

TINJAUAN ASPEK KESELAMATAN UJI STATIK ROKET DENGAN PROPELAN KEROSEN-ASAM NITRAT TERHADAP MANUSIA DAN LINGKUNGAN

Arff Nur Haklm¹⁾, Azis Trilanto, Pramujo Widlatmoko, Risky Darmawan²⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Klmia, ITB

²⁾ Penelltl Bidang Propulsi, Pustekwagan, LAPAN

ABSTRACT

Liquid propellant rocket has some advantages compared to solid propellant rocket. The consumption and ratio of fuel to oxydizer can be controlled to produce desired thrust. One of non-cryogenic propellant still in use today is a combination of kerosene and nitric acid. However, the use of this propellant leaves the problem due to its characters. Nitric acid is a very corrosive liquid and can cause a serious effect to the human body. The study on safety of static test of liquid propellant rocket has been done. In the static test, kerosene and nitric acid will be injected, mixed and burned in the rocket combustion chamber and produce high pressure and high temperature gas. The product gas of combustion then will be blown out through the nozzle to the air to produce the thrust. The result of study devide rocket static test area into 5 zones. Zone 1, the most dangerous area, is the area within 3 m radius from static test bed and zone 2, 3 - 40 m, is the area affected by dangerous gases. Direct observation can be done in 50 m with bunker protection.

Keywords : *Static test. Safety, Effect analysis. Liquid propellant rocket*

ABSTRAK

Roket propelan cair memiliki beberapa kelebihan bila dibandingkan dengan roket propelan padat. Jumlah dan perbandingan bahan bakar terhadap oksidator dapat diatur untuk menghasilkan gaya dorong yang diinginkan. Salah satu propelan yang digunakan saat ini adalah pasangan kerosen dan asam nitrat. Namun, penggunaan propelan ini memunculkan masalah akibat karakter propelannya. Asam nitrat adalah cairan yang sangat korosif dan dapat menyebabkan efek yang serius terhadap tubuh manusia. Tinjauan terhadap keselamatan dalam uji statik roket cair telah dilakukan. Pada uji statik, kerosen dan asam nitrat akan diinjeksi ke dalam ruang bakar dan bereaksi sehingga menghasilkan gas bertekanan dan bertemperatur tinggi yang kemudian disemburkan melalui nosel untuk menghasilkan gaya dorong. Dari hasil kajian, daerah pengujian dibagi menjadi 5 zona. Zona 1, daerah yang paling berbahaya berjarak 0 - 3 m, dan zona 2, 3 - 40 m, adalah daerah yang masih dipengaruhi oleh gas-gas berbahaya. Pengamatan langsung dapat dilakukan padajarak 50 m dengan perlindungan bangunan.

Kata kunci: *Uji statik, Keselamatan, Analisis dampak, Roket berpropelan cair*

1 PENDAHULUAN

Program roket propelan cair telah dimulai di LAPAN untuk mendukung program-program kedirgantaraan, dengan dikembangkannya roket berpropelan kerosen dan gas oksigen. Namun pasangan propelan cair dan gas terbentur pada besarnya gaya dorong yang mampu dihasilkan karena terbatasnya ruang

yang mampu mengangkut propelan yang berbentuk gas. Karena itu, saat ini telah dimulai pengembangan roket dengan propelan cair. Dari segi fisiknya, ada 2 jenis propelan cair yang umum digunakan yaitu propelan cryogenic (propelan dengan suhu ekstrim rendah) dan non-cryogenic. Dengan pertimbangan ketersediaan fasilitas dan teknologinya, pada pengembangan roket cair saat ini

digunakan propelan non-cryogenic, kerosen sebagai bahan bakar dan asam nitrat sebagai oksidator. Namun, penggunaan propelan ini memunculkan beberapa permasalahan yang berkaitan dengan sifat asam dari asam nitrat yang korosif dan dapat menyebabkan gangguan kesehatan dan efek pada lingkungan. Untuk mencegah terjadinya hal-hal yang tidak diinginkan, khususnya pada saat uji statik dan uji terbang, maka dilakukan peninjauan terhadap aspek keselamatan pada saat uji statik roket yang menggunakan propelan asam nitrat dan kerosen.

Percobaan dilakukan pada fasilitas uji statik yang berada pada ruang terbuka dengan menggunakan laju alir kerosen 0,324 L/s dan 1,102 L/s. Laju alir asam nitrat sebesar 0,68 L/s dan 2,27 L/s. Tekanan ruang bakar diatur sebesar 30 atm. Pada saat pembakaran terjadi, temperatur ruang bakar diperkirakan mencapai 2994° K. Waktu pembakaran selama 8 detik. Gaya dorong yang dihasilkan diharapkan mencapai 300kgf dan 1000 kgf.

Aspek-aspek yang akan ditinjau meliputi pengaruh yang mungkin timbul apabila terjadi kegagalan uji coba, baik kegagalan penyalaan mula, kegagalan karena kesalahan struktur, kegagalan karena terjadinya ledakan, maupun kegagalan kesalahan manusia. Selain itu juga ditinjau perancangan susunan alat untuk mengurangi resiko paparan zat berbahaya, dan pemilihan material untuk meminimalkan kebocoran akibat korosi asam nitrat.

2 TINJAUAN SIFAT-SIFAT HNO₃ DAN KEROSEN

2.1 MSDS (*Material Safety Data Sheets*) Asam Nitrat

Asam nitrat (HNO₃) merupakan salah satu asam kuat yang dapat digunakan sebagai oksidator roket cair. Sifat-sifat fisik dan kimia dari bahan HNO₃ dapat dilihat pada Tabel 2-1:

Tabel 2-1: SIFAT-SIFAT FISIK DAN KIMIA BAHAN ASAM NITRAT

Tampilan	Jernih tidak berwarna sampai kuning pucat
Bau	Berbau kuat
Kelarutan	Larut dalam air
PH	1.0
Titik didih (°C)	72
Titik leleh (°C)	42
Tekanan uap (mmHg)	6.8

Berdasarkan data MSDS, asam nitrat berpotensi menyebabkan gangguan kesehatan. Beberapa gangguan kesehatan yang teridentifikasi antara lain:

- Mata terbakar parah dan bisa menyebabkan kerusakan permanen pada mata,
- Iritasi parah pada kulit dan bisa menyebabkan kerusakan jaringan kulit,
- Apabila tertelan, akan menyebabkan gangguan saluran pencernaan parah. Juga bisa menyebabkan perforasi dari saluran pencernaan,
- Bila terhirup, bisa menyebabkan kematian. Efeknya mungkin terasa setelah beberapa saat,
- Iritasi pada saluran pernapasan dengan sakit seperti terbakar di hidung dan tenggorokan, batuk, pernapasan pendek, dan edema paru-paru,
- Bila sering terhirup, bisa menyebabkan bronkhitis kronis. Paparan yang sering, dapat menyebabkan kerusakan gigi.

Batasan paparan asam nitrat menurut beberapa standar dapat dilihat pada Tabel 2-2. Asam nitrat diidentifikasi menyebabkan gangguan biokimia dan metabolisme pada tikus. Dosis maksimum yang dapat diterima oleh tikus adalah *Toxic Dose Low* (TDLo) = 2345 mg/kg. Terhadap lingkungan, ditengarai bahwa zat ini mempengaruhi *mosquito fish Threshold Limit median* (TLm) = 72 ppm/96H fresh water) dan *Cockle Lethal Dose* (LD50) = 330-1000 ppm/48H salt water). Sejauh ini, asam nitrat tidak diidentifikasi sebagai penyebab kanker oleh *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH), *IARC*, *National Institute of Occupational Safety and Health* (NIOSH), *National Toxicology Program* (NTP), ataupun (*Occupational Safety and Health Administration*) OSHA.

Tabel 2-2: BATASAN PAPARAN ASAM NITRAT

Nama bahan	ACGIH	NIOSH	OSHA-Final PELs	OSHA-Vacated PELs
Asam Nitrat	2 ppm; 5.2 mg/m ³ ; 4 ppm STEL; 10 mg/m ³ STEL	2 ppm TWA; 5 mg/m ³ TWA 25 ppm IDLH	2 ppm TWA; 5 mg/m ³ TWA	2 ppm TWA; 5 mg/m ³ TWA

Keterangan : *Short Term Exposure Limit (STEL)*; *Time Weighted Average (TWA)*; *Immediately Dangerous to Life and Health (IDLH)*

Berdasarkan *National Fire Protection Agency (NFPA)*, asam nitrat akan bereaksi terhadap lebih dari 150 bahan, serta dapat menghasilkan ledakan apabila bereaksi dengan bahan organik dan bahan yang mudah terbakar. Asam nitrat terdekomposisi ketika kontak dengan udara, cahaya, maupun bahan organik. Salah satu hasil dekomposisinya yang berbahaya adalah nitrogen oksida.

2.2 MSDS Kerosen

Kerosen banyak digunakan sebagai bahan bakar yang sifat-sifat fisik dan kimianya dapat dilihat pada Tabel 2-3:

Tabel 2-3: SIFAT-SIFAT FISIK DAN KIMIA BAHAN KEROSEN

Tampilan	Kuning pucat atau putih air
Bau	Tidak berbau
Kelarutan	Tidak larut dalam air
Titik didih (°C)	175 - 325
Kerapatan uap	4,5 (udara =1)
Tekanan uap (mmHg)	1 (pada 20°C)
Titik flash (°C)	38
Autoignition (°C)	210
Batas terbakar (%-v)	0,7 - 5

Berdasarkan data MSDS, gangguan kesehatan yang teridentifikasi antara lain:

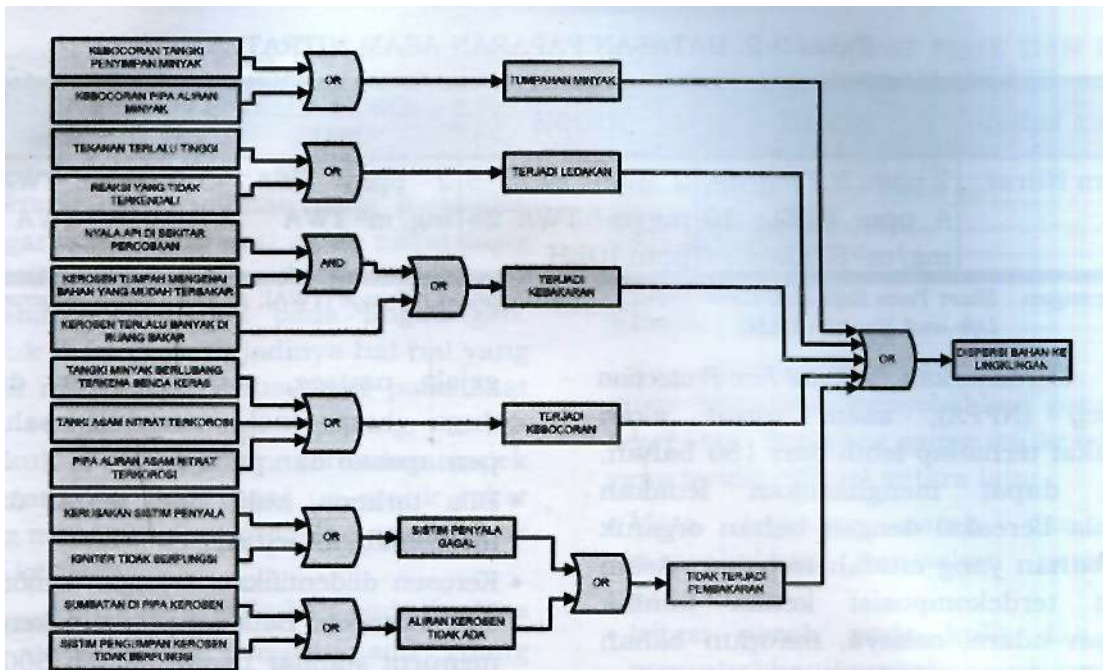
- Bila terhirup, akan menyebabkan iritasi saluran pernapasan. Gejalanya berupa batuk, pusing, rasa terbakar di dada, dan koma,
- Bila tertelan dapat menyebabkan iritasi pada saluran pencernaan dengan

gejala mual, muntah, dan diare. Juga berpotensi merusak saluran pernapasan dan paru-paru,

- Bila terkena kulit dan mata, dapat menyebabkan iritasi,
- Kerosen diidentifikasi sebagai tumorigen dan mutagen. Batasan paparan kerosen menurut standar Draize adalah 500 mg (*Skin, rabbit, severe*) dan >500 mg/kg (*Oral rat LD50*). Kerosen stabil dalam kondisi umum penyimpanan dan penggunaan. Bila terbakar, kerosen menghasilkan karbon dioksida dan karbon monoksida yang dapat mencemari dan membahayakan lingkungan. Kerosen mudah terbakar dan tidak stabil bila bercampur dengan oksidator kuat.

3 ANALISIS POHON KEGAGALAN [FAULT TREE ANALYSIS]

Kegagalan percobaan dapat mengakibatkan lepasnya kerosen dan asam nitrat ke lingkungan. Secara garis besar, pohon kegagalan dapat dilihat pada Gambar 3-1. Beberapa kejadian yang mungkin menyebabkan lepasnya zat ke lingkungan adalah ledakan akibat proses pembakaran yang tidak terkontrol, kegagalan sistem penyalan, kebocoran alat, dan kebakaran. Analisis pohon kegagalan dilakukan untuk mengantisipasi lepasnya zat berbahaya ke lingkungan dan kerusakan yang mungkin ditimbulkan. Zat yang terdispersi ke lingkungan dapat berupa uap maupun cairan. Analisis sebaran dilakukan untuk mengetahui luas daerah yang terpengaruh oleh adanya dispersi tersebut.



Gambar 3-1: Pohon kegagalan percobaan roket cair

4 ANALISIS SEBARAN

Zat yang lepas akan menyebar ke lingkungan. Apabila zat tersebut berfasa gas, pencampuran dengan udara akan menurunkan konsentrasinya sampai ambang batas yang dapat ditoleransi. Ambang batas kerosen dan asam nitrat dapat dilihat pada pembahasan MSDS sebelumnya. Jarak dan waktu yang diperlukan sampai tercapainya ambang batas tersebut merupakan batas aman. Dengan menghitung keduanya, daerah paparan gas dapat ditentukan sehingga pengamanan dapat dilakukan dengan efektif.

Apabila zat yang lepas berwujud cair, genangan akan terjadi di sekitar tempat percobaan dan akan menguap sehingga dapat menyebabkan atmosfer terkontaminasi zat berbahaya. Tekanan yang tinggi dapat menyebabkan sebaran genangan cairan yang luas.

Analisis dispersi dilakukan dengan mempertimbangkan kejadian berikut:

- Kerosen tidak terbakar sempurna. Dalam kasus ini, gas yang terdispersi terdiri dari campuran kerosen, asam nitrat, karbon dioksida, karbon monoksida, dan nitrogen oksida,
- Kerosen dan asam nitrat tidak bereaksi dan lepas ke udara dalam bentuk uap, berupa butiran-butiran halus,

- Kerosen terbakar sempurna. Hasil pembakaran diasumsikan berupa campuran asam nitrat, karbon dioksida, dan nitrogen oksida,
- Ledakan akibat reaksi tidak terkendali dari kerosen dan asam nitrat. Besarnya kekuatan ledakan dihitung dalam ekuivalen TNT, dengan asumsi seluruh kerosen bereaksi,
- Genangan kerosen dan asam nitrat cair di sekitar lokasi percobaan.

Perhitungan sebaran gas dilakukan berdasarkan persamaan dari *Center for Chemical Process Safety-Chemical Process Quantitative Risk Analysis (CCPS-CPQRA)* dengan asumsi kelas stabilitas F dan kecepatan angin 2 m/s. Ambang batas konsentrasi asam nitrat yang dinyatakan sebagai batas aman adalah 2 ppm. Asam nitrat pada konsentrasi 50 ppm, dimana alat perlindungan khusus diperlukan, juga digambarkan dalam isopleth. Batas konsentrasi kerosen yang digunakan adalah 0,7% *Lower Flammability Limit (LFL)* sampai dengan 5%-volum *Upper Flammability Limit (UFL)*. Daerah di antara LFL dan UFL merupakan daerah mudah terbakar. Tinggi lokasi nosel roket diasumsikan 1 m dari permukaan tanah. Perhitungan dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi terburuk. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut.

$$\langle C \rangle(x, y, z) = \frac{G}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \times \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (4-1)$$

Keterangan:

$\langle C \rangle(x, y, z)$ = konsentrasi rata-rata

G = laju pelepasan

$\sigma_x \sigma_y \sigma_z$ = koefisien dispersi pada arah x, y, dan z

u = kecepatan angin

y = arah tegak lurus arah angin

z = jarak di atas permukaan tanah

H = tinggi sumber keluaran di atas permukaan tanah plus kenaikan plume

Lokasi konsentrasi maksimum dihitung dengan persamaan berikut:

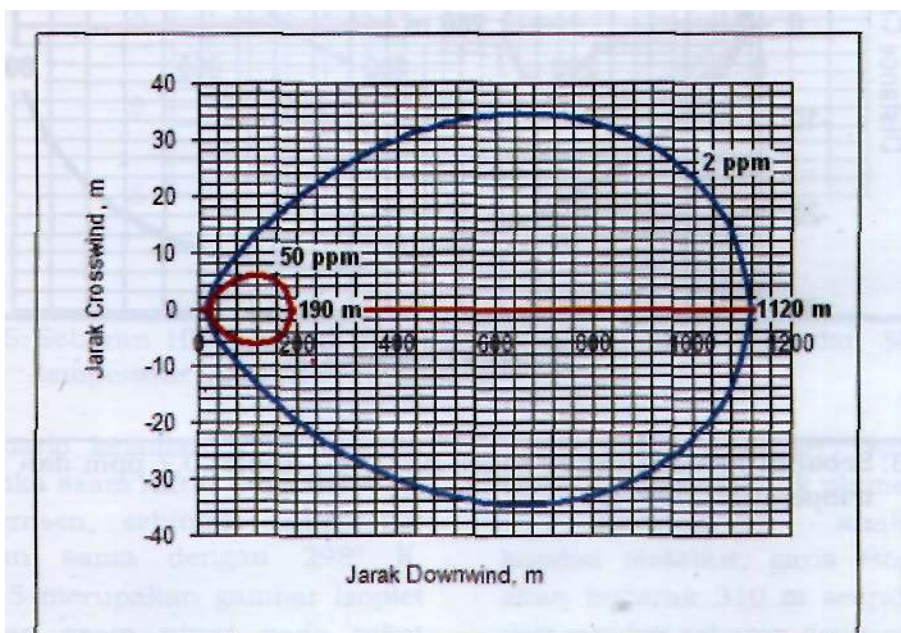
$$\sigma_z = \frac{H}{\sqrt{2}} \quad (4-2)$$

$$\langle C \rangle_{\max} = \frac{2G}{e\pi u H^2} \left(\frac{\sigma_z}{\sigma_y}\right) \quad (4-3)$$

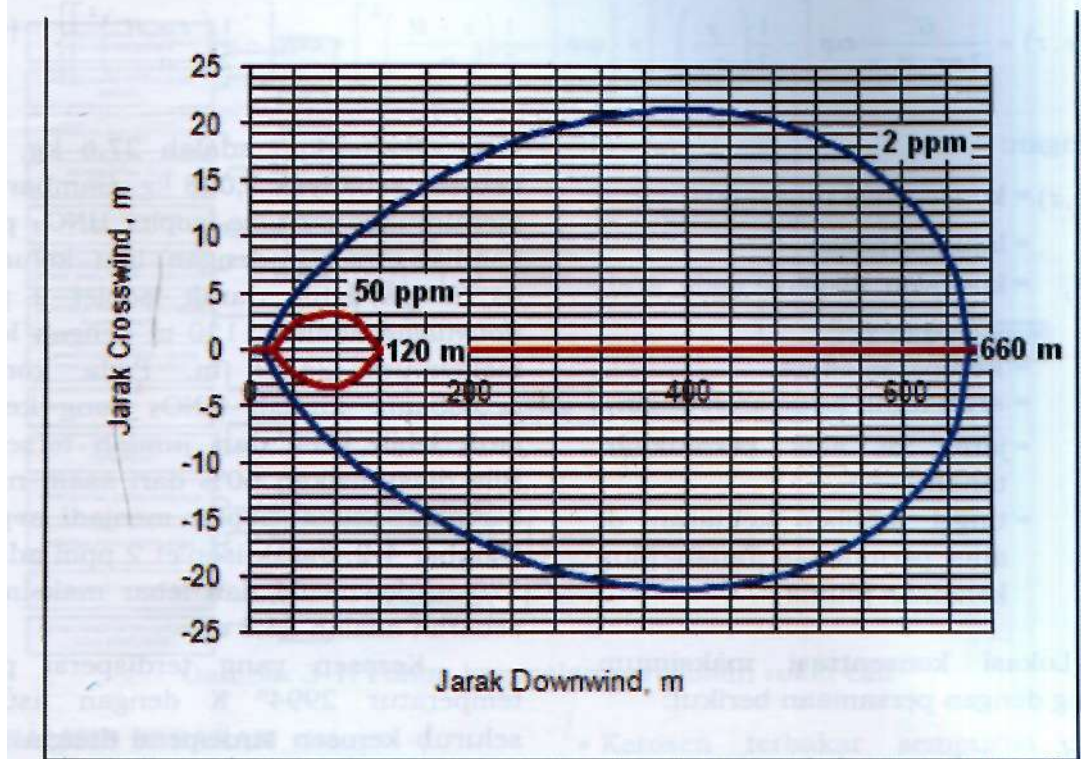
Skenario kejadian a dan c merupakan kondisi ketika Asam Nitrat bereaksi dengan Kerosen. Dalam skenario tersebut, campuran uap Asam Nitrat dan Kerosen pada tekanan 30 atm dan temperatur bakar mendekati 2994° K keluar dari nosel roket. Dengan waktu pembakaran 8 detik, uap asam nitrat

yang dikeluarkan adalah 27,6 kg, dan kerosen sebanyak 7,048 kg. Gambar 4-1 menunjukkan plume isoplet HNO₃ pada kondisi tersebut dengan laju keluaran 54,76 gm/detik. Jarak isoplet 2 ppm *downwind* adalah 1120 m dengan lebar maksimum 34,59 m. Pada kondisi percobaan, jumlah HNO₃ yang keluar jauh lebih kecil dari jumlah tersebut. Bila diasumsikan 60% dari asam nitrat bereaksi, maka isoplet menjadi seperti Gambar 4-2. Jarak isoplet 2 ppm adalah 570 m *downwind* dan lebar maksimum sebaran adalah 26,3 m.

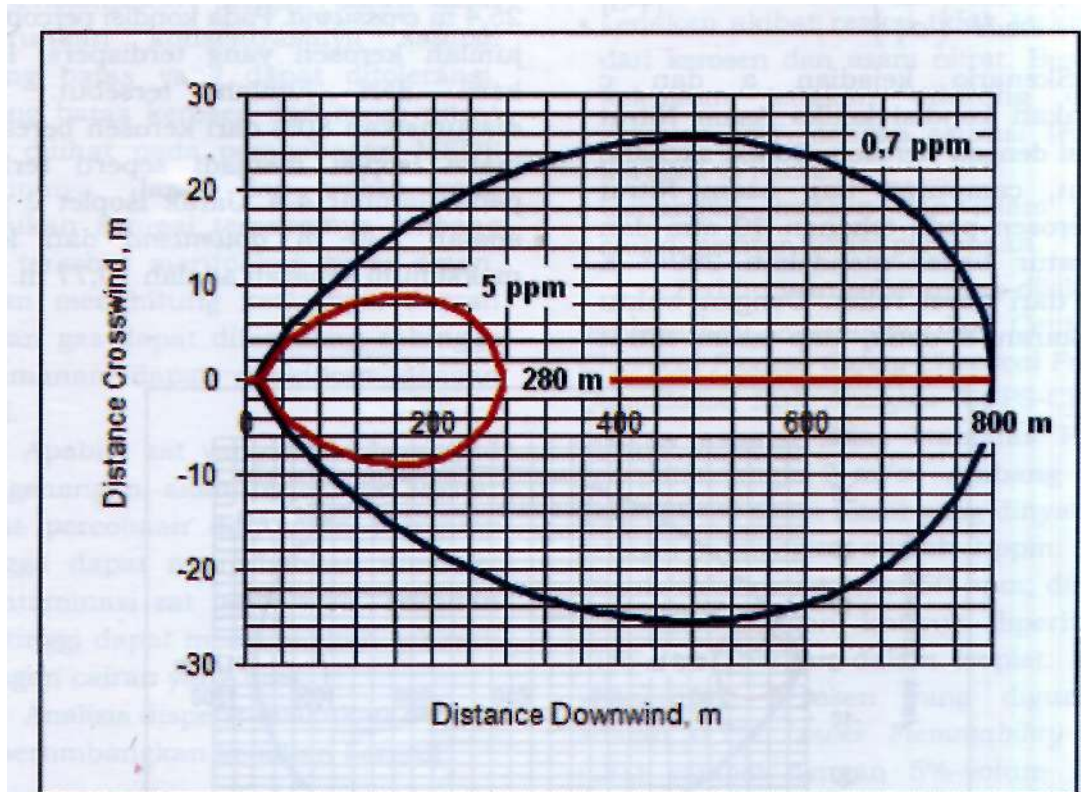
Kerosen yang terdispersi pada temperatur 2994° K dengan asumsi seluruh kerosen terdispersi dengan laju keluaran 24,29 gm/detik dapat dilihat pada gambar 4-3. Daerah sebarannya mencapai 800 m *downwind* dan lebar 25,4 m *crosswind*. Pada kondisi percobaan, jumlah kerosen yang terdispersi lebih kecil dari jumlah tersebut. Bila diasumsikan 80% dari kerosen bereaksi, maka isoplet menjadi seperti terlihat pada Gambar 4-4. Jarak isoplet 2 ppm adalah 330 m *downwind* dan lebar maksimum sebaran adalah 10,77 m.



Gambar 4-1: Sebaran HNO₃ untuk roket 1000 kgf, isoplet 2 ppm dan 50 ppm pada temperatur 2994° K



Gambar 4-2: Sebaran HNO₃ untuk roket 1000 kgf, isoplet 2 ppm dan 30 ppm pada temperatur 2994° K, 60% asam nitrat bereaksi



Gambar 4-3: Sebaran kerosen untuk roket 1000 kgf, isoplet 0,7 ppm dan 5 ppm pada temperatur 2994° K

Radius tersebut berdasarkan sebaran di permukaan tanah. Sedangkan daerah sebaran asam nitrat dengan kadar 30 ppm adalah 60 m *downwind*. Dalam radius tersebut, personel yang menangani percobaan diharuskan memakai perlindungan khusus.

Sebaran kerosen dapat dilihat pada Gambar 4-6 dengan isoplet LFL dan UFL dari kerosen. Jarak batas UFL dari sumber dispersi sesuai dengan hasil hitungan adalah 70 m dan LFL sejauh 230 m. Daerah di antara kedua jarak tersebut merupakan daerah yang dapat terbakar sehingga harus dihindarkan dari sumber api ataupun percikan.

Skenario d memperhitungkan ledakan yang disebabkan oleh *Vapor Cloud Explosion*. (VCE) dapat terjadi apabila cairan yang mudah terbakar maupun gas terlepas dengan cepat ke lingkungan yang mengandung oksigen dan menyala pada konsentrasi di atas

batas bawah penyalaan LFL. VCE terjadi apabila memenuhi kondisi berikut:

- Bahan yang terdispersi mudah terbakar,
- Awan uap yang terbentuk memiliki ukuran yang cukup,
- Penyalaan terjadi 1 sampai dengan 5 menit setelah terbentuk awan tersebut.

Besarnya kekuatan ledakan dihitung menggunakan metode ekuivalen TNT, dengan asumsi seluruh kerosen bereaksi. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$W = \frac{\eta M E_c}{E_{TNT}} \tag{4-4}$$

Keterangan :

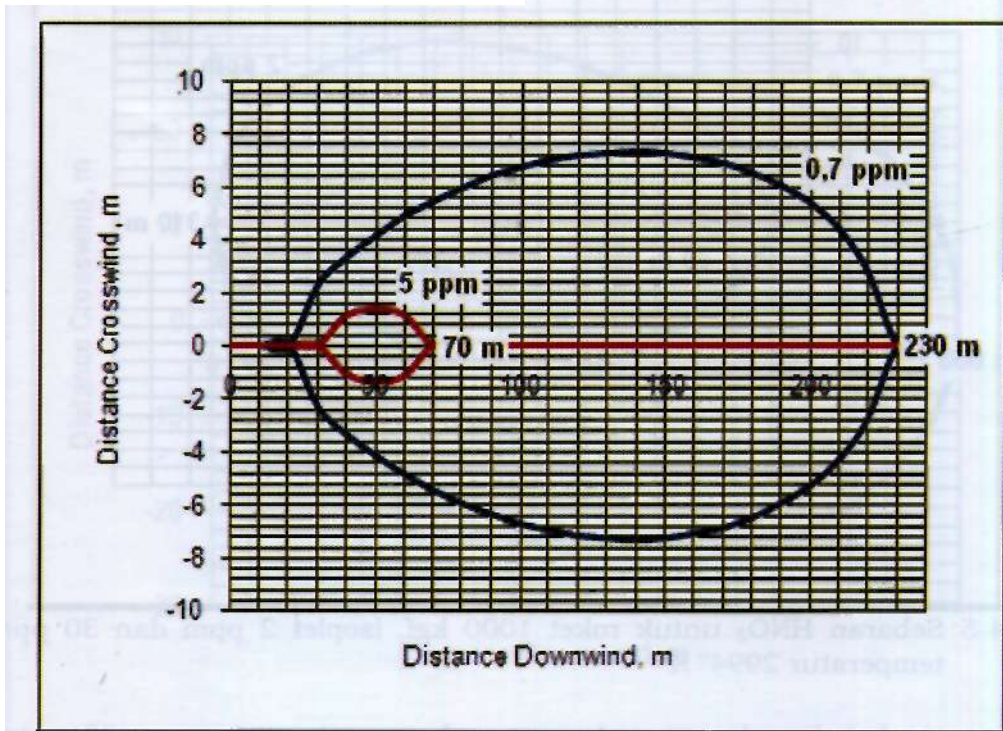
W = massa ekuivalen TNT

η = efisiensi ledakan empiris

M = massa fluida

E_c = panas pembakaran gas

E_{TNT} = panas pembakaran TNT (4765 kJ/kg)



Gambar 4-6: Sebaran kerosen untuk roket 1000 kgf, isoplet 0,7 ppm dan 5 ppm pada temperatur 2994° K

Besarnya kekuatan ledakan dihitung menggunakan metode ekuivalen TNT, dengan asumsi seluruh kerosen bereaksi. Dengan menggunakan data

panas pembakaran TNT sebesar 4437 kJ/kg dan panas pembakaran kerosen sebesar 4325 kJ/kg, massa kerosen sebesar 0,881 kg/detik x 8 detik = 7,048 kg,

serta tetapan efisiensi ledakan sebesar 20%, ledakan yang dapat terjadi setara dengan 1,37 kg TNT.

Skenario e memperhitungkan genangan yang terjadi apabila terjadi kebocoran, baik di tangki penampung maupun di roket. Volume maksimum yang keluar adalah volume asam nitrat dan kerosen sebanyak $(18,19 + 8,82) = 27,01$ L dalam waktu 8 detik. Bila dihitung rata-ratanya, laju alir keluar cairan menjadi 3,38 L/detik.

Untuk menghitung sebaran cairan yang keluar, digunakan metode pool spread model Wu dan Schory sebagai berikut:

$$r = \left[\frac{t^3}{C^3 \pi^2 / 6g} \times \frac{\rho Q_{AF}^2}{\mu} \times \cos \beta \sin \beta \right]^{1/5} \quad (4-5)$$

Keterangan:

- r = radius sebaran
- t = waktu kebocoran
- C = konstanta berdasarkan data eksperimen
- g = percepatan gravitasi
- Q_{AF} = laju volum tumpahan
- μ = viskositas cairan
- β = sudut kebocoran terhadap arah tegak lurus

Berdasarkan perhitungan menggunakan metode tersebut, cairan diperkirakan akan menyebar dalam diameter 6,38 m.

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan di atas, radius daerah yang terpengaruh oleh sebaran gas adalah 400 m. Di luar radius tersebut, daerah penyangga dibutuhkan untuk mengantisipasi kejadian luar biasa. Dari analisis sebaran, radius 1 km dianggap memadai untuk menjadi daerah penyangga.

5 ANALISIS KOROSI ASAM NITRAT

Asam nitrat bersifat sangat korosif. Pada konsentrasi tinggi (lebih dari 90%), baja karbon dapat digunakan untuk menyimpan asam nitrat ini. Proses

pembakaran yang menggunakan tekanan tinggi dan menimbulkan temperatur tinggi dapat meningkatkan laju korosi. Baja karbon mungkin tidak dapat digunakan pada kondisi tersebut. Pemilihan material yang tepat diperlukan, terutama untuk material ruang bakar. Alumunium dan baja karbon kemungkinan dapat digunakan untuk bahan dinding roket karena waktu penggunaannya yang singkat.

6 ANALISIS DAMPAK PAPARAN TERHADAP MANUSIA DAN LINGKUNGAN

Dampak paparan dari kerosen dan asam nitrat terhadap manusia dan lingkungan penting untuk dilakukan. Penanggulangan dan pencegahan terhadap dampak tersebut menjadi fokus dari bab ini.

Berdasarkan data MSDS, asam nitrat bersifat tidak stabil ketika terpapar oleh udara dan panas. Selain asam nitrat itu sendiri, hasil dekomposisi yang berbahaya adalah nitrogen oksida.

Dampak ledakan VCE pada jarak tertentu, berdasarkan jumlah ekuivalen TNT 1,37 kg, dapat dilihat pada Tabel 6-1. Dengan mengasumsikan ledakan terjadi di nosel roket, jarak aman untuk ledakan akibat adanya awan kerosen ini diperkirakan sejauh 49,2 m dari lokasi percobaan roket.

Gas beracun yang mungkin dihasilkan dalam percobaan ini, selain uap asam nitrat, adalah nitrogen oksida. Di udara, nitrogen oksida akan bereaksi membentuk nitrogen dioksida. Menurut OSHA, PEL untuk nitrogen oksida (NO) ini sebesar 25 ppm. ACGIH menetapkan TLV/TWA untuk NO sebesar 25 ppm juga. Dengan menggunakan asumsi kecepatan angin 2 m/s, daerah isopleth 25 ppm adalah 180 m downwind dengan lebar 5,57 m. Awan dengan konsentrasi NO sebesar 25 ppm tersebut akan bergerak dan terdispersi ke udara. Waktu yang diperlukan untuk melewati jarak 400 m adalah 17 detik.

Tabel 6-1: PERKIRAAN DAMPAK VCE

Jarak (m)	Tekanan (kPa)	Dampak
6	37,8	Kerusakan total pada bangunan
40	2,74	Kerusakan minor pada bangunan
49,2	2,07	"Jarak aman" dengan kemungkinan 95% tidak terjadi kerusakan

7 ASPEK KESELAMATAN DALAM PROSEDUR PERCOBAAN

Dengan memperhatikan hasil analisis, percobaan pengujian roket berbahan bakar cair menggunakan kerosen dan asam nitrat perlu dilakukan dengan memperhatikan hal-hal berikut:

7.1 Prosedur Percobaan

Personel yang terlibat dalam penyiapan roket berbahan bakar cair ini harus melengkapi dirinya dengan alat pelindung diri. Perlengkapan yang dibutuhkan adalah kacamata dan goggles (untuk melindungi mata), gloves anti asam, sepatu, apron (untuk melindungi kulit), serta respirator penyerap asam (untuk melindungi pernapasan). Pada daerah dengan konsentrasi asam nitrat 50-100 ppm, diperlukan respirator dengan aliran udara atau SCBA [*Self Containing Breathing*). Konsentrasi asam nitrat yang tinggi tersebut dapat menyebar sampai radius 120 m dari lokasi percobaan. Oleh karena itu, setiap memasuki daerah ini, goggle wajib dikenakan.

Percobaan yang dilakukan secara beruntun memerlukan jeda waktu sampai kondisi di sekitar percobaan cukup aman untuk dimasuki. Jangan memasuki area percobaan ketika masih terlihat asap berwarna kecoklatan. Berdasarkan perhitungan sebaran, waktu yang dibutuhkan sampai tercapai konsentrasi ambang yang tidak membahayakan adalah minimal 20 detik setelah roket berhenti beroperasi. Untuk lebih jelasnya, daerah percobaan perlu dibagi-bagi dalam zona percobaan.

Pembagian Zona Percobaan dapat dilihat pada Gambar 7-1. Zona Percobaan dibagi menjadi 5 berdasarkan tingkat risikonya. Zona ini didasarkan pada kondisi ketika percobaan berlangsung. Penjelasan dari masing-masing zona adalah sebagai berikut.

Zonal

Daerah dalam radius 3 m dari tempat percobaan ini merupakan daerah berbahaya. Cairan asam nitrat dan kerosen menyebar di Zona I, terutama bila terjadi kebocoran. Untuk beraktivitas dalam zona ini ketika percobaan berlangsung, alat perlindungan yang memadai sangat dibutuhkan. Masker gas, goggle, sarung tangan, sepatu, dan baju khusus disarankan untuk dipakai bila memasuki zona ini.

Zona II

Daerah dalam radius 3 m sampai dengan 40 m adalah daerah yang terpengaruh oleh gas-gas berbahaya. Kemungkinan terkena uap asam nitrat masih sangat besar. Oleh karena itu, alat perlindungan terutama goggle dan masker diperlukan untuk memasuki zona ini.

Zona III

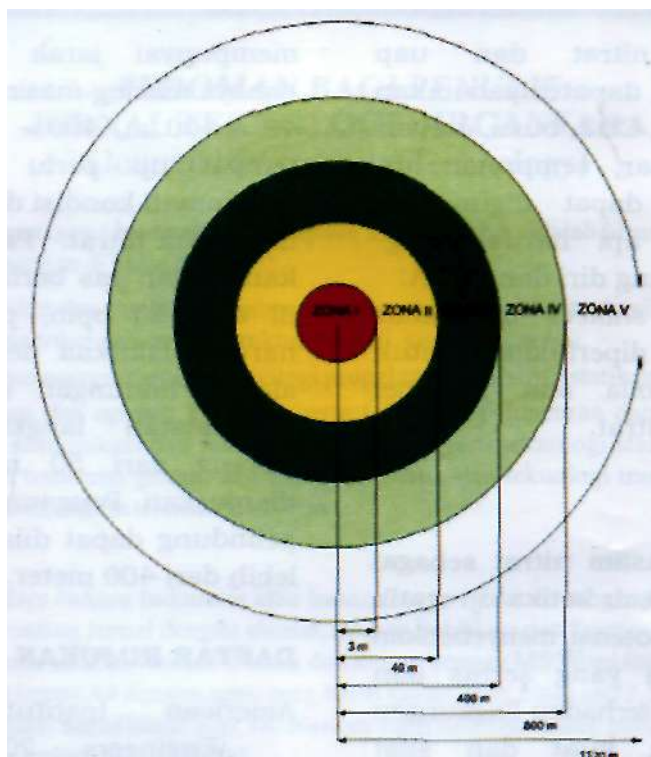
Daerah dalam radius 40 m sampai dengan 400 m adalah daerah rawan terbakar. Kerawanan tersebut disebabkan oleh konsentrasi kerosen yang berada di antara LFL dan UFL-nya. Sebagian daerah ini juga terkena sebaran uap dan gas dalam konsentrasi yang masih membahayakan. Pada jarak 50 m dari lokasi percobaan, pengamatan langsung oleh personel harus dilakukan dengan perlindungan bangunan. Pengamatan langsung pada jarak kurang dari 50 m sangat tidak disarankan.

Zona IV

Daerah dalam radius 400 m sampai dengan 800 m adalah daerah sebaran uap asam nitrat dalam ambang batas. Pengamatan langsung oleh personel tanpa perlindungan dapat dilakukan pada jarak ini.

Zona V

Daerah ini merupakan daerah penyangga dan berada pada radius 800 m sampai dengan 1120 m dari pusat percobaan roket.



Gambar 7-1: Pembagian zona percobaan

7.2 Pengamanan Tempat Percobaan

Tempat percobaan bisa dirancang dengan ventilasi dan kipas penyedot untuk menghindari terkumpulnya uap berbahaya melebihi konsentrasi ambang. Air dapat digunakan untuk menyemprot uap asam nitrat maupun untuk mendinginkannya. Diusulkan untuk memasang penyemprot air di sekitar lokasi dispersi uap asam.

Untuk menghindari terjadinya kebakaran, jauhkan bahan yang mudah terbakar, bahan yang inkompatibel, zat organik (kayu, terpentin, kertas, selulosa), logam, plastik, dan karet. Peralatan pemadam kebakaran perlu disediakan dekat dengan lokasi percobaan.

Sebagai antisipasi terhadap genangan yang mengandung asam nitrat, tempat percobaan sebaiknya dilapisi dengan semen. Air dan Ca(OH)_2 atau NaHCO_3 perlu disediakan untuk menetralkan genangan asam sebelum dipindahkan dari lokasi percobaan.

Penyimpanan asam juga perlu diperhatikan. Asam nitrat bisa disimpan dalam wadah gelas, aluminium, dan baja dalam gudang berlantai semen, dingin, dan berventilasi. Bahan tersebut

harus dihindarkan dari sumber panas dan bahan yang tidak kompatibel.

Uap kerosen dan asam nitrat tidak berwarna, sedangkan gas nitrogen oksida berwarna kecoklatan. Untuk mengantisipasi sebaran uap berbahaya, pemasangan windsock di area percobaan sangat disarankan. Dengan adanya alat tersebut, arah sebaran gas dapat diprediksi.

7.3 Evakuasi dan Tindakan Darurat

Tindakan darurat diperlukan apabila terjadi kegagalan dalam percobaan. Untuk mengantisipasi penyebaran gas berbahaya, kabut air dapat disemprotkan ke daerah sebaran gas. Evakuasi orang dari daerah sebaran dilakukan ke arah datangnya angin.

Penanganan genangan yang mengandung asam nitrat dapat dilakukan dengan menetralkannya menggunakan air, Ca(OH)_2 atau NaHCO_3 sebelum dibuang secara khusus. Perlu diingat bahwa asam nitrat akan mengeluarkan panas apabila bercampur dengan air. Kontak langsung dengan cairan harus dihindari.

Penanganan kebakaran dilakukan dengan mempertimbangkan adanya

genangan asam nitrat dan uap berbahaya. Api kecil dapat dipadamkan dengan bubuk kimia, CO₂, busa, dan air. Bila api sudah besar, semprotan air, kabut, dan busa dapat digunakan. Personel pemadam api harus menggunakan alat pelindung diri dan SCBA.

Pemasangan *shower* di sekitar lokasi percobaan diperlukan untuk mengantisipasi apabila ada personel yang terkena asam nitrat.

8 KESIMPULAN

Penggunaan asam nitrat sebagai propelan pada roket cair ketika uji statik atau uji terbang berpotensi menyebabkan gangguan kesehatan yang serius dan memberikan dampak terhadap lingkungan karena sifat asam kuat dan sifat korosifnya, sehingga pengujian roket cair jenis ini harus mempertimbangkan aspek keselamatan. Pasangan asam nitrat dan kerosen dalam reaksi pembakarannya akan menghasilkan beberapa gas berbahaya di antaranya nitrogen oksida (NO_x) dan uap asam nitrat itu sendiri.

Uji statik di ruang terbuka untuk roket cair berpropelan asam nitrat dan kerosen dengan tekanan ruang bakar 30 atm dan gaya dorong 1000 kgf, pada kondisi kecepatan aliran udara 2 m/detik, dengan mempertimbangkan kondisi yang terburuk, daerah pengujian dibagi menjadi 5 zona dengan tingkat keamanan dan prosedur masing-masing dan

mempunyai jarak dari yang paling bahaya masing-masing, 0 - 3 m, 3 - 40 m, 40 - 400 m, 400 - 1120 m. Akses ke tempat uji perlu dilakukan setelah mengamati kondisi dispersi gas Nox atau uap asam nitrat. Pada kondisi di mana kandungan gas berbahaya masih tinggi, di atas 50 ppm, perlindungan badan harus dilakukan dengan menggunakan alat perlindungan untuk asam nitrat. Pengamatan langsung pada radius kurang dari 50 meter sangat tidak dianjurkan. Pengamatan langsung tanpa pelindung dapat dilakukan pada radius lebih dari 400 meter.

DAFTAR RUJUKAN

- American Institute of Chemical Engineers, 2000. *Guideline for Chemical Process Quantitative Risk Analysis. 2nd Ed.* New York: Center for Chemical Process Safety.
- Davletshina, Tatyana A. & Nicholas P. Cheremisinoff, 1998. *Fire and Explosion Hazards Handbook of Industrial Chemicals.* New Jersey: Noyes Publications.
- Material Corrosion Handbook.
- Material Safety Data Sheet.
- National Fire Protection Agency Standard.
- Sanders, Roy E., 2005. *Chemical Process Safety: Learning from Case Histories. 3rd Ed.* Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.