turbin generator kapasitas 12 MW. Tiga unit *Diesel Standby* generator kapasitas 750 KW/unit dan satu unit *Diesel emergency Generator* kapasitas 375 KW.

Unit pembangkit listrik Kujang 1B terdiri dari satu unit *Gas Turbin Generator* kapasitas 11 MW dan satu unit *Diesel Emergency Generator* dengan kapasitas 1300 KW.

2.4.1.5.3 Unit Penjernihan Air

Unit Pengolahan Air di Kujang 1A mengolah air baku menjadi air bersih untuk berbagai keperluan antara lain Air Pendingin kapasitas 573 m³/jam; Air minum kapasitas 75 m³/jam. Air Bebas Mineral kapasitas 180 ton/jam ; Air Bersih untuk Perusahaan Patungan 125 m³/jam

Sedangkan unit pengolahan air di Kujang 1B memiliki kapasitas terpasang sebesar 650 m³/jam. Air yang sudah diolah kemudian dimanfaatkan atau diproses lebih lanjut antara lain untuk Air pendingin kapasitas 360 m³/jam; Air bebas mineral kapasitas 180 ton/jam. Selain keperluan di atas, unit pengolah air juga memasok kebutuhan air *hydrant* di Area Pupuk Kujang.

2.4.1.5.4 Unit Amonia

Unit Amonia Kujang 1A dan Kujang 1B menghasilkan Amonia dengan kapasitas terpasang masing-masing sebesar 1000 MT/hari. Selain itu dihasilkan juga produk samping berupa gas *Carbondioksida* yang digunakan untuk bahan baku pembuatan *Urea*.

2.4.1.5.5 Unit *Urea*

Amonia dan *Carbondioksida* yang diperoleh dari unit Amonia kemudian diproses di unit *Urea*. Pabrik *Urea* Kujang 1A dan 1B memiliki kapasitas terpasang yang sama yaitu masing-masing 1.725 MT/hari atau sebesar 570.000 MT/tahun sehingga kapasitas total produksi *Urea* Pupuk Kujang sebesar 1.140.00 MT/tahun.

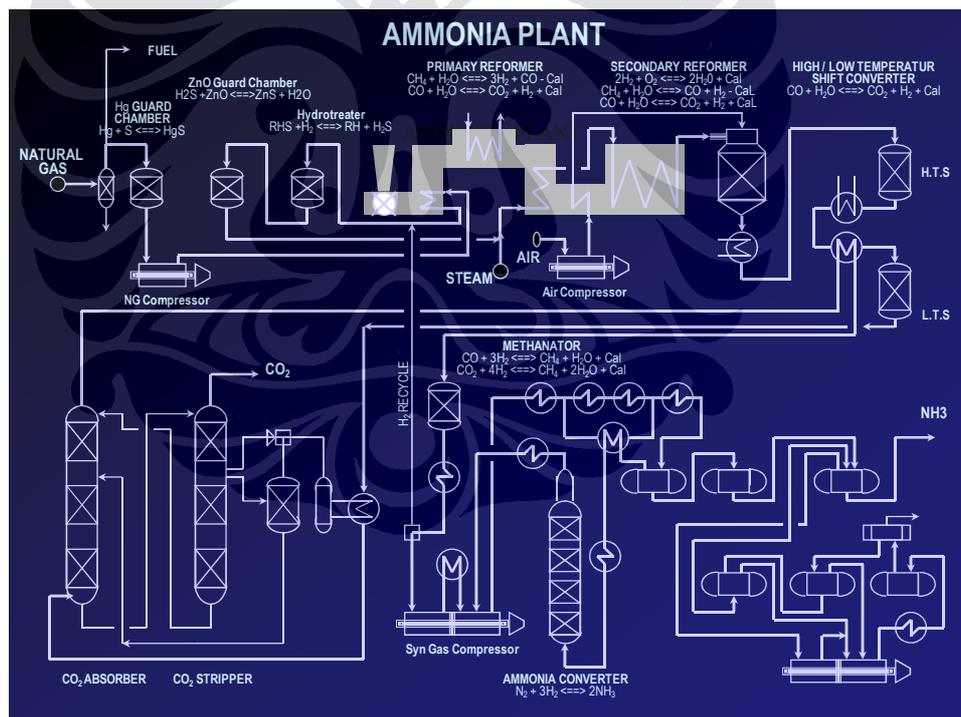
2.4.1.6 Proses Pabrik *Ammonia*

Pabrik *Ammonia* adalah pabrik yang menghasilkan produk *Ammonia* (NH₃) dan *Carbondioksida* (CO₂) dengan bahan baku gas alam (CH₄) udara (N₂) dan Air (H₂O). proses yang dipakai dalam pembuatan *Ammonia* adalah proses *Kellog Overseas Corporation* (KOC) yang secara garis besar prosesnya bisa dijelaskan secara singkat sebagai berikut:

Gas alam dari Pertamina dimasukkan ke unit pemurnian bahan baku untuk membuang dan memisahkan gas atau bahan yang bersifat racun seperti Sulfur dan *Mercury*.

Hasil dari proses ini diteruskan ke *primary Reformery* yang direaksikan dengan uap air dan udara sehingga terbentuk gas sintesa kasar. Gas sintesa kasar diolah lebih lanjut melalui *high temperature shift Converter*, dilanjutkan ke *low temperature shift Converter* dan selanjutnya dimasukkan ke penyerap carbondioksida. Gas CO₂ dikirim ke pabrik *Urea*, sedangkan gas sintesa dikirim ke unit Metanasi yang berfungsi untuk merubah sisa oksida menjadi Metana.

Gas sintesa bersih dari *Metanator* diteruskan ke *Ammonia Converter* (pembuat *Ammonia*) dan menghasilkan *Ammonia*. Hasil keluaran ini dikirim ke pabrik *Urea* dan kelebihanannya disimpan di tanki penyimpanan *Ammonia (Ammonia storage)* untuk dijual.



Gambar 6. Alur proses produksi Amonia

Sumber : Ammonia 1A PT. Pupuk Kujang

Proses yang berlangsung di pabrik *Ammonia* adalah mereaksikan gas alam, udara dan uap air menjadi *Ammonia* (NH_3) selain itu juga dihasilkan *Carbondioksida* (CO_2) dan *Hidrogen* (H_2). Pabrik ini memiliki lima unit proses, yaitu:

2.4.1.6.1 Unit *desulfurisasi*

Gas alam yang digunakan oleh PT. Pupuk Kujang, diambil dari beberapa sumber. Seperti, *Offshore Arco*, L.Parigi-pantai Cilamaya dan Mundu-Indramayu. Dari semua sumber tersebut komposisi yang terkandung dalam gas alam berbeda-beda, sedangkan senyawa yang dibutuhkan untuk proses pembuatan *Ammonia* adalah *Metana* (CH_4) sehingga senyawa *impurities* yang terkandung dalam gas alam tersebut harus dihilangkan (dimurnikan). Proses pemurnian gas alam ini dilakukan di unit *desulfurisasi*.

Gas alam yang masuk ke pabrik, mula-mula dimasukkan ke *knock out drum* 116-F pada tekanan 14,7 kg/cm² agar partikel halus dan tetes cairan terpisah, lalu hasil tersebut dibagi dua, sebagian digunakan sebagai bahan bakar di *auxiliary boiler* dan *start up preheater*. Sedangkan sebagian lagi lokasinya berada diluar pabrik (*butterfence*) unsur-unsur minor yang terkandung dalam suatu bahan lagi dimurnikan lebih lanjut di *Zinc Oxyde Guard Chamber* 108-D untuk gas proses.

Penghilangan *Mercury* diperlukan karena dapat meracuni katalis pada proses berikutnya. Penghilangan *mercury* dilakukan di *Mercury Guard Chamber* dengan cara mengimpregnasikan gas pada karbon aktif. Dari sini tekanan gas yang keluar belum cukup tinggi untuk mengalir ke proses berikutnya sehingga gas ditekan dalam *Feet Gas Compressor* 102-J yang menghasilkan tekanan gas sebesar 43Kg/Cm² dengan suhu 146⁰C.

Belerang (S) merupakan racun bagi katalis di *Primary Reformer* dan *Secondary Reformer*. Penghilangan tahap 1 terjadi di *Cobalt-Moly Hydrotreater* 101-D dimana belerang direaksikan dengan *Hydrogen* dan menghasilkan H_2S . tahap dua terjadi di 108-D yang berisi katalis ZnO reaksi yang terjadi antara H_2S dengan ZnO menghasilkan ZnS dan H_2O (Air). Suhu gas yang keluar sekitar 391⁰C dengan tekanan 37,7Kg/Cm² selanjutnya gas diumpun ke *mixfeed primary reformer*.

2.4.1.6.2 Unit Reforming

2.4.1.6.2.1 Primary Reformer

Reaksi yang terjadi *primary Reformer* 101-D adalah reaksi pembentukan H_2 dari senyawa *Hydrocarbon* dan *Steam*. Gas alam yang keluar dari 108-D dicampur dengan *Steam* dan dipanaskan di *mixfeed preheater coil*, hasilnya adalah gas dengan suhu $483^\circ C$ dan tekanan $36,8 Kg/Cm^2$. Di *primary Reformer* terdapat Sembilan baris *tube* katalis dengan 42 *tube* setiap barisnya. Katalis yang dipakai *Nikel Oksida*. Gas yang bereaksi melalui *tube* akan keluar melalui bagian bawah *tube* dan disatukan dalam *Riser* yang kemudian dikirim ke *secondary Reformer* 103-D melalui *transfer line*. Suhu gas yang keluar sekitar $810-815^\circ C$ dan tekanan $32,5 Kg/Cm^2$ dan diharapkan gas CH_4 yang lolos kurang dari 1%.

2.4.1.6.2.2 Secondary reformer

Secondary Reformer terbagi atas dua, yaitu bagian atas adalah *mixing zone* atau *combustion zone* dan bagian bawah disebut *reaction zone* yang berupa *packbed katalis nickel Oxyde*. Gas proses dan campuran udara steam masuk ke *secondary Reformer* secara terpisah dari bagian atas dan dicampur dalam *mixing zone* sehingga terjadi pembakaran yang menghasilkan panas yang digunakan untuk reaksi *reforming* di *bed katalis*. Suhu gas di *bed* pertama sekitar $1100^\circ-1200^\circ C$ dengan tekanan $32,5 Kg/Cm^2$ sampai di *bed* ke tiga suhunya sekitar $872^\circ C$ dengan tekanan $31,5 Kg/Cm^2$. Kadar CH_4 dalam gas yang keluar dari *secondary Reformer* hanya 0,3%.

2.4.1.6.2.3 Unit pemurnian gas proses

Unit ini berfungsi untuk mengubah CO menjadi CO_2 . Proses perubahan terjadi di *shift Converter* 104-D. *Shift Converter* dibagi dua, bagian atas disebut *High Temperature Shift Converter* (HTS) dan bagian bawah disebut *Low Temperature Shift Converter* (LTS). HTS berfungsi untuk mempercepat reaksi dengan bantuan katalis $FeCr$ yang berbentuk tablet. Gas yang keluar dari sini suhunya $433^\circ C$ dan tekanan $30,3 Kg/Cm^2$.

LTS berfungsi untuk memperbesar konversi katalis Cu. Gas yang keluar suhunya 232°C dan tekanannya $28,8 \text{ Kg/Cm}^2$. Gas ini selanjutnya dikirim ke unit penyerapan CO_2 .

2.4.1.6.2.4 Methanator

Gas yang keluar dari *absorber* masih mengandung CO dan CO_2 yang merupakan racun di *Ammonia Converter* 105-D oleh karena itu harus dirubah menjadi CH_4 dalam *Altenator* 106-D yang berisi katalis Nikel Oksida. Kondisi operasi di *Metanator* suhunya mencapai 335°C dengan tekanan 26 kg/cm^2 . Reaksi yang terjadi adalah CO dan CO_2 bereaksi dengan H_2 menjadi CH_4 dan H_2O gas yang keluar dari *Metanator* memiliki tekanan 26 kg/cm^2 dengan suhu 310°C dan kadar CO dan CO_2 maksimal 0,3 ppm

2.4.1.6.2.6 Unit Refrigerasi

Gas dari *Metanator* tekanannya kurang tinggi untuk reaksi di *Ammonia Converter* karena kondisi operasi di *Ammonia Converter* membutuhkan tekanan 150 Kg/Cm^2 dan suhu $430\text{-}500^{\circ}\text{C}$ sehingga gas harus dinaikkan tekanannya didalam sintesis gas dan *recycle compressor* 1034 yang terdiri dari *low pressure case compressor* dan *high pressure case compressor*

Ammonia convertor terdiri dari empat buah *bed* katalis *promoted iron* dan dindingnya dibuat rangkap dengan ruang antara (*annulus*). Gas yang masuk ke *Ammonia Converter* terbagi dua melalui atas dan bawah

Gas umpan yang melalui bawah mengalir dari bagian bawah *annulus* menuju ke puncak *Converter* dan masuk kedalam *bed* katalis memlalui *shell exchanger* yang selanjutnya gas ini mengalir dalam tiap-tiap *bed* gas umpan yang mengalir dalam *annulus* mengambil panas dari reaksi sehingga suhunya naik dan pada saat sampai di *shell exchanger* suhunya sudah cukup untuk reaksi yaitu 335°C gas hasil reaksi keluar dari *bed* empat menuju puncak *Converter* dan suhunya 481°C . Untuk mengurangi gas *inert* berupa CH_4 dan Argon (Ar) sebagian gas di *purge* sebelum di *recycle* melalui *high pressure case compressor*. Adanya produk *Ammonia* dalam aliran *purge* gas akan memengaruhi kesetimbangan reaksi sehingga konversi *Ammonia* menjadi berkurang,

karena itu *Ammonia* harus dipindahkan dahulu dari aliran *recycle* gas yang menuju *Converter* pemisahan dilakukan dengan cara mengembunkan *Ammonia* melalui *chiller* selanjutnya gas dan *Ammonia* cair dimasukkan ke *Ammonia separator* 106-F. *Ammonia* yang keluar dari 106-F masih mengandung gas H_2 , N_2 , Ar dan CH_4 sehingga harus dipisahkan dengan cara di *flushing* dalam *flush* drum 111-F dengan tekanan $3,3 \text{ kg/cm}^2$ dan di 112-F dengan tekanan $0,03 \text{ kg/cm}^2$ uap yang terbentuk dikompresikan di *Ammonia refrigerant compressor* 105-J selanjutnya gas didinginkan dan dipisahkan di *refrigerant receiver* 109-F. *Ammonia* yang terbentuk ditampung di *storage tank* yang dikirim ke pabrik *Urea*.

2.4.2 Penyimpanan Amonia

Produksi dan pemrosesan amonia melibatkan proses penyimpanan yang dibutuhkan untuk mengatur fluktuasi produksi dengan permintaan konsumen. Penyimpanan terutama amonia dibutuhkan jika tempat produksi dengan tempat pengguna tidak berada dalam satu area yang sama sehingga membutuhkan proses penyimpanan selama proses pengiriman dilakukan. Proses pengiriman yang umum dilakukan dapat dilakukan melalui pipa, pengapalan, tangki untuk pengiriman dengan truk ataupun kereta.

Dalam proses penggunaannya, amonia dapat berbentuk cairan ataupun gas. Walaupun umumnya di tangani dalam bentuk cairan, penanganan amonia dapat juga dilakukan dalam bentuk gas jika area produksi dan pengguna cukup dekat. Proses demikian dilakukan atas pertimbangan nilai ekonomis karena pembentukan amonia cair membutuhkan proses pendinginan yang menambah biaya operasional. Amonia sendiri pada dasarnya berbentuk gas, dengan kata lain amonia dalam bentuk cairan adalah *liquefied gas* (gas yang dicairkan) sehingga pada dasarnya cara penyimpanan dan teknologi yang dibutuhkan dalam proses penyimpanan dan pengirimannya tidak jauh berbeda dengan *liquefied gas* lainnya.

2.4.2.1 Metoda Penyimpanan

Menurut Max Appl (1999) terdapat tiga metoda dalam penyimpanan amonia cair, yaitu :

1. penyimpanan bertekanan dengan temperatur *Ambient* pada bejana silinder bertekanan dengan kapasitas hingga 1500 ton
2. Penyimpanan *Atmospheric* pada suhu - 33 °C pada bejana silender sekat dengan kapasitas hingga 50000 ton per tanki
3. penyimpanan tertutup dengan tekanan dikurangi hingga 0 °C, biasanya dengan bejana tekanan spiral (*spherical pressure vessels*) untuk kapasitas sekitar 2500 ton per bidang.

Metoda yang umum digunakan pada industri petro kimia pada dewasa ini adalah metoda penyimpanan menggunakan tangki bertekanan dengan temperature ambient dan tanki penyimpanan dengan metoda penyimpanan athmosferic pada suhu -33°C dengan dinding ganda. Berikut ini adalah karakteristik dari ketiga metoda penyimpanan tersebut.

Table 2.6 karakteristik metoda tanki penyimpanan

Type	Typical pressure, bar	Design temperature, °C	t ammonia per t steel	Capacity, t ammonia	Refrigeration compressor
Pressure storage	16–18	ambient	2.8	< 270*	none
Sem.-refrigerated storage	3–5	ca. 0	10	450–2700	single stage
Low-temperature storage	1.1–1.2	- 33	41–45	4500–45 000	two-stage

Max Appl (1999)

2.4.2.2 Penyimpanan Bertekanan/*Pressure Storage*

Penyimpanan Amonia dengan peyimpanan bertekanan lebih tepat digunakan untuk penyimpanan dalam jumlah yang relatif kecil sehingga penyimpanan dengan metoda ini umum dipakai untuk penyimpanan amonia pada truk transportasi atau kereta.

Biasanya tangki yang digunakan untuk penyimpanan dengan metoda ini memiliki tekanan desain mencapai 2.5 MPa. Untuk tanki dengan kapasitas yang lebih

desain tangki umumnya lebih kecil, tekanan desain dari tangki ini biasanya hanya mencapai 1.6 MPa. Hal ini dilakukan untuk menghindari penebalan dinding yang melebihi 30 mm.

Pada bagian luar, tangki tipe ini dilengkapi dengan lapisan pelindung panas untuk menghindari pemanasan bagian dalam yang disebabkan oleh radiasi sinar matahari.

Pengendalian tekanan pada tangki dengan metoda ini menggunakan tekanan yang didapatkan dari *inert ammonia* yang berasal dari pabrik (*synthesis loop*). Untuk pelepasan tekanan berlebih dilakukan oleh *safety relief valve*.

2.4.2.3 Tangki Penyimpanan *Atmospheric* pada suhu – 33°C

Kapasitas penyimpan tangki metoda ini dapat mencapai 50000 t Amونيا. Tekanan desain ini biasanya 1.1 – 1.5 bar. Tangki ini memiliki dasar yang rata dan bentuk atap seperti kubah yang sepenuhnya tertutup.

Proses pendinginan dilakukan dengan cara memberikan tekanan pada amonia (tekanan dan suhu berbanding lurus). Biasanya proses ini menggunakan dua tahap compressor, *vapor* yang terbentuk yang tidak mencapai suhu -33°C akan dilarikan kembali ke sistem pendingin yang lalu kembali ditekan hingga mencapai suhu -33°C. Proses pendinginan ini membuat amonia mencapai suhu -33°C sebelum amonia memasuki tangki penyimpanan. Refrigeration sistem pada metoda penyimpanan ini setidaknya memiliki satu unit cadangan yang siaga dengan pengoperasian menggunakan diesel.

Desain tangki penyimpanan *athmospheric* dengan suhu -33°C memiliki dua desain, yaitu desain dengan satu lapis dan desain dua lapis.

2.4.2.3.1 *Single wall*

Tangki satu lapis (*single wall*) hanya memiliki satu lapis dinding yang di desain untuk tekanan operasional penuh. Pada bagian dalam dinding diberikan lapisan *rock wool* atau busa organik (*polyurethane foam*) yang digunakan sebagai insulasi dari tangki *single wall*. Bagian pelindung luar di rancang kedap terhadap uap untuk menghindari terjadinya pembentukan es dan tangki tipe ini memerlukan standar konstruksi yang perawatan yang sangat baik untuk menghindari penurunan ketahanan.

2.4.2.3.2 Double wall

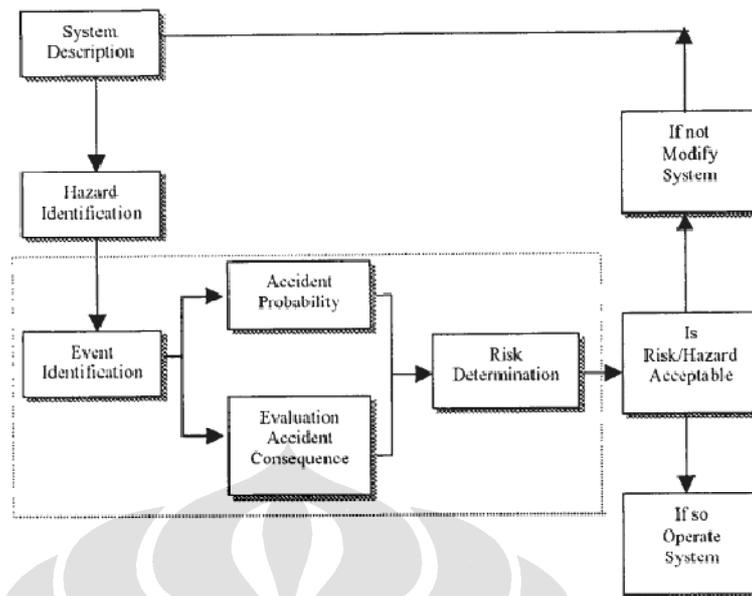
Tanki dinding ganda memiliki dua lapisan dinding yang terdiri dari lapisan dalam *inner shell tank* yang menjadi penampung amonia dan lapisan luar *outer shell tank* yang melingkupi bagian dalam tanki. Antara kedua lapisan tersebut terdapat rongga atau disebut *annulus* yang diisi oleh material pelindung (*insulasi*) seperti *perlite* atau N_2 . Lapisan luar tanki di rancang untuk menampung bahan amonia jika terjadi kebocoran. Perancangan lapisan luar tanki biasanya memiliki spesifikasi yang sama dengan bagian dalam.

Rancangan tanki ini juga disertai dengan pembangunan tanggul yang membentuk kolam penampung jika terjadi kebocoran.

2.5 Hazard risk assessment (HRA)

Evaluasi risiko memiliki dua tujuan. Yaitu, memperkirakan kemungkinan kecelakaan itu terjadi dan tingkat konsekuensi atau keparahan dari kecelakaan itu sendiri (Ann Marie Flynn dan Luis Theodore, 2002). Konsekuensi dari kecelakaan dapat berupa kerusakan fasilitas yang ditimbulkan, kerugian financial, cedera atau kematian yang ditimbulkan hingga kerusakan lingkungan sekitar yang diakibatkan oleh kecelakaan tersebut.

Terdapat empat langkah kunci dalam melakukan hazard risk assessment pada industri kimia(a), langkah pertama adalah mengidentifikasi penyebab dari kecelakaan dan kemungkinannya, penyebab dapat berupa kegagalan dalam mengikuti prosedur yang aman, perbaikan perlengkapan yang tidak tepat, atau kegagalan dalam mekanisme pengaman.



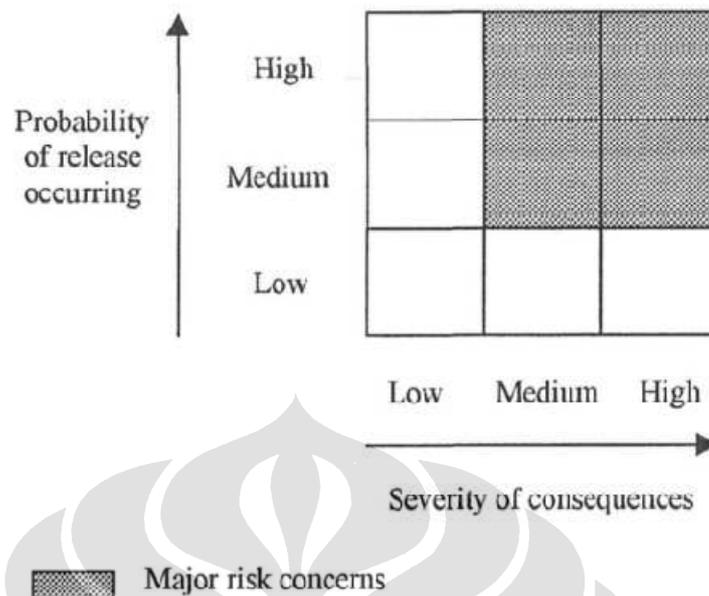
Gambar 7. Langkah-langkah HRA

Flynn & Theodore (2002)

Setelah ditentukan penyebab dari kecelakaan lalu dilakukan perhitungan kemungkinan atau probabilitas terjadinya kecelakaan dan konsekuensi yang ditimbulkan dari kecelakaan tersebut. Perhitungan dari kemungkinan dan konsekuensi akan menghasilkan penilaian secara kualitatif derajat konsekuensi dari kecelakaan tersebut, jika nilai kemungkinan kecelakaan itu terjadi cukup tinggi dengan konsekuensi yang tinggi, maka kecelakaan tersebut di kategorikan berisiko tinggi. Jika konsekuensi dan probabilitas rendah, maka kecelakaan tersebut di kategorikan berisiko rendah.

Kategori *low* dikatakan jika bahaya tidak menimbulkan kerugian yang berarti dalam waktu yang cepat, cedera pada seseorang, kerusakan property atau lingkungan ditimbulkan dalam waktu yang relatif lama.

Kategori *medium* jika kecelakaan cukup serius tetapi tidak bersifat bencana (*catastrophic*), toksisitas atau dari bahan yang kimia yang dilepaskan cukup tinggi atau jumlah bahan kimia yang dikeluarkan cukup besar dengan toksisitas yang lebih rendah yang akan menimbulkan gangguan kesehatan jika tidak dilakukan penanganan dengan segera.



Gambar 8. Matriks kualitatif
Flynn & Theodore (2002)

Kategori *high* jika kecelakaan bersifat bencana (*catastrophic*) atau konsentrasi dari bahan kimia beracun cukup tinggi hingga menyebabkan gangguan kesehatan atau kematian pada banyak orang dan kerusakan lingkungan yang ditimbulkan membutuhkan perbaikan yang lama.

2.5.1 Tipe *hazard analysis*

Seperti disebutkan diatas, langkah pertama melakukan *hazard risk analysis* diperlukan identifikasi bahaya atau *hazard*. Maka diperlukan analisis *hazard* untuk mengidentifikasi *hazard*, efek *hazard* dan penyebab *hazard* tersebut sehingga dapat direncanakan penanganan yang tepat untuk mencegah terjadinya kerugian akibat *hazard* tersebut. Analisis *hazard* dilakukan secara sistematis dengan menganalisa sistem, sub sistem, fasilitas, component, perangkat lunak, personil dan hubungan antar personil.

Terdapat dua kategori dalam *hazard analysis*, yaitu tipe dari analisis dan teknik analisis. Tipe *hazard analysis* menyatakan kategori, kedalaman dan lingkup sistem dari analisis dan teknik *hazard analysis* merupakan metodologi analisis khas yang digunakan yang menghasilkan hasil yang spesifik. Secara garis besar perbedaan tipe dan teknik analisis dapat di lihat pada table.

Tabel 2.7 Perbedaan Tipe dan Teknik *HRA*

Tipe	Teknik
<ul style="list-style-type: none"> • Menentukan tempat, waktu, dan apa yang perlu dianalisa • Menentukan secara spesifik analisa gugus tugas pada waktu yang spesifik pada suatu siklus program • Menentukan apa yang diinginkan dari analisis • Menyediakan focus desain yang spesifik 	<ul style="list-style-type: none"> • Menetapkan cara melakukan analisis • Menetapkan metodologi yang spesifik dan unik • Menyediakan informasi untuk memnuhi tujuan dari tipe analisis

Ericson II (2005)

2.5.1.1 Tipe-tipe *hazard analysis*

Seiring mulai berjalannya suatu program, informasi dari perkembangan operasi sistem tersebut semakin bertambah, sehingga semakin bertambah pula informasi yang lebih terperinci mengenai hazard tertentu dan kebutuhan analisis untuk tiap tipe hazard.

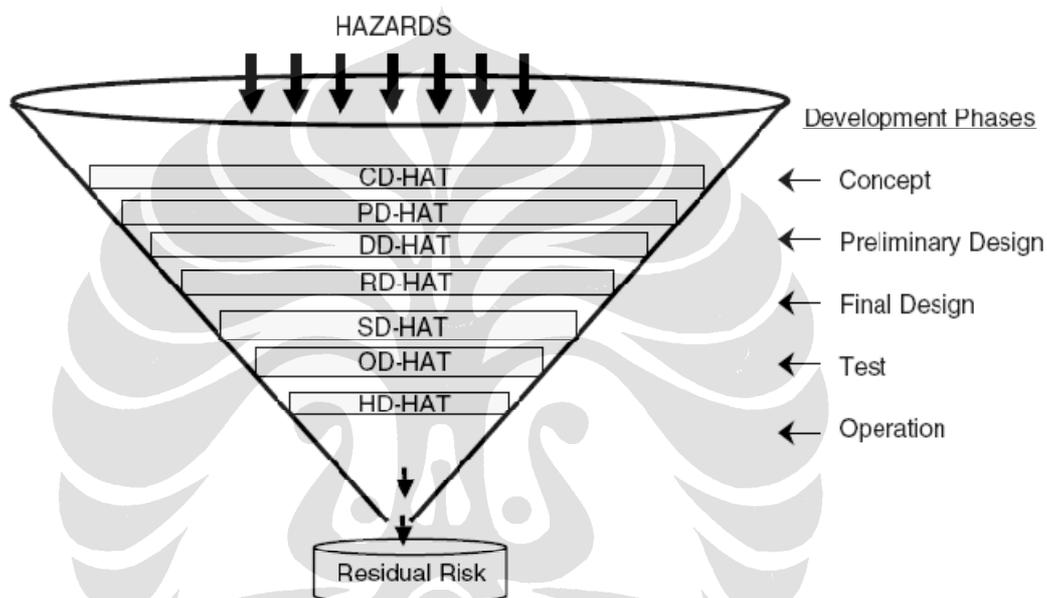
Tipe *hazard analysis* mendeskripsikan lingkup, cakupan, detail dan siklus dari suatu hazard analisis. Setiap tipe analisis ditujukan untuk menyediakan keterkaitan fase analisis yang mengidentifikasi hazard dari fase desain tertentu selama siklus perkembangan suatu sistem.

Terdapat tujuh tipe analisis dalam disiplin sistem safety. Yaitu :

1. *Conceptual design hazard analysis (CD-HAT)*
2. *Preliminary design hazard analysis (PD-HAT)*
3. *Detailed design hazard analysis (DD-HAT)*
4. *Sistem design hazard analysis (SD-HAT)*

5. *Operation design hazard analysis (OD-HAT)*
6. *Health design hazard analysis (HD-HAT)*
7. *Requirement design hazard analysis (RD-HAT)*

Masing-masing dari tipe analisis ini mendefinisikan kapan tipe analisis tersebut diterapkan, tingkat ketelitian dari tipe analisis, tipe informasi tersedia dan hasil dari analisis tersebut. Tujuan yang berbeda dari masing-masing tipe analysis di capai dengan menggunakan teknik analisis yang sesuai dengan tipe analisis yang digunakan.



Gambar 9. Konsep Tipe *Hazard analysis*

Ericson II (2005)

2.5.1.1.1 *Conceptual design hazard analysis (CD-HAT)*

Tipe analisis ini merupakan analisis bahaya yang dapat ditemukan selama fase konsep dari suatu rancangan. Tipe *hazard analysis* ini dilakukan tipe analisis yang dilakukan pertama kali pada tahap perancangan, *CD-HAT* mencari bahaya yang mungkin ditimbulkan oleh suatu rancangan. Prinsip analisis yang digunakan adalah prinsip “bagaimana jika?”.

2.5.1.1.2 Preliminary design hazard analysis (PD-HAT)

Preliminary design hazard analysis dilakukan untuk mengidentifikasi *hazard* pada tingkat sistem dan untuk mendapatkan perhitungan risiko pertama bagi sebuah sistem. *PD-HAT* menyediakan evaluasi keamanan dari suatu rancangan dalam hal potensi bahaya, factor penyebab, dan risiko terjadinya kegagalan.

2.5.1.1.3 Detailed design hazard analysis (DD-HAT)

Adalah bentuk detil analisis yang menganalisa lebih lanjut *hazard* yang dihasilkan oleh PHA dengan informasi yang lebih terperinci. *DD-HT* mengevaluasi fungsional hubungan antar komponen dan perlengkapan yang membentuk sub sistem.

2.5.1.1.4 Sistem design hazard analysis (SD-HAT)

SD-HAT menganalisis rancangan sistem secara total dengan mengevaluasi rancangan sistem secara terintegrasi. *SD-HAT* memeriksa seluruh sistem secara keseluruhan dengan penekanan pada interaksi dari semua sub sistem ketika semua bekerja secara bersama.

2.5.1.1.5 Operation design hazard analysis (OD-HAT)

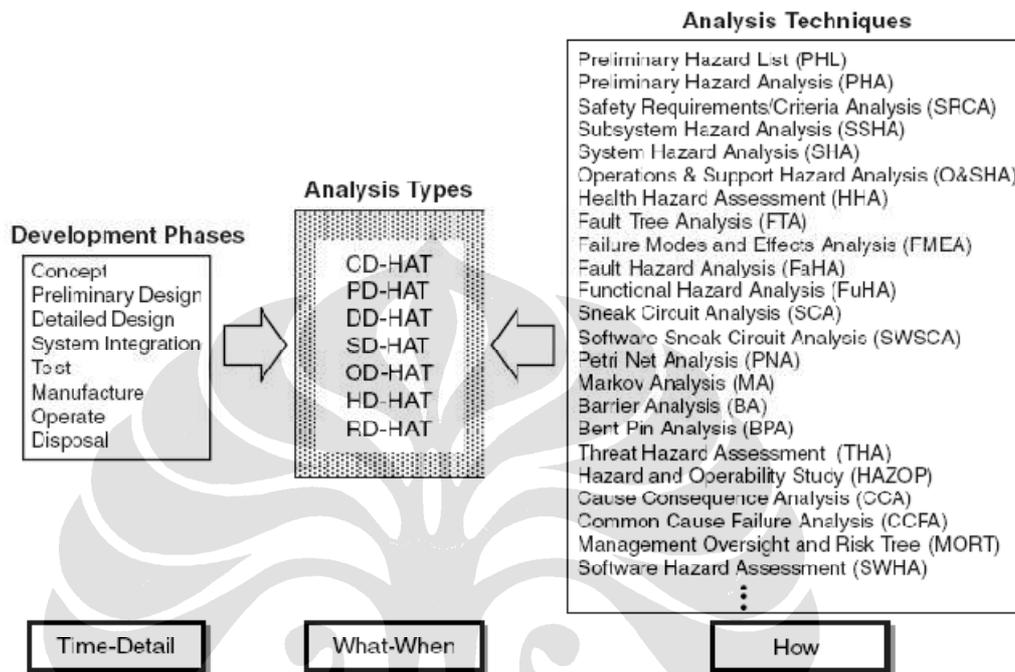
Analisis *OD-HAT* mengevaluasi operasional dan fungsi pendukung yang terlibat dengan sistem. Termasuk didalamnya penggunaan, uji coba, pelatihan, penyimpanan, transportasi dan pembuangan. *OD-HAT* mengidentifikasi bahaya selama operasional yang dapat dikendalikan dengan modifikasi rancangan atau modifikasi prosedur operasional.

2.5.1.1.6 Health design hazard analysis (HD-HAT)

HD-HT ditujukan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi bahaya kesehatan bagi manusia, mengajukan tingkat bahaya kesehatan suatu material dan mengajukan penanganan untuk mengeliminasi atau mengendalikan bahan berbahaya tersebut dengan modifikasi rancangan atau upaya perlindungan.

2.5.1.1.7 Requirement design hazard analysis (RD-HAT)

RD-HAT adalah bentuk analisis yang memverifikasi dan memvalidasi suatu rancangan pengamanan dengan kebutuhan yang diharuskan dan memastikan tidak adanya jurang antara kedua hal tersebut



Gambar 10. Hubungan Fase Perkembangan, Tipe Dan Teknik Analisis

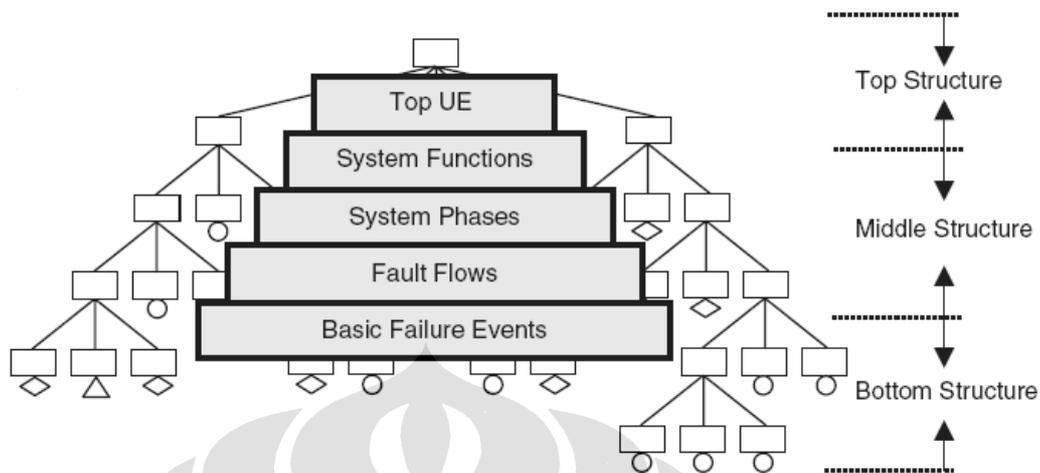
Ericson II (2005)

2.5.2 Teknik *fault tree analysis* FTA

Teknik *fault tree analysis* Analisis FTA yang termasuk ke dalam tipe sistem *design hazard analysis* adalah tehnik analisis sistem yang digunakan untuk menentukan akar dari penyebab dan probabilitas dari kejadian yang tidak diinginkan atau kecelakaan.

FTA digunakan untuk mengevaluasi sistem yang besar dan dinamis dan mencegah masalah yang memiliki potensi untuk timbul dengan menggunakan analisis yang terstruktur, FTA dapat melakukan pemodelan kombinasi dari interaksi kejadian-kejadian yang salah yang dapat menyebabkan kejadian yang tidak diinginkan atau

timbul kecelakaan dengan cara deduktif dari satu kejadian yang tidak diinginkan sebagai puncak dengan factor-faktor penyebab dari kejadian itu sebagai akarnya.



Gambar 11. Bangunan *FTA*

Ericson II (2005)

2.5.2.1 Langkah langkah pembuatan *FTA*

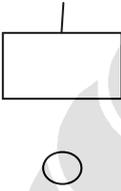
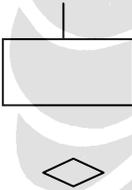
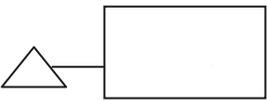
Terdapat delapan langkah dasar dalam proses membangun *FTA* untuk menghasilkan analisis yang lengkap dan akurat, yaitu :

1. Mendefinisikan sistem, dengan cara memahami rancangan sistem dan operasional dari sistem tersebut.
2. Tentukan kecelakaan, mendefinisikan kejadian yang tidak diinginkan atau kecelakaan yang akan dianalisis
3. Batasan analisis, Tentukan batasan dari analisis
4. Membangun *Fault Tree*, ikuti aturan proses dan batasan pembangunan struktur
5. Evaluasi *fault tree*, ambil satu bagian yang dari akar pohon yang mungkin menyebabkan kecelakaan atau disebut *cut sets*
6. Validisasi *fault tree*, periksa apakah model *fault tree* sudah benar
7. Modifikasi *fault tree*, jika terdapat kekurangan dari hasil evaluasi
8. Dokumentasi hasil analisis

Bentuk *Fault trees* tersusun atas keterangan kejadian yang dikaitkan seperti bentuk sebuah pohon. Bagian keterangan kejadian merepresentasikan kejadian yang

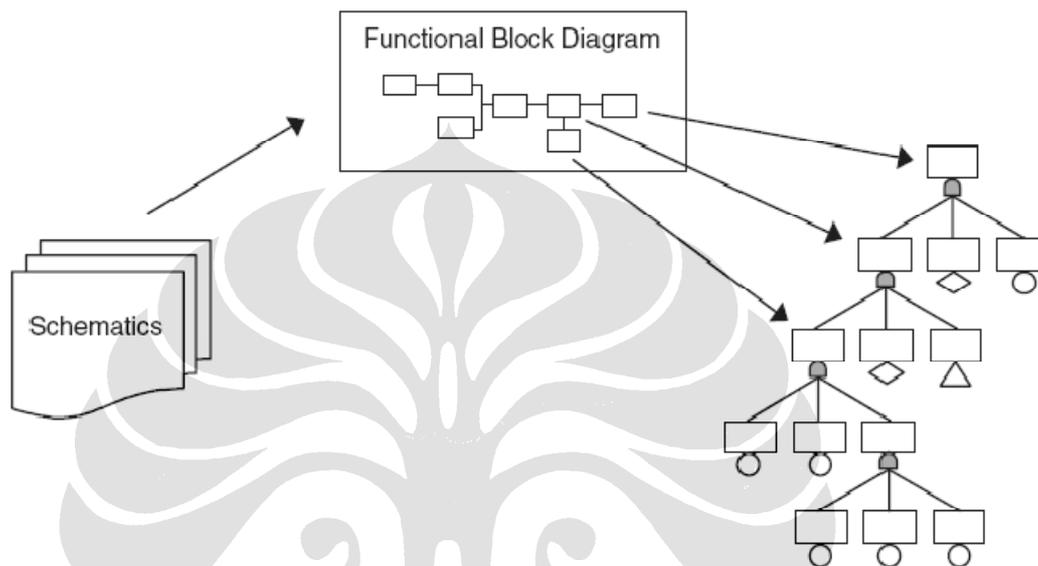
salah yang menjadi penyebab kejadian lain terjadi. Pada pohon tersebut, terdapat simbol-simbol yang menjadi keterangan dari jenis kontribusi atau proses dari kejadian tersebut terhadap kejadian lainnya. Simbol-simbol tersebut memiliki empat kategori. Yaitu, Basic event, Gate event, Conditional event dan Transfer event (table).

Tabel 2.8 Jenis-Jenis Gate Pada *FTA*

Simbol	Tipe	Keterangan
	Kotak text	Mengandung keterangan tentang kejadian atau <i>event</i>
	Kesalahan primer	Komponen kesalahan yang paling dasar.
	Kesalahan sekunder	Komponen kesalahan yang memerlukan analisis lebih lanjut
	Kejadian normal	Kejadian yang umum terjadi
	Transfer	Mengindikasikan sambungan pada pohon jika letak sambungan berada dilembar lain

Ericson II (2005)

Ketika membangun *FTA*, adalah hal penting untuk membangun terlebih dahulu diagram alur proses normal atau *functional block diagram (FBD)*. FBD menampilkan alur proses sebuah sistem dalam keadaan normal, pembangunan FBD akan mempermudah konstruksi *FTA*.



Gambar 9. Proses Pembuatan *FTA*
Ericson II (2005)

2.5.2.2 Keunggulan dan kelemahan *Fault Tree Analysis*

Meski *FTA* merupakan salah satu teknik yang sudah teruji dan diakui dan digunakan oleh banyak ahli *FTA* memiliki keunggulan dan kelemahan tersendiri, yaitu :

Keunggulan *FTA*

1. Menggunakan pendekatan yang metodologis dan terstruktur
2. Dapat memperhitungkan proses dalam porsi besar
3. Secara efektif menampilkan desain proses secara rinci
4. Penyebab dan efek dapat ditampilkan secara visual
5. Relatif mudah dipelajari dan diterapkan
6. Dapat menampilkan hubungan antar sistem yang rumit
7. Mengikuti alur kesalahan dalam batasan sistem

8. Memadukan aspek *software*, lingkungan dan interaksi manusia
9. Dapat dilakukan perhitungan probabilitas
10. Walaupun tidak terdapat informasi yang lengkap *FTA* dapat menampilkan nilai yang mumpuni

Kelemahan *FTA*

1. Memakan waktu yang cukup lama dalam pembuatannya
2. Memerlukan analis yang memiliki pengalaman dan pelatihan yang cukup
3. Sulit dalam pemodelan dengan fase ganda

Kelebihan *FTA* yang mampu dapat memperhitungkan proses dalam porsi besar dan dapat menampilkan hubungan antar sistem yang rumit cukup tepat dalam menganalisa bentuk skenario kebocoran yang mungkin terjadi pada proses *storage* amonia di PT. Pupuk Kujang yang melibatkan sistem pengamanan berlapis.

2.6 Area Locations of Hazardous Atmosphere (ALOHA)

ALOHA yang merupakan bagian dari sistem *software* yang dikenal sebagai *Computer-Aided Management of Emergency Operations (CAMEO)* dirilis tahun 1999 EPA.

ALOHA digunakan sebagai alat untuk *emergency response* dan *emergency preparedness/planning* yang berhubungan dengan bahan kimia. *ALOHA* di desain untuk mudah dan cepat digunakan dalam kondisi darurat untuk mendapatkan proyeksi penyebaran bahan kimia atau ledakan dan kebakaran sehingga secara prinsip perhitungan yang dihasilkan *ALOHA* merupakan kompromi antara kecepatan dan ketepatan dari perhitungan.

Walaupun demikian, perhitungan yang dihasilkan *ALOHA* dapat digunakan sebagai landasan perhitungan konsekuensi dan *emergency response* dan *emergency preparedness/planning*. Selain dari pada itu kemudahan dan kecepatan penggunaan *ALOHA* serta hasil yang dapat dipertanggung jawabkan menjadi alasan kuat penulis menggunakan perangkat analisa tersebut.

Dalam melakukan perhitungan pola penyebaran kebocoran bahan kimia *ALOHA* menggunakan variable-variabel yang mempengaruhi pola penyebaran itu sendiri. Variable-variabel itu adalah:

1. Pemilihan Lokasi

ALOHA menggunakan koordinat lokasi dan tingkat elevasi (meter dari permukaan laut) dan zona waktu untuk melakukan perhitungan.

2. Tipe Bangunan

Keterangan Tipe bangunan yang akan dilewati oleh bahan kimia yang akan di proyeksikan serta keterangan kecepatan angin, dan suhu udara dibutuhkan *ALOHA* untuk memperhitungkan *Exchange rate* dan memperkirakan konsentrasi bahan kimia di dalam ruangan bangunan tersebut (ditampilkan pada layar *Text Summary*)

3. Apakah bangunan terlindungi atau tidak

Bangunan terlindungi menggambarkan apakah bangunan atau sekumpulan bangunan dikelilingi oleh hambatan besar seperti pepohonan yang memungkinkan untuk menghalangi hembusan angin. Bangunan tidak terlindungi adalah bangunan yang dikelilinginya tidak terdapat hambatan untuk angin atau lahan terbuka. *ALOHA* menggunakan informasi ini untuk memperkirakan konsentrasi bahan kimia di dalam ruangan.

4. Bahan kimia

Informasi mengenai bahan kimia yang akan diproyeksikan. Informasi bahan kimia tersebut adalah informasi mengenai sifat fisik dari bahan kimia tersebut dan karakter toksikologi dari bahan tersebut.

5. Kecepatan dan arah angin

a. Kecepatan angin

ALOHA membutuhkan data mengenai kecepatan dan arah angin untuk memperhitungkan laju dari penyebaran awan bahan kimia di udara dan juga memperhitungkan arah penyebaran. *ALOHA* mengasumsikan kecepatan dan arah angin bersifat konstan pada proyeksi.

Pengukuran kecepatan angin dapat dilakukan juga dengan memperkirakan secara subjektif berdasarkan perkiraan yang diperlihatkan pada table berikut yang menggunakan skala kekuatan angin *Beaufort*:

Tabel 2.9 Skala Kekuatan Angin *Beufrot*

Meters per second	Knots	International description	Specifications
< 1	< 1	Calm	Calm; smoke rises vertically.
<1 - 2	1 - 3	Light air	Direction of wind shown by smoke drift but not wind vanes
2 - 3	4 - 6	Light breeze	Wind felt on face; leaves rustle; ordinary vanes moved by wind
3 - 5	7 - 10	Gentle breeze	Leaves and small twigs in constant motion; wind extends light flags
5 - 8	11 - 16	Moderate	Raises dust and loose paper; small branches are moved
8 - 11	17 - 21	Fresh	Small trees in leaf begin to sway; crested wavelets form on inland water.
11 - 14	22 - 27	Strong	Large branches in motion; whistling heard in telegraph wires; umbrellas used with difficulty
14 - 17	28 - 33	Near Gale	Whole trees in motion; inconvenience felt walking against wind
17 - 21	34 - 40	Gale	Breaks twigs off trees; generally impedes progress
1 knot = 1.2 miles per hour			

EPA & OAA (2007)

Input data kecepatan angin yang mampu diproses *ALOHA* adalah, harus melebihi 2 knots (2.3 mil/jam, 1 meter/detik) dan kurang dari 117 knots (134 mil/jam, 60 m/detik) pada ketinggian referensi 10 meter.

b. Arah angin

Arah angin menunjukkan dari mana arah angin menuju sumber kebocoran , data yang dimasukkan dapat berupa derajat arah mata angina atau notasi arah seperti pada di bawah ini :

Tabel 2.10 Arah Angin

N	= 0 derajat atau 360 derajat
NNE	= 22.5 derajat
NE	= 45 derajat
ENE	= 67.5 derajat
E	= 90 derajat
ESE	= 112.5 derajat
SE	= 135 derajat
SSE	= 157.5 derajat
S	= 180 derajat
SSW	= 202.5 derajat
SW	= 225 derajat
WSW	= 247.5 derajat
NNW	= 337.5 derajat
W	= 270 derajat
WNW	= 292.5 derajat
NW	= 315 derajat

EPA & OAA (2007)

6. Referensi ketinggian angin

ALOHA membutuhkan data mengenai ketinggian pengukuran arah dan kecepatan angin untuk mengetahui pola sifat angin. Angin yang memiliki jarak lebih dekat dengan tanah mengalami friksi yang memperlambat kecepatan angin. Sedangkan pada tingkat ketinggian yang lebih tinggi memiliki kecepatan yang lebih tinggi. Pada ketinggian yang lebih tinggi, kecepatan angin mencapai kecepatan maksimum karena terdapat sedikit gesekan.

7. Kepadatan area (*Ground Roughness*)

Sebelum *ALOHA* dapat melakukan perhitungan zona terancam, keterangan mengenai kekasaran atau kepadatan dari lahan yang diproyeksikan (*ground roughness*). Data tersebut akan mempengaruhi dari perhitungan ukuran zona

yang terancam.. nilai yang lebih tinggi akan menghasilkan zona ancaman yang lebih kecil.

Derajat dari turbulensi udara mempengaruhi kecepatan dari pergerakan awan polutan dan pencampuran dari bahan kimia dengan udara lepas hingga mencapai batas tidak berbahaya (*level of concern LOC*). Gesekan antara tanah dengan udara yang melewatinya adalah salah satu penyebab dari timbulnya turbulensi udara. Hal ini disebabkan oleh kecepatan udara yang mendekati tanah memiliki kecepatan yang lebih lambat dibandingkan lapisan udara di atasnya, hal ini menyebabkan terbentuknya *eddies* (pusaran udara) sehingga keterangan medan dengan nilai kepadatan yang tinggi akan menghasilkan turbulensi yang lebih banyak.

Kepadatan lahan ditentukan berdasarkan jumlah dan ukuran dari elemen-elemen yang mempengaruhi kepadatan yang terdapat daerah yang akan diproyeksikan. Data kepadatan dapat di masukkan ke *ALOHA* secara eksplisit ataupun dengan mengikuti tiga tipe yang merepresentasikan kepadatan yang sudah disediakan oleh *ALOHA* :

- Area terbuka (*Open Country*): bahan kimia melalui area dengan elemen kepadatan yang relatif kecil seperti lapangan terbuka atau lapangan parkir. Pada tipe ini bahan kimia biasanya berjalan lebih jauh dibandingkan area pemukiman ataupun hutan. Dengan demikian proyeksi penyebaran zat kimia yang ditampilkan *ALOHA* akan mencapai jarak yang lebih jauh.
- Daerah pemukiman atau hutan (*Urban or Forest*): dengan tipe kepadatan ini laju bahan kimia akan terhambat oleh gesekan udara yang ditimbulkan oleh pepohonan atau bangunan di area tersebut.
- Permukaan air terbuka (*Open Water*): tipe ini merupakan tipe yang memiliki kepadatan yang paling kecil sehingga proyeksi yang dihasilkan akan lebih jauh. Contoh dari tipe ini adalah sungai atau danau.

Pemilihan kategori tipe kepadatan dipilih berdasarkan karakter dominan dari area yang akan diroyeksikan. Sebagai contoh, misalkan suatu lahan terdiri dari 70% tipe daerah pemukiman dan 30% lahan terbuka, maka data kepadatan (*roughness*) yang di masukkan ke dalam *ALOHA* adalah tipe daerah pemukiman.

Pemilikan karakteristik kepadatan suatu area dapat juga dilakukan dengan memasukkan nilai panjang kepadatan (*roughness length*) berdasarkan nilai Z_0 (Centi meter atau Inchi) mengikuti standar dari manual *ALOHA*.

Tabel 2.11 Karakteristik Permukaan

Surface description	Z_0 (cm)
Mud flats, ice	0.001
Smooth tarmac (airport runway)	0.002
Large water surfaces (average)	0.01-0.06
Grass (lawn to 1 cm high)	0.1
Grass (airport)	0.45
Grass (prairie)	0.64
Grass (artificial, 7.5 cm high)	1.0
Grass (thick to 10 cm high)	2.3
Grass (thin to 50 cm)	5.0
Wheat stubble plain (18 cm)	2.44
Grass (with bushes, some trees)	4
1-2 m high vegetation	20
Trees (10-15m high)	40-70
Savannah scrub (trees, grass, sand)	40
Large city (Tokyo)	165

EPA & OAA (2007)

8. Awan

ALOHA membutuhkan nilai kondisi awan yang merupakan proporsi dari awan yang menutupi udara. Penilaian ini diperlukan karena memperhitungkan jumlah radiasi sinar matahari ketika terjadi pelepasan bahan kimia. Radiasi matahari memiliki pengaruh yang besar terhadap laju penguapan karena panas dari

matahari dapat meningkatkan kecepatan penguapan bahan kimia. Penilaian kondisi awan dilakukan berdasarkan skala 10. Nilai 10 berarti hampir seluruh angkasa diselubungi awan, nilai 5 jika hanya setengah dari angkasa yang tertutup oleh awan, nilai 0 jika sama sekali tidak terdapat awan di udara.

9. Temperatur udara

Nilai temperatur udara diperlukan *ALOHA* untuk memperhitungkan kecepatan penguapan pada bahan kimia. Nilai temperatur yang dimaksudkan adalah nilai temperatur saat terjadi kebocoran.

10. Stabilitas atmosfer

Stabilitas atmosfer ditentukan oleh banyaknya radiasi matahari yang mengenai daerah tersebut. Hal ini berkaitan dengan panas yang matahari yang menyentuh permukaan tanah akan menghasilkan turbulensi udara dan *eddies*. Semakin besar turbulensi dan *eddies* yang dihasilkan maka atmosfer semakin tidak stabil.

Stabilitas atmosfer dibedakan dalam 6 kelas stabilitas. Kelas A dan B menunjukkan kelas atmosfer yang relatif tidak stabil, kelas E dan F menunjukkan kondisi atmosfer yang relatif stabil (sedikit turbulensi) karena radiasi matahari relatif lemah dan angin relatif lemah. Kelas stabilitas D dan C menunjukkan stabilitas atmosfer yang relatif netral, kondisi ini ditunjukkan dengan kekuatan angin yang relatif kuat dengan radiasi matahari yang cenderung sedang.

ALOHA menggunakan tabel dibawah sebagai acuan pemilihan tipe stabilitas:

Table 2.12 Kecepatan Angin

Surface	Day			Night	
Wind Speed	Incoming Solar Radiation			Cloud Cover	
	Strong	Moderate	Slight	Greater Than .5	Less Than .5
(meters/second)					
<2	A	A-B	B	E	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D
(knots)					
>6	C	D	D	D	D
<3.9	A	A-B	B	E	F
3.9-5.8	A-B	B	C	E	F
5.8-9.7	B	B-C	C	D	E
9.7-11.7	C	C-D	D	D	D
>11.7	C	D	D	D	D
(mile/hour)					
<4.5	A	A-B	B	E	F
4.5-6.7	A-B	B	C	E	F
6.7-11.2	B	B-C	C	D	E
11.2-13.4	C	C-D	D	D	D
>13.4	C	D	D	D	D

**Penilaian pada table diatas berlaku bagi kondisi di atas tanah, kondisi area permukaan air maka kelas stabilitas yang digunakan adalah D atau E*

EPA & OAA (2007)

- "*night*" : adalah periode waktu dari 1 jam sebelum matahari terbenam hingga jam 1 setelah matahari terbit. is the time period from 1 hour before sunset until 1 hour after sunrise.
- "*Strong*" : adalah radiasi matahari yang menunjukkan udara yang cerah dengan sudut ketinggian matahari lebih dari 60° .
- "*Slight*" adalah radiasi matahari dengan udara cerah dan matahari pada sudut antara 15° hingga 35° .

11. Inversi

Inversi adalah kondisi atmosfer yang di dalamnya terdapat lapisan udara tidak stabil yang berada di dekat permukaan dan di atasnya terdapat lapisan udara yang stabil. Ketinggian dari perbedaan stabilitas udara tersebut dikatakan sebagai ketinggian inversi. Keadaan inversi ini menyebabkan bahan kimia untuk terperangkap di lapisan bawah inversi sehingga konsentrasi dari bahan kimia akan terakumulasi pada lapisan ini.

Melihat adanya inversi dapat ditunjukkan dengan adanya kabut, uap atau asap yang merambat dekat dengan lapisan tanah, keadaan ini menunjukkan inversi dengan ketinggian yang rendah.

Inversi pada perhitungan yang dilakukan *ALOHA*, sangat berpengaruh pada perhitungan bahan kimia yang tidak termasuk dalam jenis gas berat (*Heavy Gas*).

12. Kelembaban Relatif

Kelembaban adalah rasio dari jumlah uap air yang terkandung dalam udara dalam tekanan dan temperatur ambient. Kelembaban Relatif direpresentasikan dengan persen, sebagai contoh, jika kelembaban relatif adalah 50% maka udara mengandung setengah dari kapasitas udara tersebut untuk mengandung uap air. Semakin hangat udara maka semakin besar kapasitas udara tersebut untuk mengandung uap air. Udara dingin bisa saja mengandung sedikit uap air tetapi memiliki kelembaban relatif yang tinggi karena jumlah uap air di dalam udara mendekati kapasitas maksimum udara untuk mengandung air.

ALOHA menggunakan kelembaban relatif untuk :

- Memperkirakan nilai kemampuan pengantar radiasi panas pada udara (*atmospheric transmissivity*)
- Memperkirakan laju penguapan
- Dan membuat perhitungan penyebaran gas berat

13. Data Sumber kebocoran

ALOHA membutuhkan data sumber kebocoran dengan keterangan mengenai ukuran dan orientasi tanki dan volume bahan kimia yang terkandung dalam tanki ketika terjadi kebocoran.



BAB III

KERANGKA KONSEP DAN DEFINISI OPERASIONAL

3.1. Kerangka Konsep

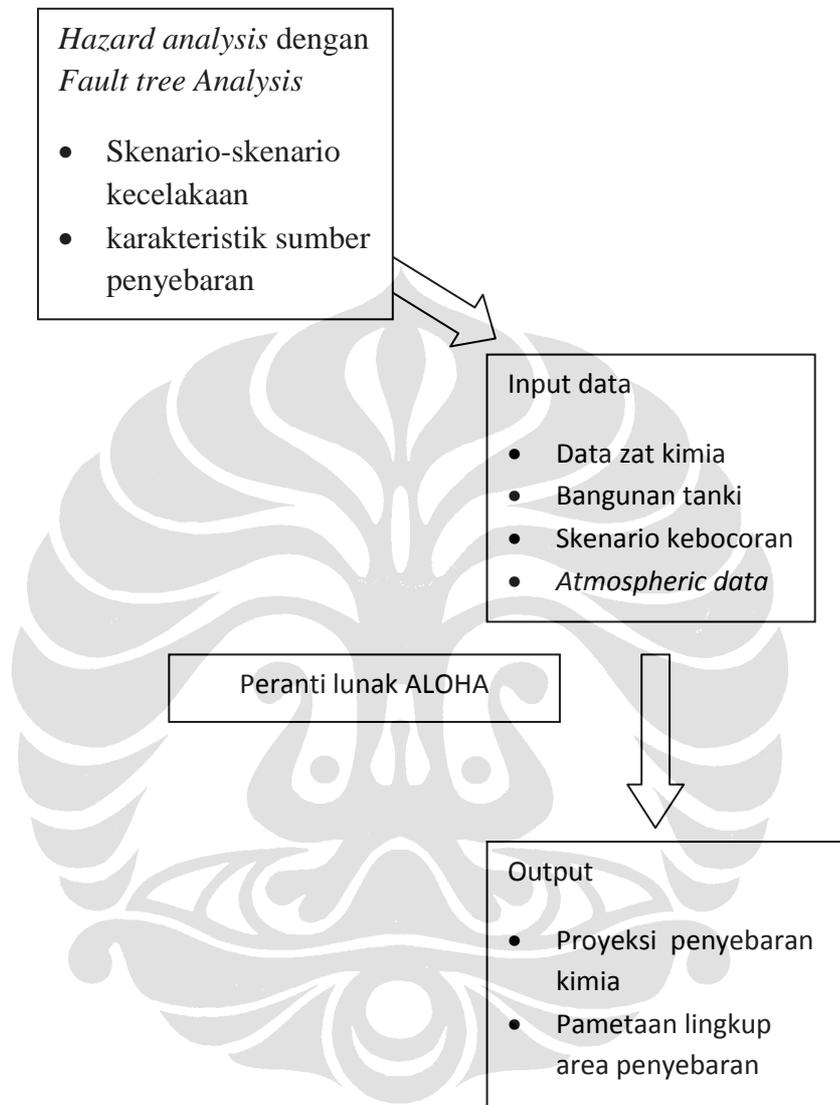
Kebocoran bahan kimia dalam jumlah besar dapat menimbulkan dampak kerugian besar bagi kehidupan manusia ataupun lingkungan sekitar yang mendapatkan limbah bahan kimia dalam jumlah berbahaya. Kerugian yang ditimbulkan dapat berupa kerugian ekonomi ataupun kerusakan lingkungan hingga mengganggu kesehatan atau bahkan hilangnya nyawa. Kemungkinan kejadian yang demikian harus menjadi perhatian serius bagi perusahaan yang memiliki risiko seperti PT. Pupuk Kujang Cikampek.

Tanki penyimpanan amonia PT. Pupuk Kujang memiliki potensi terjadi kebocoran bahan kimia dalam jumlah yang sangat besar, hal ini dapat terdimungkinkalihat pada karena kapasitas penyimpanan amonia yang memiliki kapasitas yang cukup besar yaitu 5000 MT pada tanki 2101-FA dan 10000 MT pada tanki 2101-F.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisa konsekuensi dengan menampilkan proyeksi penyebaran zat amonia jika terjadi kebocoran pada tanki 2101-F amonia PT. Pupuk Kujang menggunakan peranti lunak *ALOHA (Area Locations of Hazardous Athmosphere)*

Proyeksi menggunakan *ALOHA* merupakan pemodelan untuk memperkirakan pola penyebaran zat kimia berbahaya yang terlepas ke udara dalam jika terjadi *skenario* kebocoran pada tanki penyimpanan. Pola penyebaran zat kimia dapat menampilkan zona-zona yang berisiko (*Threat zone*) mendapat dampak langsung dari pelepasan zat kimia.

Berdasarkan penjelasan diatas maka dihasilkan kerangka konsep sebagai berikut :



Gambar 10. Kerangka Konsep

3.2 Definisi Operasional

variabel	Definisi	Cara pengukuran	Alat ukur	Hasil ukur	Skala ukur
Data bahan kimia (<i>chemical data</i>)	Informasi mengenai data kimia yang akan diproyeksikan	Terdapat pada <i>ALOHA</i>	<i>ALOHA</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Molecular Weight: g/mol • ERPG-1: ppm • ERPG-2: ppm • ERPG-3: ppm • IDLH: ppm • LEL: ppm • UEL: ppm • Ambient Boiling Point: °C • Vapor Pressure at Ambient Temperature: atm • Ambient Saturation Concentration: ppm 	Rasio
Data atmosfer area proyeksi (<i>atmospheric data</i>)	Informasi mengenai keadaan atmosfer area proyeksi	Skala yang pada <i>ALOHA</i>	Data kondisi atmosfer rata-rata area PT. Pupuk kundang	<ul style="list-style-type: none"> • Derajat latitude, longitude • m/detik • Zo (cm) • Kelas A B C D E F • °C 	Rasio
Data sumber kebocoran (<i>Source Data</i>)	Sumber kebocoran bahan kimia	Spesifikasi bangunan sumber	Geometri bangunan sumber kebocoran	<ul style="list-style-type: none"> • Diameter : m • Panjang : m • Volume : m² • Temperature : °C • Tinggi cairan yang diisi pada tanki : m 	Rasio

				<ul style="list-style-type: none"> • Diameter pembukaan kebocoran : m • Letak tinggi kebocoran (pada tanki) : m 	
Peranti lunak pemodelan	Program computer yang digunakan untuk proyeksi penyebaran kebocoran kimia	Piranti lunak ALOHA (<i>Area Locations of Hazardous Atmosphere</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Data bahan kimia (<i>chemical data</i>) • Data atmosfer area proyeksi (<i>atmospheric data</i>) • Data sumber kebocoran 	<ul style="list-style-type: none"> • Diagram pelepasan: kg/menit 	Rasio

