

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kebakaran

Kebakaran adalah suatu kejadian yang tidak diinginkan dan kadang kala tidak dapat dikendalikan, sebagai hasil pembakaran suatu bahan dalam udara dan mengeluarkan energi panas dan nyala (api) (Nevded, 1991a). Api (kebakaran) adalah reaksi kimia yang melibatkan terjadinya reaksi oksidasi bahan bakar secara cepat dan bersifat eksotermis (Center for Chemical Process Safety, 2003, Davletshina and Cheremisinoff, 1998, Colling, 1990).

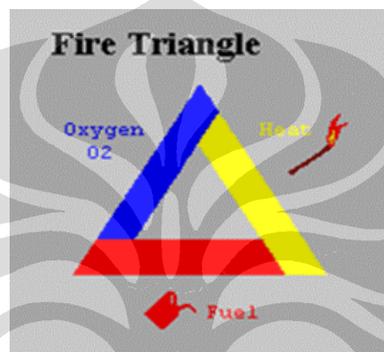
##### 2.1.1 Teori api

Terdapat tiga teori dasar yang digunakan untuk menjelaskan reaksi kebakaran. Teori-teori tersebut adalah *Fire Triangle*, *Tetrahedron of Fire* dan *Life Cycle of Fire*. Dari ketiga teori tersebut, *fire triangle* merupakan teori yang pertama dan paling dikenal. Sedangkan teori kedua yaitu *Tetrahedron of Fire* memberikan penjelasan secara terperinci mengenai konsep kimia dari kebakaran, dan *Life Cycle of Fire* memberikan penjelasan yang terperinci dari *Fire Triangle* (Davlestshina and Cheremisinoff, 1998).

##### 2.1.1.1 *Fire triangle*

Kebakaran dapat terjadi jika panas kontak dengan *combustible material*. Jika *combustible material* berbentuk padatan atau cairan, maka *combustible material* tersebut harus dipanaskan agar dapat membebaskan *vapor* yang cukup dan membentuk campuran yang dapat terbakar dengan oksigen di udara. Jika campuran *flammable* dipanaskan hingga *ignition point (ignited)*, maka pembakaran akan terjadi. Tiga kondisi dasar yang diperlukan untuk terjadinya kebakaran adalah bahan bakar (*fuel*), oksigen, dan panas (Center for Chemical Safety, 2003).

Tiga komponen tersebut diibaratkan seperti tiga sisi dari sebuah segitiga, setiap sisi harus saling menyentuh satu sama lain untuk membentuk segitiga. Jika salah satu sisi tidak menyentuh sisi lainnya, maka tidak akan membentuk segitiga. Tanpa adanya bahan bakar untuk dibakar maka kebakaran tidak akan terjadi. Begitu pula jika tidak ada oksigen atau panas yang cukup maka kebakaran tidak akan terjadi. Berikut ini adalah gambar dari *fire triangle* atau segitiga api (Center for Chemical Process Safety, 2003, Davletshina and Cheremisinoff,1988, Nedved,1991a).



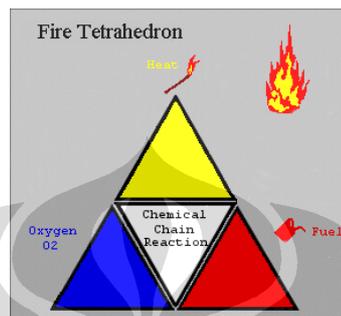
**Gambar 2.1. Fire Triangle**

Sumber : ([www.pfint.org](http://www.pfint.org))

#### 2.1.1.2 *Tetrahedron of fire*

Teori ini mencakup tiga komponen yang ada pada *fire triangle* tetapi ditambahkan sisi keempat yaitu rantai reaksi pembakaran (*chain reaction of burning*). Teori ini menyatakan bahwa ketika energi diterapkan pada bahan bakar seperti hidrokarbon, beberapa ikatan karbon dengan karbon terputus dan menghasilkan radikal bebas. Sumber energi yang sama juga menyediakan kebutuhan energi untuk memutus beberapa rantai karbon dengan hidrogen sehingga menghasilkan radikal bebas lebih banyak. Selain itu, rantai oksigen dengan oksigen juga terputus dan menghasilkan radikal oksida. Jika jarak antara radikal bebas cukup dekat maka akan terjadi *recombining* radikal bebas dengan radikal bebas lainnya atau dengan kelompok fungsional yang tidak jauh. Pada proses pemutusan rantai, terjadi pelepasan energi yang tersimpan dalam rantai tersebut. Energi yang lepas menjadi sumber untuk memutuskan rantai yang lain

dan melepaskan lebih banyak energi lagi. Dengan demikian, kebakaran “memberi makan” sendiri dengan menciptakan atau melepaskan lebih banyak lagi energi (rantai reaksi). Proses tersebut baru akan berhenti jika bahan bakar telah habis terbakar, oksigen telah habis, energi diserap bukan oleh bahan bakar, atau rantai reaksi terputus (Davletshina and Cheremisinoff, 1988).



**Gambar 2.2. Tetrahedron of Fire**

Sumber : ([www.firesafe.org.uk](http://www.firesafe.org.uk))

### 2.1.1.3 *Life cycle of fire*

Teori ini menyatakan bahwa proses pembakaran terjadi dalam enam tahap. Tiga tahap pertama merupakan tiga komponen yang ada pada teori *fire triangle* (Davletshina and Cheremisinoff, 1988).

Tahap pertama dalam teori ini adalah masuknya panas (*input heat*), yaitu banyaknya panas yang diperlukan untuk menghasilkan uap dari padatan atau cairan, serta sebagai sumber penyalaan (*ignition source*). Panas yang masuk harus sesuai dengan temperature penyalaan (*ignition source*) bahan bakar.

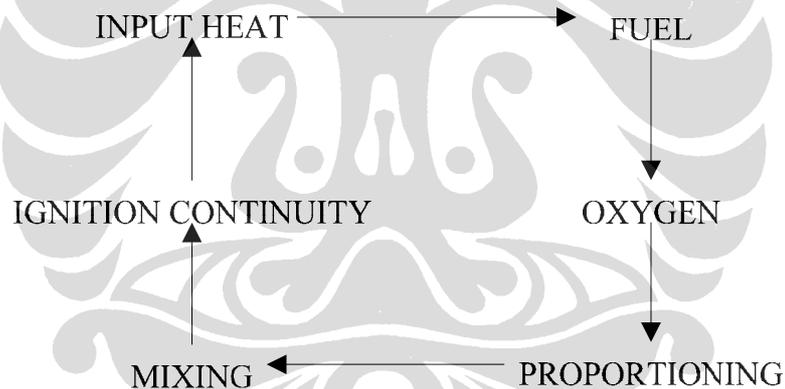
Tahap kedua adalah bahan bakar (*fuel*). Bahan bakar harus pada susunan yang sesuai untuk terbakar, dimana bahan bakar sudah menguap atau jika pada logam maka hampir seluruh potongan telah mencapai temperature yang sesuai untuk memulai pembakaran.

Tahap ketiga adalah oksigen. Teori ini masih menggunakan penjelasan klasik yaitu hanya menyangkut oksigen di atmosfer. Kelemahan teori ini adalah mengabaikan oksigen dan halogen yang dihasilkan oksidator.

Tahap keempat adalah *proportioning* atau peristiwa benturan antara oksigen dan molekul bahan bakar (persentuhan antara kaki oksidator dengan kaki bahan bakar pada *fire triangle*).

Tahap kelima adalah *mixing*, dimana rasio bahan bakar terhadap oksigen harus benar sebelum penyalaan terjadi (*flammable range*). Pencampuran yang sesuai setelah panas diterapkan pada bahan bakar akan menghasilkan uap yang dibutuhkan untuk pembakaran.

Tahap terakhir adalah *ignition continuity*. Dalam kebakaran, energi kimia diubah menjadi panas. Panas yang dipancarkan dari api kembali ke permukaan bahan bakar. Panas tersebut harus cukup untuk menjadi panas yang masuk (*input heat*) demi berkelanjutnya siklus kebakaran. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa bagian terakhir, *ignition continuity* merupakan langkah pertama untuk siklus kebakaran selanjutnya, yaitu masuknya panas (*input heat*).



**Gambar 2.3. Life Cycle of Fire**

Sumber : (Davlestshina and Cheremisinoff, 1998)

### 2.1.2 Flash Point

*Flash point* (titik nyala) adalah temperatur minimum yang dibutuhkan oleh cairan untuk membentuk *vapor* dalam udara yang cukup dan jika terignisi akan menyala. (National Fire Protection Association, 2008, Davlestshina and Cheremisinoff, 1998, Nolan, 1996).

Berikut ini adalah *flash point* dari beberapa material *Petroleum* (minyak) secara umum dalam kondisi normal:

**Tabel 2.1. *Flash point* Material Hidrokarbon**

<b>Material</b>	<b><i>Flash point</i></b>
Hidrogen	Gas
Methana	Gas
Propana	Gas
Ethana	Gas
Butana	-60 <sup>0</sup> C (-76 <sup>0</sup> F)
Pentana	< -40 <sup>0</sup> C (< -40 <sup>0</sup> )
Heksana	-22 <sup>0</sup> C (-7 <sup>0</sup> F)
Heptana	-4 <sup>0</sup> C (25 <sup>0</sup> F)

Sumber: (Nolan, 1996)

### 2.1.3 *Flammability Limit*

*Flammable range* dibagi menjadi dua parameter, yaitu *Lower Flammable Limit* (LFL) dan *Upper Flammable Limit* (UFL) atau biasa juga disebut *Lower Explosive Limit* (LEL) dan *Upper Explosive Limit* (UEL). *Lower flammability limit* adalah proporsi (jumlah) minimum bahan bakar diudara yang dapat mendukung terjadinya pembakaran. Sedangkan *upper flammabel limit* adalah konsentrasi maksimum bahan bakar di udara yang dapat mendukung terjadinya pembakaran. LFL/LEL bisa disebut dengan istilah “terlalu miskin” akan bahan bakar diudara untuk mendukung terjadinya pembakaran, dan UFL/UEL bisa disebut dengan istilah “terlalu kaya” akan bahan bakar diudara untuk mendukung terjadinya pembakaran. Maka diperlukan *range* komposisi bahan bakar diudara agar tidak terlalu miskin bahan bakar diudara atau tidak terlalu kaya bahan bakar diudara (Center for Chemical Process Safety, 2003).

Nilai *flammable limit* tidak absolut, karena bergantung kepada temperatur, tekanan, dan variabel lainnya. Peningkatan temperatur dapat memperluas *flammable range* dengan menurunkan LFL dan menaikkan UFL. *Flammability limit* bahan bakar pada oksigen, klorin, dan oksidator lainnya jauh lebih lebar dibandingkan pada udara (Center for Chemical Proses Safety, 2003).

Berikut ini adalah beberapa contoh material *Petroleum* dan *flammability limit* secara umum pada kondisi normal:

**Tabel 2.2. Flammability Limit Material Petroleum**

Material	% Range	Perbedaan
Hidrogen	4,0 – 75,6	71,6
Ethana	3,0 – 15,5	12,5
Methana	5,0 – 15,0	10,0
Propana	2,0 – 9,5	7,5
Butana	1,5 – 8,5	7,0
Pentana	1,4 – 8,0	6,6
Heksana	1,7 – 7,4	5,7
Heptana	1,1 – 6,7	5,6

Sumber: (Nolan, 1996)

#### 2.1.4 Klasifikasi *liquid*

Berdasarkan NFPA, terdapat beberapa klasifikasi untuk *liquid* kaitannya dengan risiko bahaya kebakaran, yaitu *flammable liquid* dan *combustible liquid*. *Flammable liquid* adalah cairan yang memiliki *flash point* dibawah 100<sup>0</sup> F (37,8<sup>0</sup> C) pada tekanan 40 psi (276 kPa), sedangkan *combustible liquid* adalah cairan yang memiliki *flash point* sama atau diatas 100<sup>0</sup> F (37,8<sup>0</sup> C).

Berikut ini merupakan klasifikasi untuk *flammable liquid* berdasarkan NFPA:

- Kelas IA : Cairan dengan *flash point* dibawah 73<sup>0</sup> F (22,8<sup>0</sup> C) dan memiliki boiling point dibawah 100<sup>0</sup> F (37,8<sup>0</sup> C)
- Kelas IB : Cairan dengan *flash point* dibawah 73<sup>0</sup> F (22,8<sup>0</sup> C) dan memiliki boiling point pada atau diatas 100<sup>0</sup> F (37,8<sup>0</sup> C)
- Kelas IC : Cairan dengan *flash point* pada atau diatas 73<sup>0</sup> F (22,8<sup>0</sup> C) namun masih dibawah 100<sup>0</sup> F (37,8<sup>0</sup> C)

Berikut ini merupakan klasifikasi untuk *combustible liquid* berdasarkan NFPA:

- Kelas II : Cairan dengan *flash point* pada atau diatas 100<sup>0</sup> F (22,8<sup>0</sup> C) dan dibawah 140<sup>0</sup> F (60<sup>0</sup> C)
- Kelas IIIA : Cairan dengan *flash point* pada atau diatas 140<sup>0</sup> F (60<sup>0</sup> C) namun dibawah 200<sup>0</sup> F (93<sup>0</sup> C)
- Kelas IIIB : Cairan dengan *flash point* pada atau diatas 200<sup>0</sup> F (98<sup>0</sup> C)

### 2.1.5 Klasifikasi kebakaran

Berdasarkan NFPA, bahan bakar dijadikan dasar klasifikasi kebakaran. Bahan bakar dikategorikan dalam tiga kelas, yaitu *ordinary combustible* (seperti kayu atau kertas), *flammable liquids*, dan *combustible metals*. Untuk pertimbangan pemadaman kebakaran maka ditambah satu kelas yaitu *electrical fires*.

**Tabel 2.3. Klasifikasi Kebakaran Berdasarkan NFPA 10**

Kelas	Gambaran	Material
A	<i>Ordinary combustibles</i>	<i>Ordinary combustible materials</i> seperti kayu, kertas, kain, karet, dan berbagai plastik.
B	<i>Flammable liquids</i>	<i>Flammable liquids, combustible liquids, Petroleum greases, tar, minyak, oil-based paints, solven, pernis, alkohol, dan flammable gases.</i>
C	<i>Electrical Fires</i>	<i>Energized electrical equipment</i>
D	<i>Fire in Combustible</i>	<i>Combustible metals, seperti magnesium,</i>

	<i>Metals</i>	titanium, zirconium, sodium, lithium, dan potassium.
--	---------------	--

### 2.1.6 Kebakaran Hidrokarbon

Terdapat beberapa situasi yang dapat menyebabkan gas, cairan ataupun bahan berbahaya yang dihasilkan, disimpan ataupun diproses dapat menyebabkan kebakaran. Kebakaran hidrokarbon merupakan salah satu yang penting untuk diperhatikan dalam suatu fasilitas proses. Terdapat beberapa tipe kebakaran hidrokarbon yang dipengaruhi oleh pelepasan material, kondisi lingkungan sekitar, dan waktu ignisi, sebagai berikut (Center for Chemical Process Safety):

1. *Jet fire*
2. *Pool fire*
3. *Flash fire*
4. *Running liquid fire*
5. *Fire ball*

#### 2.1.6.1 *Jet fire*

*Jet fire* yang terjadi sering terjadi berhubungan dengan lepasnya gas bertekanan tinggi. Jika terjadi kebocoran yang menyebabkan lepasnya gas bertekanan tinggi yang berasal dari *flammable liquid* di dalam *vessel* ataupun pipa lalu dan terignisi maka akan terjadi *jet fire*. Tekanan yang tinggi dan sumber yang ukurannya terbatas dapat menyebabkan kecepatan gas yang sangat tinggi mendekati kecepatan suara (Center for Chemical Process Safety, 2003, Nolan, 1996, Less, 1996).



**Gambar 2.4. *Jet fire***

Sumber: ([www.webwormcpt.blogspot.com](http://www.webwormcpt.blogspot.com))

### 2.1.6.2 *Pool Fire*

*Pool fire* terjadi ketika terdapat akumulasi tumpahan *flammable liquid* dalam jumlah besar diatas tanah dan terignisi (Less,1996, Center for Chemical Process Safety,2003). Selain itu *pool fire* juga dapat terjadi pada tangki timbun, yang disebut *trench fire* (Less,1996). *Pool fire* memiliki beberapa karakteristik seperti *jet fire*, namun penyebaran panas secara konveksi pada *pool fire* lebih rendah dibanding dengan *jet fire* (Nolan, 1996).



**Gambar 2.5. *Pool fire***

Sumber: ([www.spadeadam.biz](http://www.spadeadam.biz))

### 2.1.6.3 *Flash Fire*

*Flash fire* terjadi ketika lepasnya *combustible* gas yang tidak segera terignisi dan membentuk *vapor* yang terdispersi ke lingkungan ambien lalu terjadi ignisi (Less, 1996, Nolan, 1996). Jika lepasnya gas terjadi terus menerus maka akan mengakibatkan terjadinya *jet fire* (Center for Chemical Process Safety, 2003).

### 2.1.6.4 *Running Liquid Fire*

*Running liquid fire* adalah *pool fire* yang “*running*” atau tidak diam diatas tanah namun mengalir. (Less, 1996, Center for Chemical Process Safety, 2003).

### 2.1.6.5 Fire Ball

*Fire ball* dapat diakibatkan oleh ledakan *pressure vessel* dan menimbulkan *vapor cloud*. Kebanyakan kejadian *fire ball* terkait dengan *liquefied gas*. Pada kasus pertama ledakan dapat terjadi dalam kebakaran dan menjadi bagian *boiling liquid expanding vapor explosion* (BLEVE), atau terjadi tanpa kebakaran (Less, 1996).



**Gambar 2.6. Fire Ball**

Sumber: ([www.thermdyne.com](http://www.thermdyne.com))

## 2.2 Ledakan

Ledakan (*explosion*) didefinisikan sebagai proses pertambahan tekanan yang amat cepat dari suatu yang terbatas, sebagai akibat adanya reaksi eksotermis dan dihasilkan gas dalam jumlah besar. Ledakan dapat juga didefinisikan sebagai pelepasan energi secara amat cepat (Nevded, 1991a). Menurut Imamkhasani ledakan adalah reaksi yang amat cepat dan menghasilkan gas-gas dalam jumlah besar. Ledakan dapat terjadi oleh reaksi dari bahan peledak, gas-gas mudah terbakar, atau reaksi dari berbagai jenis peroksida, terutama peroksida organik (Imamkhasani, 1991). Ledakan biasanya dapat disertai dengan menjalarnya api atau kebakaran (Nevded, 1991a).

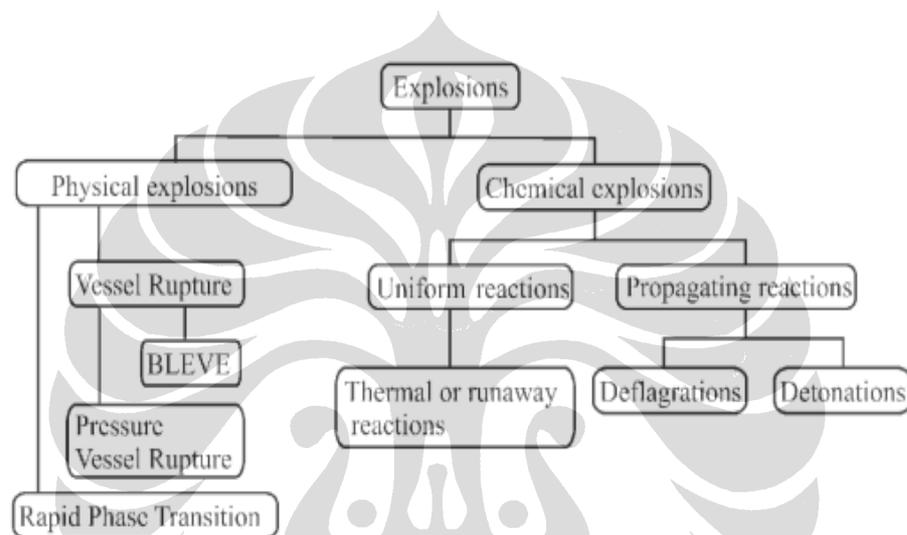
### 2.2.1 Klasifikasi ledakan

Ledakan dari suatu material tergantung pada beberapa faktor, seperti bentuk fisik material (padatan, cairan, atau gas; *powder* atau *mist*), sifat fisik (*heat*

*capacity*, tekanan uap, panas pembakaran, dan lain-lain), dan reaktifitas material tersebut. Tipe ledakan tergantung pada beberapa faktor sebagai berikut:

1. Kondisi penggunaan dan penyimpanan awal material
2. Cara material terlepas
3. Cara material terdispersi dan tercampur dengan udara
4. Kapan dan bagaimana material dapat terignisi

Pada suatu *incident* mungkin terdapat lebih dari satu klasifikasi ledakan. Klasifikasi utama dari ledakan adalah sebagai berikut:



**Gambar 2.7. Klasifikasi Ledakan**

Sumber: (Crowl, 2003)

*Physical explosion* terjadi akibat lepasnya energi mekanik secara tiba – tiba, seperti lepasnya gas bertekanan dan tidak terjadi reaksi kimia. *Physical explosion* terdiri dari *vessel rupture*, *Boiling Liquid Expanding Vapor Explosions* (BLEVE) dan *rapid phase transition explosions* (Crowl, 2003).

Ledakan *vessel rupture* terjadi ketika *vessel* yang berisi material bertekanan mengalami kegagalan secara tiba – tiba. Kegagalan tersebut dapat berupa kegagalan mekanis, korosi, pajanan panas, *cyclical failures*, dan lain – lain. Contoh *vessel rupture* adalah kegagalan mekanis pada *vessel* yang berisi gas bertekanan tinggi, tekanan berlebihan pada *vessel* yang berisikan gas, kegagalan relief device selama terjadinya kelebihan tekanan.

BLEVE terjadi ketika *vessel* yang berisi *liquefied gas* disimpan diatas titik didih normalnya mengalami kegagalan yang menimbulkan bencana besar. Kebakaran pada *vessel* mengakibatkan terbakarnya cairan dan membentuk gas secara tiba – tiba sehingga timbul kerusakan yang disebabkan oleh menyebarnya uap secara cepat, semburan cairan, isi *vessel*, serta fragmen pecahan *vessel*. Jika *vessel* berisikan material yang mudah terbakar maka dapat menimbulkan *fire ball*. Contoh BLEVE adalah kegagalan akibat terjadinya korosi pada pemanas air panas, dan retaknya tangki propana.

*Rapid phase transition explosions* dapat terjadi ketika suatu material terpajan panas, dan menyebabkan perubahan bentuk yang tiba – tiba sehingga meningkatkan volume dari material tersebut. Contoh *rapid phase transition explosion* adalah minyak panas yang dipompakan kedalam *vessel* berisi air. Dan *valve* pipa yang terbuka, memajukan air ke minyak panas.

*Chemical explosion* memerlukan reaksi kimia, yang dapat berupa reaksi pembakaran, reaksi dekomposisi, atau reaksi eksotermik secara tiba – tiba lainnya. *Chemical explosion* terdiri atas *uniform reactions* dan *propagating reactions*, dimana ledakan yang terjadi pada *vessel* merupakan *uniform explosions*, sedangkan ledakan yang terjadi pada pipa yang panjang merupakan *propagating reactions*.

*Uniform reaction* adalah reaksi yang terjadi secara keseluruhan dari rangkaian reaksi, seperti reaksi yang terjadi dalam *continuous stirred tank reactor* (CSTR). *Uniform reaction* disebabkan oleh *runaway reaction* atau *thermal runaway*. *Runaway reaction* terjadi ketika panas yang dilepaskan oleh reaksi melebihi panas yang hilang sehingga temperature dan tekanan meningkat serta cukup untuk merusak proses penyimpanan.

*Propagating reaction* adalah reaksi yang menyebar melalui reaksi massa, seperti pembakaran dari *flammable vapor* dalam pipa, *vapor cloud explosion*, atau dekomposisi dari padatan yang tidak stabil. *Propagating reaction* diklasifikasikan menjadi *detonation* atau *deflagation*, tergantung pada kecepatan bidang reaksi menyebar melalui massa yang tidak bereaksi. Pada detonasi bidang reaksi berpindah setara atau lebih cepat dari kecepatan suara dalam medium yang tidak

bereaksi. Sedangkan deflagasi bidang reaksi berpindah lebih lambat dari kecepatan suara.

### 2.3 Tangki Timbun *Flammable* dan *Combustible* Material

Dalam menentukan potensi kerugian kebakaran dapat ditentukan dengan menilai kerugian jika terjadi kebakaran pada satu tangki timbun *flammable* dan *combustible* material, hal ini terkait dengan besarnya jumlah material dan nilai material yang terkandung dalam tangki timbun tersebut (Less, 1996). Tangki timbun *flammable* dan *combustible materials* biasanya menggambarkan tempat penyimpanan terbesar dari seluruh material dalam fasilitas proses. Menurut sejarah ketika terjadi kebakaran pada fasilitas penimbunan seperti tangki timbun maka akan terjadi bencana besar dan kerugian yang besar. Mengingat hal tersebut maka diperlukan upaya untuk mencegah terjadinya kebakaran dan ledakan, dengan melakukan beberapa upaya mitigasi sebagai berikut (Center for Chemical Process Safety, 2003):

1. Pemberian jarak dan layout
2. Pembuatan tanggul, saluran drainase dan *remote impounding*
3. *Fixed active fire protection systems (water spray dan foam application)*
4. Pemeliharaan atap dan saluran tangki yang sesuai
5. *Manual firefighting* (upaya pemadaman) dengan menggunakan air dan *foam application*.

#### 2.3.1 Tipe Tangki Timbun *Flammable* dan *Combustible* Material

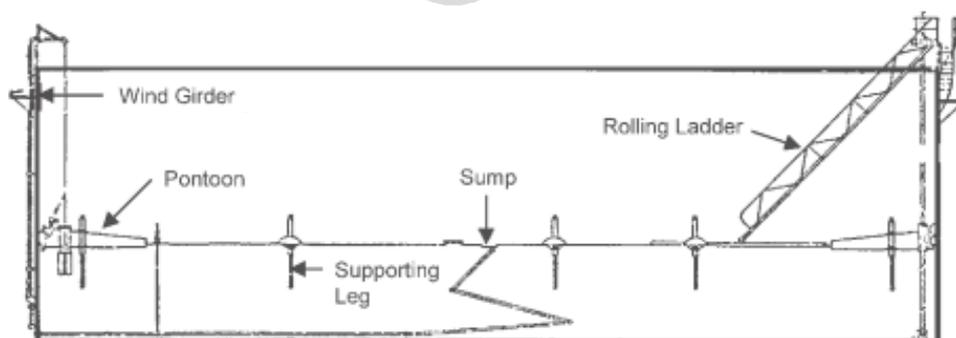
Terdapat beberapa jenis tangki yang biasa digunakan untuk menyimpan *flammable* dan *combustible* material, seperti *atmospheric storage tanks* yang terbagi empat berdasarkan jenis atapnya, yaitu *fixed cone roof tanks*, *weak-seam roof tanks*, *cone roof tanks with internal floating roof*, dan *floating roof tanks*. Selain *atmospheric storage tanks* terpadat juga tipe tangki yang lain, seperti *pressurized storage vessels* dan *refrigerated storage tanks* (Center for Chemical Process Safety, 2003).

### 2.3.1.1 Atmospheric storage tanks

*Atmospheric storage tanks* dioperasikan pada atau sedikit di atas tekanan atmosfer (1 psig) dan merupakan jenis tangki yang biasa digunakan untuk menyimpan *flammable* dan *combustible liquids* (Less, 1996, Center for Chemical Process Safety, 2003). *Atmospheric storage tanks* secara umum dibatasi untuk beroperasi maksimum 0,5 psig (3,5 kPa) (Center for Chemical Process Safety, 2003).

#### 2.3.1.1.1 Floating roof tanks

*Floating roof tanks* memenuhi kebutuhan keselamatan dan lingkungan dibandingkan dengan *fixed cone roof tanks* dalam menyimpan class 1 *flammable liquids*. *Floating roof tanks* didesain agar atap tangki dapat mengambang di atas permukaan cairan sehingga dapat mengurangi terbentuknya *vapor* yang dapat menyebabkan emisi udara ataupun dapat menyebabkan bahaya kebakaran (Less, 1996, Center for Chemical Process Safety, 2003). Disisi lain *floating roof* dapat tenggelam sehingga menghasilkan kontak permukaan cairan dengan udara dan menghasilkan lebih banyak *vapor* yang dapat mengakibatkan bahaya kebakaran yang besar. Kejadian ini dapat dicegah dengan mempertahankan gaya apung dari *floating roof* tersebut. Berapa penyebab tenggelamnya *floating roof* adalah dikarenakan kebocoran karena korosi, penuhnya kompartemen dari *floating roof* akibat tidak berfungsinya sistem drainase untuk mengalirkan air hujan, dan macetnya pergerakan *floating roof* ketika mengikuti permukaan cairan pada saat pengisian maupun pengosongan (Center for Chemical Process Safety, 2003).

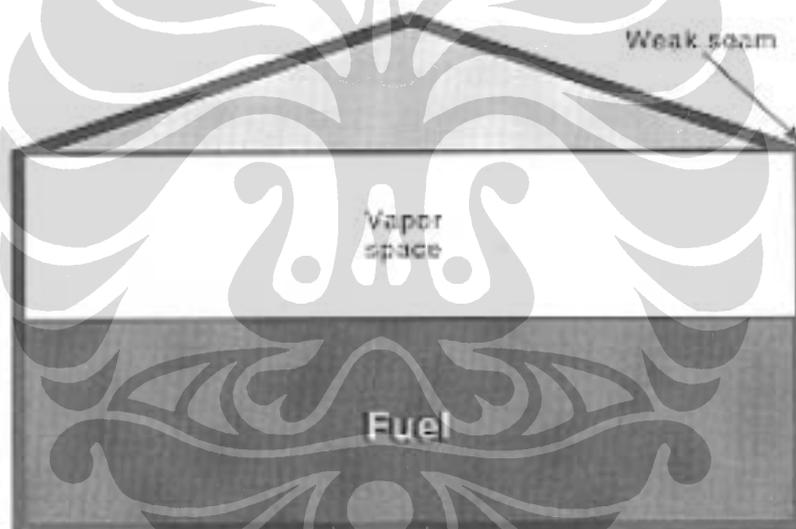


**Gambar 2.8. Open-Top Tanks dengan Floating Roof**

Sumber: (Center for Chemical Process Safety, 2003)

### 2.3.1.1.2 *Fixed Cone Roof Tanks*

Yang menjadi perhatian dalam hal keselamatan pada *fixed cone roof tanks* adalah potensi volume *vapor* yang dapat tercipta diantara permukaan cairan dengan atap, jika *vapor* tersebut terignisi dapat mengakibatkan kebakaran dan *overpressure* yang signifikan. *Overpressure* tersebut akan mengakibatkan kerusakan pada tangki atau bahkan lepasnya bagian-bagian tangki dan dapat melepaskan seluruh isi tangki (Center for Chemical Process Safety, 2003). Berdasarkan NFPA 30 maka untuk *fixed cone roof* mengingat tingginya potensi *vapor* didalam tangki maka diharuskan untuk menyediakan *pressure/vacum vent* (NFPA, 1991).



**Gambar 2.9. *Fixed cone roof tanks***

Sumber: (API, 2009)

### 2.3.1.1.3 *Weak-seam roof tanks*

Berkaitan dengan *fixed cone roof* dengan *vertical cylindrical tanks* yang berdiameter lebih besar dari 30 – 50 feet (9 – 15 m) harus memiliki *weak seam* atau *weak seam roof*. *Weak seam roof* tersebut bertujuan untuk merespon *overpressure* internal dengan membiarkan atap dapat terbuka sedikit sehingga

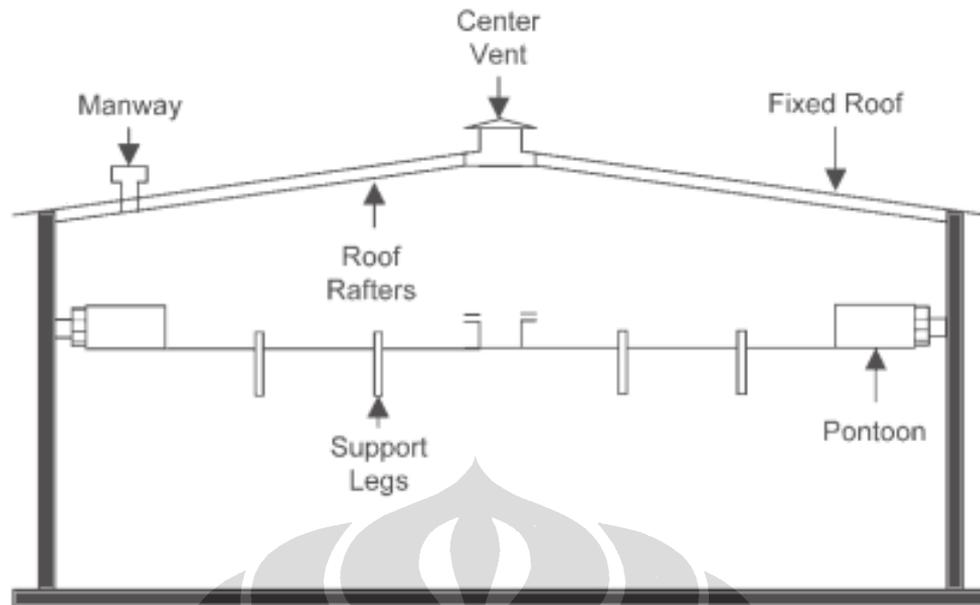
tangki dapat mempertahankan integritas isi tangki. Disain *weak seam roof* sengaja dibuat persikuan antara atap dan dinding tangki lemah, agar jika terjadi *overpressure* maka atap tangki dapat dengan mudah terbuka dan dinding tangki yang tidak mengalami kerusakan untuk mengurangi risiko bahaya kebakaran akibat tumpahan isi tangki (Center for Chemical Process Safety, 2003).

#### **2.3.1.1.4 Cone roof tanks with internal floating roof**

Cone roof tanks with internal *floating roof* merupakan perpaduan antara *fixed cone roof tanks* dengan *floating roof tanks* didalamnya (Center for Chemical Process Safety, 2003, American *Petroleum* Institute, 2006).

*Fixed roof* memberikan perlindungan terhadap internal *floating roof* dari kondisi cuaca. Selain itu juga dapat mengurangi efek pemanasan isi tangki yang disebabkan oleh matahari. *fixed cone roof tanks* dengan internal *floating roof* ini tidak memerlukan saluran drainase yang sulit untuk mengalirkan air hujan dan lelehan salju. *Fixed cone roof* pada bagian luar juga dapat melindungi tangki dari sambaran petir dibandingkan dengan open *floating roof tanks* (Center for Chemical Process Safety, 2003).

Berdasarkan hasil penelitian, pada saat operasi ruang antara fixed roof dengan *floating roof* (head space) memiliki ventilasi yang cukup untuk mempertahankan konsentrasi *flammable vapor* dibawah LEL, namun pada saat tangki kosong dan diisi ulang, *floating roof* berada pada *internal support legs*, *vapor rich atmosphere* dibawah *floating roof* dilepaskan ke *head space*. Pada waktu tersebut, *vapor concentration* yang terakumulasi di *head space* dapat berada pada *explosive range*. Dengan demikian, *cone roof tanks with internal floating roof* seharusnya dilengkapi dengan *weak seam* (Center for Chemical Process Safety, 2003, Less, 1996).

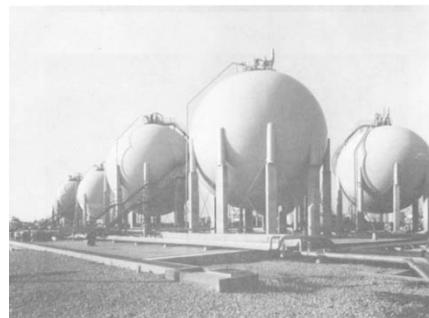


**Gambar 2.10. Cone Roof Tanks with Internal Floating Roof**

Sumber: (Center for Chemical Process Safety, 2003)

### 2.3.1.2 *Pressurized storage vessels*

*Pressurized storage vessels* dapat digunakan baik dalam bentuk *refrigerated tanks* (tekanan rendah) atau *horizontal vessels* dan *spheres* untuk menyimpan material yang lebih ringan dalam bentuk cairan dengan menurunkan cara tekanan. Batas tekanan terendah untuk *pressurized storage vessels* adalah 15 psig. *Pressurized storage vessels* baik digunakan untuk menyimpan *liquefied gas* (gas yang cairkan) seperti LPG dan amonia (Center for Chemical Process Safety, 2003, Less, 1996).



### Gambar 2.11. *Pressurized Storage Vessel*

Sumber: (Less, 1996)

#### 2.3.1.3 *Refrigerated storage tanks*

*Refrigerated storage tanks* memiliki tekanan dibawah 1 psig dan dalam temperatur rendah, umumnya berfungsi untuk menyimpan *liquefied gas* seperti *liquefied natural gas* (LNG) dan anonia (Less, 1996, Center for Chemical Process Safety, 2003).

*Refrigerated storage vessels* memiliki sisi luar yang terisolasi untuk mempertahankan temperatur dalam *storage*. Perubahan panas akan meningkatkan penguapan produk didalam *vessel* sehingga akan meningkatkan tekanan dalam *vessel* (*vessel pressure*) dan meningkatkan pelepasan gas ke atmosfer atau sistem ventilasi. Demikian pula pajanan panas pada *refrigerated vessel* akan meningkatkan temperatur dan tekanan *vessel*, yang mungkin akan melewati batas kapasitas *relief valve* atau sistem ventilasi sehingga akan mengakibatkan ruptur pada *vessel* diikuti dengan ledakan besar. Oleh karena berdasarkan CCPS *Guidelines for Facility Siting and Layout* itu pemberian jarak (*spacing*) merupakan upaya utama dalam upaya pencegahan kebakaran untuk *refrigerated storage vessel*.

#### 2.4 *Crude Oil*

*Crude Oil* mempunyai kandungan utama hidrokarbon dan senyawa yang mengandung sulfur, nitrogen, oksigen, dan sedikit kandungan metal. Karakteristik fisik dan kimia *Crude Oil* berbeda-beda tergantung kepada persentase kehadiran dari senyawa – senyawa tersebut. Berat jenis *Crude Oil* memiliki kisaran yang luas, tetapi kebanyakan *Crude Oil* memiliki berat jenis antara 0,80 dan 0,97 g/ml (Nolan, 1996). *Crude Oil* juga biasa dikenal dengan *Petroleum*.

Semua *Crude Oil* merupakan variasi dari hidrokarbon yang memiliki rumus dasar  $CH_2$ . Komposisi *Crude Oil* menunjukkan 84 – 86 % karbon, 10 – 14 % hidrogen, sulfur (0,06 – 2 %), nitrogen (2%), dan oksigen (0,1 – 2 %). Kandungan sulfur dalam *Crude Oil* biasanya dibawah 1,0 % dan maksimal 5,0 %. Bentuk

fisik dari *Crude Oil* adalah putih seperti air, kekuning-kuningan, hijau, coklat, atau hitam, dan kental seperti tar atau aspal (Nolan, 1996).

Dikarenakan variasi kualitas *Crude Oil*, *flash point* dari masing – masing *Crude Oil* harus diuji terlebih dahulu, namun bagaimanapun *Crude Oil* mengandung uap ringan yang diperhitungkan memiliki klasifikasi *flash point* rendah (Nolan, 1996).

## 2.5 *Dow's Fire and Explosion Index*

F&EI adalah suatu instrumen untuk melakukan evaluasi secara bertahap risiko bahaya kebakaran, ledakan, dan potensial reaktifitas dari peralatan beserta isinya secara objektif dan realistis. Secara singkat tujuan dari F&EI adalah untuk mengkuantifikasi potensi kerusakan yang akan dialami jika terjadi kebakaran dan ledakan, mengidentifikasi peralatan yang dapat berkontribusi menimbulkan atau meningkatkan keparahan dari suatu insiden, dan mengkomunikasikan potensi risiko bahaya kebakaran dan ledakan kepada manajemen.

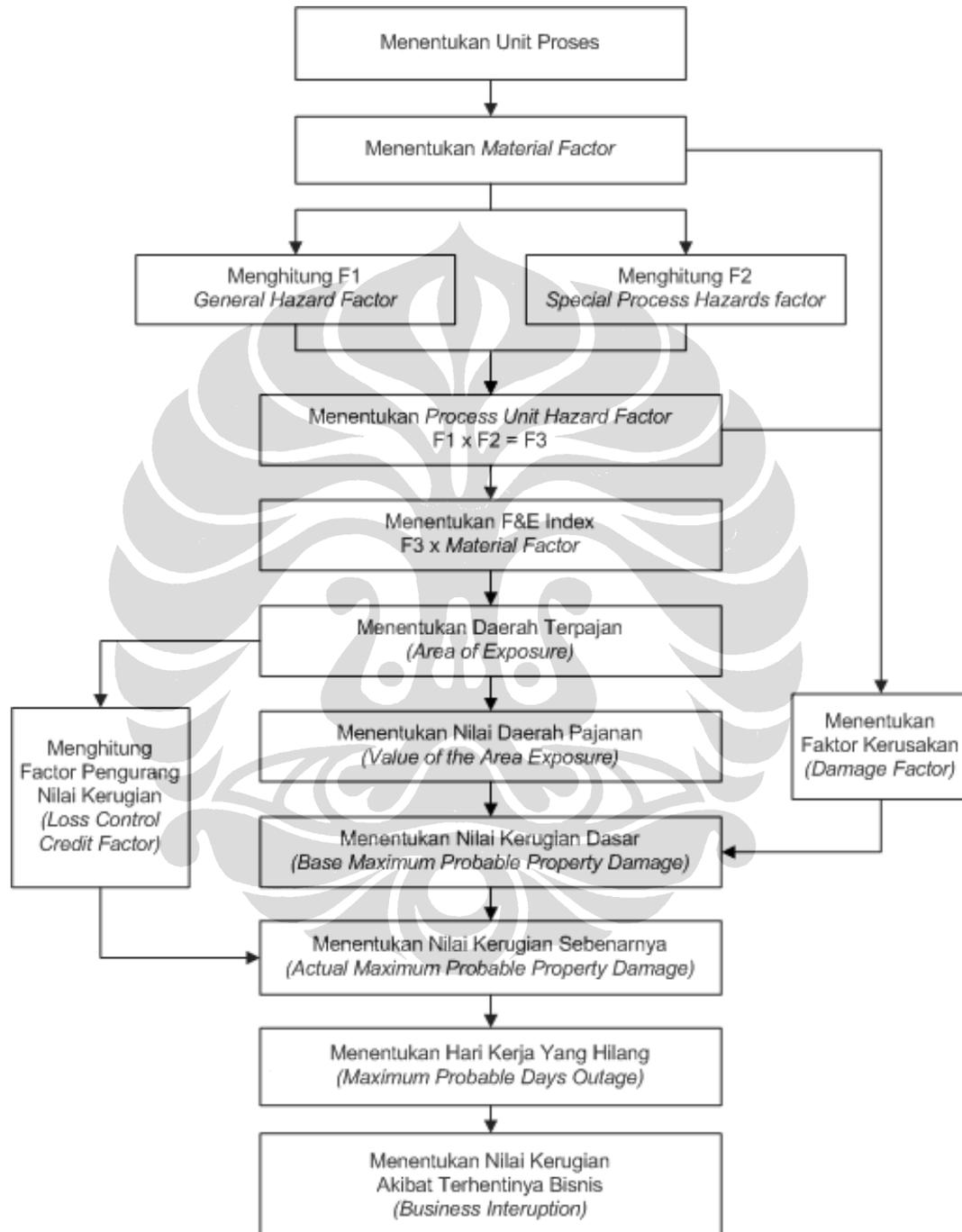
F&EI merupakan suatu cara pendekatan yang konsisten untuk mengenal dan mengevaluasi potensi bahaya. Index tersebut diturunkan dan diperoleh dari studi banyak kecelakaan. Selain itu, dalam pelaksanaannya tidak memerlukan banyak tenaga (Nedved, 1991b).

Menurut Suardin, F&EI telah digunakan secara luas dan telah membantu para engineer untuk memperhatikan bahaya di setiap unit proses ketika membuat keputusan penting dalam mengurangi keparahan dan/atau kemungkinan potensi insiden. F&EI dapat diaplikasikan dalam tahap awal disain karena dapat dilaksanakan secara cepat; menyediakan skor, penalti, atau kredit yang mudah diinterpretasikan dan dapat dibandingkan diantara beberapa pilihan disain; serta tidak mensyaratkan data yang detail dan keahlian khusus (Suardin, 2005).

Selain di design untuk operasi dimana terjadi penyimpanan, penanganan, atau proses yang melibatkan *flammable*, *combustible*, atau material reaktif lainnya, F&EI juga dapat digunakan untuk menganalisis potensi kerugian terhadap *sewage treating facilities*, sistem distribusi, jalur pipa, tempat penyulingan, *transformers*, *boilers*, dan elemen tertentu dari *power plants*. Penggunaan F&EI pada *pilot plant* sangat direkomendasikan karena F&EI dapat

digunakan dalam evaluasi risiko dari proses yang terbatas dengan jumlah material berbahaya yang sedikit (American Institute of Chemical Engineers, 1994).

Skema langkah perhitungan F&EI berdasarkan Pedoman *Dow's Fire and Explosion Index* adalah sebagai berikut:



**Gambar 2.12. Skema Perhitungan F&EI**

Sumber: (American Institute of Chemical Engineers, 1994)



### 2.5.1 Menentukan unit proses

Pertimbangan penting yang harus diperhatikan dalam memilih unit proses adalah unit proses diperkirakan memiliki potensi bahaya besar dan dapat menimbulkan kerugian besar jika terjadi ledakan dan kebakaran. Selain itu, unit proses minimal menangani 5.000 pounds atau sekitar 600 galon *flammable*, *combustible*, atau *reactive material*. Akan tetapi, F&EI masih dapat digunakan untuk *pilot plant* jika *pilot plant* tersebut menangani paling sedikit 1.000 *pounds* atau sekitar 120 galon *flammable*, *combustible*, atau *reactive material*. Pertimbangan penting lainnya adalah ketika peralatan disusun dalam rangkaian seri dan tidak terpisah secara efektif satu sama lainnya. Selain itu dibutuhkan pula pertimbangan terhadap tahapan dari operasi. Secara alami tahapan normal seperti *start-up*, *steady state operation*, *shut down*, pengisian, pengosongan, penambahan katalis, dan lain-lain sering menimbulkan kondisi yang tidak biasa dan berdampak pada F&EI. Faktor penting yang harus diperhatikan dalam menentukan unit proses adalah:

1. Potensi energi potensial (*Material Factor*)
2. Jumlah material berbahaya dalam unit proses
3. Densitas modal (*dollar per square foot*)
4. Tekanan dan temperature proses
5. Pengalaman masa lalu berhubungan dengan kejadian kebakaran dan ledakan

### 2.5.2 Menentukan *material factor*

*Material factor* (MF) adalah nilai yang menggambarkan potensi energi yang dibebaskan saat terjadi kebakaran dan ledakan, yang dihasilkan dari pembakaran atau reaksi kimia lainnya. MF diperoleh dari  $N_f$  dan  $N_r$  yang berasal dari nilai NFPA yang masing – masing menggambarkan nilai *flammability* dan *reactivity* (atau *instability*).

Nilai MF untuk sejumlah senyawa kimia dan material dapat diperoleh dari data *Material factor and Properties* dalam Pedoman *Dow's Fire and Explosion Index*. Jika terdapat material yang tidak tercantum dalam data *Material factor and*

*Properties*, maka nilai MF dapat ditentukan dengan nilai Nf dan Nr dalam NFPA 325M atau NFPA 49, dan dapat menggunakan table dibawah ini. Jika material merupakan *combustible dust* maka nilai Nf diganti dengan nilai St.

**Tabel 2.4. Panduan Penentuan Material Faktor**

<sup>1</sup> LIQUIDS AND GASES Flammability or Combustibility	NFPA 325M or 49	Reactivity or Instability				
		N <sub>r</sub> = 0	N <sub>r</sub> = 1	N <sub>r</sub> = 2	N <sub>r</sub> = 3	N <sub>r</sub> = 4
<sup>2</sup> Non-combustible	N <sub>r</sub> = 0	1	14	24	29	40
F.P. > 200°F	N <sub>r</sub> = 1	4	14	24	29	40
F.P. ≥ 100°F < 200°F	N <sub>r</sub> = 2	10	14	24	29	40
F.P. < 100°F B.P. ≥ 100°F	N <sub>r</sub> = 3	16	16	24	29	40
F.P. < 73°F B.P. < 100°F	N <sub>r</sub> = 4	21	21	24	29	40
<sup>3</sup> COMBUSTIBLE DUST OR MIST						
St-1 (K <sub>st</sub> ≤ 200 bar m/sec.)		16	16	24	29	40
St-2 (K <sub>st</sub> = 201-300 bar m/sec.)		21	21	24	29	40
St-3 (K <sub>st</sub> > 300 bar m/sec.)		24	24	24	29	40
COMBUSTIBLE SOLIDS						
<sup>4</sup> Dense > 40mm thick	N <sub>r</sub> = 1	4	14	24	29	40
<sup>5</sup> Open < 40mm thick	N <sub>r</sub> = 2	10	14	24	29	40
<sup>6</sup> Foam, fiber, powder, etc.	N <sub>r</sub> = 3	16	16	24	29	40

F.P = Flash point, closed cup

B.P = Boiling Point pada Standard Temperature Pressure (STP)

Catatan:

<sup>1</sup>Termasuk *volatile solids*.

<sup>2</sup>Tidak akan terbakar dalam udara ketika berada pada temperature 1.500<sup>0</sup>F selama lima menit.

<sup>3</sup>Nilai K<sub>st</sub> untuk 16 liter atau lebih pada *closed test vessel* dengan sumber *strong ignition*. Lihat NFPA 68, *Guide for Venting of Deflagrations*.

<sup>4</sup>Termasuk *wood 2" nominal thickness, magnesium ingots, tight stack of solids, dan tight rolls of papper* atau *plastic film*.

<sup>5</sup>Termasuk *coarse granular material* seperti *plastic pellets, rack storage, wood pallets, dan non-dusting ground material* seperti *polystyrene*.

<sup>6</sup>Termasuk *rubber goods* seperti *tires dan boots; styrofoam; methocel*.

Sumber: (American Institute of Chemical Engineers, 1994)

### 2.5.3 Menentukan *general process hazard factor* (F1)

*General Process Hazards* (F1) adalah faktor utama yang berperan dalam menentukan besarnya kerugian dari insiden. *General Process Hazards* meliputi enam item, sebagai berikut:

- a. *Exothermic Chemical Reactions* (Reaksi Kimia Eksotemis)
  1. Eksotermis ringan, penalti 0,30 (contoh: hidrogenasi, hidrolisis, isomerisasi, sulfonasi dan netralisasi).
  2. Eksotermis menengah, penalti 0,50 (contoh: alkalisasi, esterifikasi, oksidasi, polimerisasi dan kondensasi).
  3. Eksotermis kritis, penalti 1,00 (contoh: halogenasi).
  4. Eksotermis sensitif, penalti 1,25 (contoh: nitrasi).
- b. *Endothermic Processes* (Proses Endotermis)
 

Berlaku untuk reaktor yang terjadi proses endotermis didalamnya, penalti 0,20. Bila input energi berasal dari pembakaran bahan bakar padat, cair, atau gas, penalti menjadi 0,40 (contoh: kalsinasi, elektrolisis dan pirolisis).
- c. *Material Handling and Transfer* (Pemindahan dan Penanganan Material)
  1. Bongkar muat *flammable* material kelas I atau LPG, penalti 0,50.
  2. Bila pemasukan udara dalam operasi penuangan material ke dalam *centrifuge*, *reactor* atau *mixer* dapat menimbulkan kebakaran, penalti 0,50.
  3. Untuk gudang dan lapangan penyimpanan:
    - Penalti 0,85 diberikan untuk  $N_f = 3$  atau 4, *flammable liquid* atau *gases* yang disimpan dalam drum, silinder, dan kaleng aerosol (aerosol cans).
    - Penalti 0,65 diberikan untuk  $N_f = 3$ , *combustible solids*
    - Penalti 0,40 diberikan untuk  $N_f = 2$ , *combustible solids*
    - Penalti 0,25 diberikan untuk *combustible liquids* dengan titik nyala lebih dari  $37,8^{\circ}\text{C}$  ( $100^{\circ}\text{F}$ ) dan kurang dari  $60^{\circ}\text{C}$  ( $140^{\circ}\text{F}$ ).

Bila material tersebut diatas disimpan pada rak – rak tanpa dilindungi *sprinkler*, tambahkan 0,20 pada penalti.
- d. *Enclosed or Indoor Process Units* (Unit Proses Tertutup)
 

Suatu area didefinisikan tertutup jika area tersebut memiliki atap dengan tiga sisi dinding atau lebih, atau area tersebut tidak memiliki atap tetapi memiliki dinding pada semua sisinya.

1. Bila terdapat *dust collector* dalam ruangan, penalti 0,50.
  2. Bila terdapat *flammable liquid* dengan temperature diatas titik nyalanya, penalti 0,30. Untuk volume cairan lebih dari 10.000 lb (sekitar 1.000 galon), penalti 0,45.
  3. Bila terdapat LPG atau *flammable liquid* dengan temperature diatas titik didihnya, penalti 0,60. Untuk volume cairan lebih dari 10.000 lb (sekitar 1.000 galon), penalti 0,90.
  4. Bila ventilasi mekanis tersedia dan berfungsi dengan baik, penalti pada butir pertama dan ketiga di atas dapat dikurangi 50%.
- e. *Access (Jalan)*  
 Untuk operasi pemadaman paling sedikit harus ada 2 akses untuk mendekati unit proses.  
 Area proses dengan luas 10.000 ft<sup>2</sup> (925 m<sup>2</sup>) dan gudang dengan luas 25.000 ft<sup>2</sup> (2.312 m<sup>2</sup>) yang tidak memiliki akses yang cukup, penalti 0,35. Untuk luas area kurang dari yang tersebut di atas, penalti 0,20.
- f. *Drainage Spill Control (Saluran Pembuangan dan Pengendalian Tumpahan)*  
 Penalti ini hanya berlaku untuk material dengan titik nyala kurang dari 140<sup>0</sup>F, atau material yang diproses dengan temperature diatas titik nyalanya.
1. Volume drainase dan tumpahan dihitung dengan penjumlahan volume tangki timbun terbesar, 10% volume tangki timbun nomor dua terbesar dan volume air untuk operasi pemadaman selama 30 menit.
  2. Penentuan nilai penalti:
    - Bila terdapat tanggul untuk melokalisir tumpahan, penalti 0,50.
    - Bila area sekeliling unit proses merupakan tanah datar sehingga tumpahan akan menyebar, penalti 0,50.
    - Tanggul yang didisain dengan tiga sisi mengelilingi unit proses dan satu sisi terbuka untuk mengalirkan tumpahan kearah drainase, tidak mendapat penalti, bila:
      1. Kemiringan permukaan area minimal 2 % untuk permukaan tanah biasa dan 1% untuk permukaan tanah yang diperkeras.
      2. Jarak peralatan terhadap saluran drainase atau kolam penampungan minimal 50 ft (15m).

3. Kolam penampungan berkapasitas minimal sama dengan butir pertama di atas.

Bila dari ketiga syarat di atas hanya sebagian yang terpenuhi, penalti 0,25.

- Bila jarak kolam penampungan dengan jalur perpipaan tidak memenuhi syarat, penalti 0,50.

#### 2.5.4 Menentukan *special process hazard factor* (F2)

*Special Process Hazard* (F2) adalah faktor yang dapat meningkatkan probabilitas insiden dan merupakan kondisi proses yang spesifik yang berdasarkan sejarah berkontribusi menjadi penyebab utama insiden kebakaran dan ledakan. *Special Process Hazards* terdiri atas 12 item sebagai berikut:

##### a. *Toxic Material* (Material Beracun)

Material beracun akan menyebabkan kesulitan dan keterbatasan kemampuan anggota tanggap darurat dalam mengurangi besarnya insiden. Penalti ini tergantung pada *Health Factor* (Nh) dari material. Jika material merupakan campuran, maka Nh yang tertinggi yang digunakan untuk menentukan penalti. Penalti ditentukan dengan rumus:

$$\text{Penalti} = 0,20 \times \text{Nh}$$

Nilai Nh dapat diperoleh dari NFPA 704 atau NFPA 325 M dan terdapat dalam lampiran. Gambaran nilai Nh adalah sebagai berikut:

- |        |   |
|--------|---|
| Nh = 0 | Pada kondisi terbakar dalam waktu singkat, material tidak menimbulkan bahaya.   |
| Nh = 1 | Menyebabkan iritasi ringan tetapi membutuhkan <i>approved airpurifying respirator</i> ketika terjadi pajanan singkat dengan material.   |
| Nh = 2 | Menyebabkan ketidakmampuan sementara, kemungkinan menyebabkan cedera, dan membutuhkan penggunaan <i>respiratory protective equipment</i> dengan <i>independent air supply</i> ketika terpajan secara intensif atau singkat dengan material. |

- Nh = 3            Membutuhkan *full body protection* dan menyebabkan cedera yang serius sementara ketika terjadi pajanan singkat dengan material.
- Nh = 4            menyebabkan kematian dan cedera yang parah ketika terpajan dalam waktu singkat dengan material.

b. *Sub-atmospheric Pressure* (Tekanan Bawah Atmosfir)

Jika tekanan dalam peralatan proses (*strippers, compressors*, dan lain – lain) lebih rendah dibandingkan temperature sekitar, maka dapat menyebabkan masuknya udara ke dalam peralatan proses sehingga meningkatkan risiko kebakaran dan ledakan. Bila tekanan proses kurang dari 500 mmHg, penalti 0,50. Bila butir “b” digunakan maka butir “c” (*Operation in or Near Flammable Range*) dan butir “e” (*Relief Pressure*) tidak perlu diisi.

c. *Operation in or Near Flammable Range* (Temperatur Operasi pada Atau Dekat *Flammable Range*)

1. Tangki timbun yang berisi *flammable liquid* dengan Nf = 3 atau 4, dimana udara dapat keluar masuk, penalti 0,50. Tangki dengan *open vent* atau tanpa gas *inert*, penalti 0,50. Tangki tanpa gas inert yang menangani *combustible liquid* dengan temperature diatas titik nyalanya, penalti 0,50. Jika pada tangki terdapat gas inert, *closed vapor recovery system*, dan *air-tightness* terjamin, tidak ada penalti.
2. Peralatan proses dengan isi material yang mendekati *flammable Range* karena kerusakan peralatan, penalti 0,30. Unit proses yang tergantung pada sistem *inert*-nya sehingga material berada diluar *flammable range*-nya, penalti 0,30. Kapal atau mobil tangki, penalti 0,30.
3. Proses atau operasi yang selalu berada pada atau mendekati *flammable range*, penalti 0,80.

d. *Dust Explosions* (Ledakan Debu)

Penalti ini diaplikasikan pada proses yang berhubungan dengan debu, seperti pengangkutan, pencampuran, penggerusan, pengantongan dan lain – lain. Ledakan debu tergantung pada ukuran butiran debu yang diukur dengan *Tyler Mesh Size*, dimana makin kecil ukuran debu maka makin besar bahaya yang ditimbulkan. Besarnya penalti untuk berbagai ukuran dapat dilihat pada tabel

Tabel 2.5. Penalti Untuk Ledakan Debu

Ukuran partikel (mikron)	Tyler Mesh Size	Penalti
> 175	60 – 80	0,25
150 – 175	80 – 100	0,50
100 – 150	100 – 150	0,75
75 – 100	150 – 200	1,25
< 75	> 200	2,00

\*kurangi 50% jika terdapat *inert gas*

Sumber: (American Institute of Chemical Engineers, 1994)

e. Relief Pressure (Tekanan Pelepasan)

Tekanan operasi di atas tekanan atmosfer dapat menyebabkan lepasnya *flammable* material ketika terjadi kebocoran. Kadar material yang lepas akan meningkat dengan tekanan operasi yang lebih tinggi. Oleh karena, penalti ini memperhatikan kemungkinan lepasnya *flammable material* ketika terjadi kerusakan pada beberapa komponen di unit proses. Penalti ditentukan dengan prosedur:

1. Untuk *flammable* and *combustible liquids* dengan titik nyala dibawah 140°F (60°C) penalti ditentukan dengan persamaan:

$$\text{penalti} = 0,16109 + \frac{1,61503P}{1000} - 1,42879 \left( \frac{P}{100} \right)^2 + 0,5172 \left( \frac{P}{100} \right)^3$$

Dimana P adalah tekanan operasi.

Tabel 2.6. High Pressure Penalty for Flammable &amp; Combustible liquids

Tekanan (psig)	Tekanan (kPa gauge)	Penalti
1.000	6.895	0,86
1.500	10.343	0,92
2.000	13.790	0,96
2.500	17.238	0,98

3.000 – 10.000	20.685 – 68.950	1,00
> 10.000	> 68.950	1,50

Sumber: (American Institute of Chemical Engineers, 1994)

2. Untuk material lain, penalti yang diperoleh pada persamaan butir 1 (initial penalti) harus disesuaikan dengan ketentuan sebagai berikut (hasilnya adalah *adjusted initial penalty*):

- Material yang memiliki viskositas (kekentalan) tinggi seperti tar, bitumen, minyak pelumas berat, dan aspal, maka penalti dikalikan 0,70.
- Gas yang dimampatkan atau *flammable liquids* yang dimampatkan dengan tekanan gas di atas 15 psig (103 kPa gauge), maka penalti dikalikan 1,2.
- Liquefied *flammable gas* (termasuk semua *flammable material* yang disimpan di atas titik didihnya), maka penalti dikalikan 1,3.

Adjusted initial penalti kemudian dikalikan dengan rasio dari *operating pressure penalty* dan *refief valve* (atau *rupture disk set pressure penalty*).

f. *Low Temperature* (Temperature Rendah)

Baja atau logam lain dapat menjadi rapuh ketika terpajan pada atau di bawah *ductile/brittle transition temperatures*. Tidak ada penalti jika tidak ada kemungkinan unit proses berada pada atau dibawah *ductile/brittle transition temperatures*. Jika proses menggunakan konstruksi baja dengan dioperasikan pada atau dibawah *ductile/brittle transition temperatures*, penalti 0,30. Sedangkan untuk proses yang menggunakan material lain dengan dioperasikan pada atau dibawah *ductile/brittle transition temperatures*, penalti 0,20. Jika data *ductile/brittle transition temperatures* tidak tersedia maka *ductile/brittle transition temperatures* diasumsikan sebesar 50<sup>0</sup>F (10<sup>0</sup>C).

g. *Quantity of Flammable and Unstable Material* (Jumlah Material)

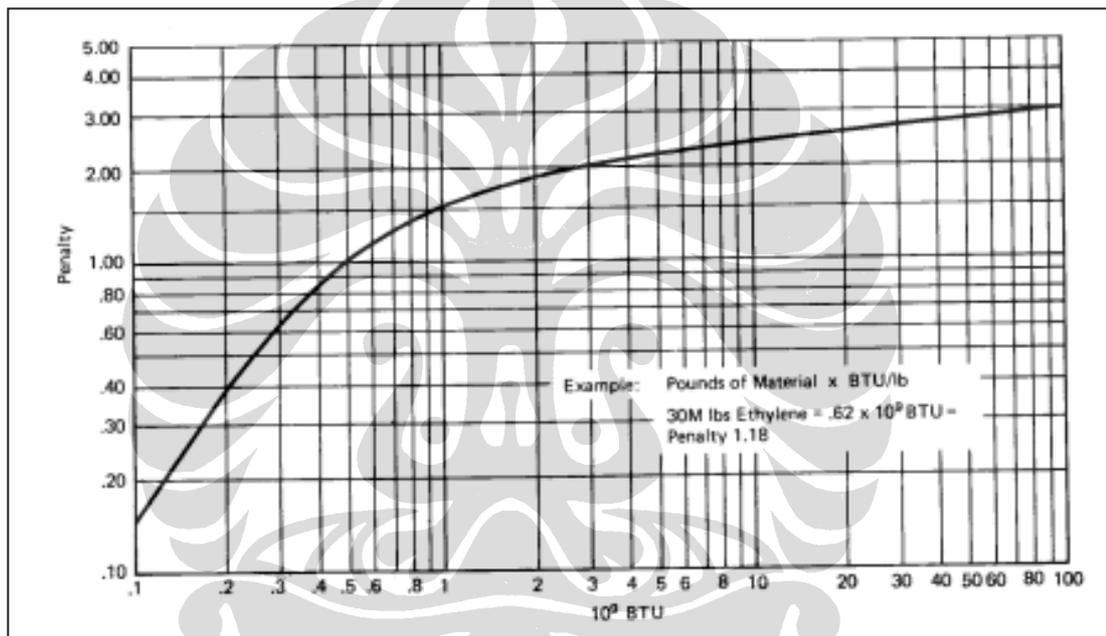
Penalti ini menekankan bahaya dari jumlah *flammable* dan *unstable material*. Gunakan salah satu dari tiga kategori dibawah ini untuk menentukan penalti:

1. Cairan atau gas dalam proses

Penalti ini mempertimbangkan banyaknya material yang dapat tumpah dan mengakibatkan kebakaran, ledakan atau reaktivitas kimia. Penalti berdasarkan *flow rate material* yang tumpah dalam 10 menit. Penalti ditentukan dengan grafik atau dengan persamaan:

$$\begin{aligned} \text{Log (Y)} = & 0,17179 + 0,42988 (\text{Log X}) - 0,37244 (\text{Log X})^2 \\ & + 0,17712 (\text{Log X})^3 - 0,029984 (\text{Log X})^4 \end{aligned}$$

Dimana Y adalah penalti dan X adalah total energi dalam proses (BTU x 10<sup>9</sup>).



**Grafik 2.1. Liquid or Gases in Process**

Sumber: (American Institute of Chemical Engineers, 1994)

Penalti ini hanya dapat diaplikasikan untuk material:

- *Flammable* dan *combustible liquid* dengan titik nyala < 140<sup>0</sup> F
- *Flammable gases* dan *liquefied flammable gases*
- *Combustible liquids* dengan titik nyala > 140<sup>0</sup> F
- *Reactive chemicals* (Nr = 2, 3, atau 4).

2. Cairan atau gas dalam tempat penimbunan (diluar area proses)

Penalti ini mempertimbangkan *flammable* dan *combustible* fluids dalam tempat penimbunan (contohnya: drum, tangki, *Tank Farm*, *portable container*, *container*, dan lain – lain) yang ada diluar area proses. Penalti ditentukan berdasarkan tiga kategori yang tergantung pada jumlah material, tipe cairan atau gas dan panas pembakaran (Hc). Penalti dapat ditentukan dengan grafik dengan persamaan:

- *Liquefied gas* (Kurva A)

$$\text{Log (Y)} = -0,289069 + 0,472171 (\text{Log X}) - 0,074585 (\text{Log X})^2 - 0,018641 (\text{Log X})^3$$

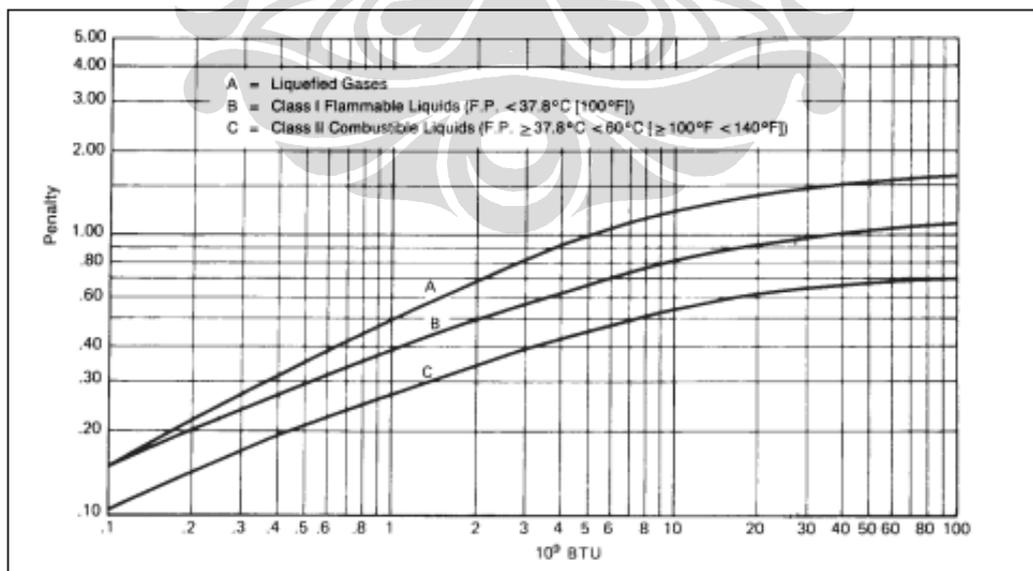
- Class I *Flammable liquids* (F.P < 100<sup>0</sup>F) (Kurva B)

$$\text{Log (Y)} = -0,403115 + 0,378703 (\text{Log X}) - 0,046402 (\text{Log X})^2 - 0,015379 (\text{Log X})^3$$

- Class *Combustible liquids* (100<sup>0</sup>F < F.P < 140<sup>0</sup>F) (Kurva C)

$$\text{Log (Y)} = -0,558394 + 0,363321 (\text{Log X}) - 0,057296 (\text{Log X})^2 - 0,010759 (\text{Log X})^3$$

Dimana Y adalah penalti dan X adalah total energi dalam proses (BTU x 10<sup>9</sup>).



**Grafik 2.2. Liquids or Gases in Storage**

Sumber: (American Institute of Chemical Engineers, 1994)

3. *Combustible Solids* dalam penimbunan atau debu dalam proses.

Penalti didasarkan pada densitas dari material, kemudahan dan kemampuan untuk tetap menyala.

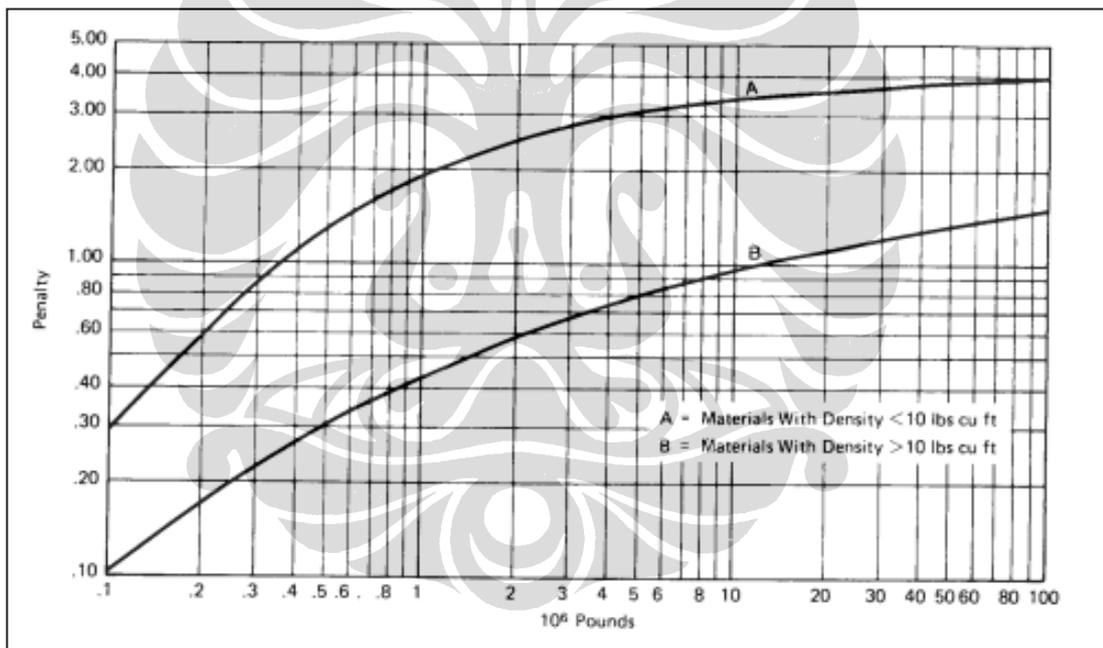
Penalti dapat ditentukan dengan grafik dengan persamaan:

- Material dengan densitas  $< 10 \text{ lb/ft}^3$  ( $160,2 \text{ kg/m}^3$ ) (Kurva A)  

$$\text{Log } Y = 0,280423 + 0,464559 \times \text{Log } X - 0,28291 \times (\text{Log } X)^2 + 0,066218 \times (\text{Log } X)^3$$
- Material dengan densitas  $> 10 \text{ lb/ft}^3$  ( $160,2 \text{ kg/m}^3$ ) (Kurva B)  

$$\text{Log } Y = -0,358311 + 0,459926 \times \text{Log } X - 0,141022 \times (\text{Log } X)^2 + 0,02276 \times (\text{Log } X)^3$$

Dimana Y adalah penalti dan X adalah total energi dalam proses ( $\text{BTU} \times 10^6$ ).



**Grafik 2.3. Combustible Solids in Storage/Dust in Process**

Sumber: (American Institute of Chemical Engineers, 1994)

h. *Corrosion and Erosion* (Korosi dan Erosi)

Laju korosi adalah jumlah laju internal dan eksternal. Penalti ditentukan sebagai berikut:

1. Jika laju korosi  $< 0,005$  in/tahun ( $0,127$  mm/tahun) dengan risiko erosi lokal atau pori – pori, penalti 0,10.
  2. Jika laju korosi lebih dari  $0,127$  mm/tahun tetapi kurang dari  $0,254$  mm/tahun, penalti 0,20.
  3. Jika laju korosi lebih dari  $0,254$  mm/tahun, penalti 0,50.
  4. Jika ada risiko retak akibat korosi, penalti 0,75. Hal ini terjadi pada area proses yang terkontaminasi uap klorin dalam waktu yang lama.
  5. Jika ada pemasangan lining (pelapisan) untuk menghindari korosi, penalti 0,20.
  6. Jika terdapat lining untuk melindungi produk dari perubahan warna maka tidak ada penalti.
- i. *Leakage – Joint and Packing* (Kebocoran)
- Kebocoran dari *flammable* atau *combustible* fluids dapat ditemukan di *gaskets*, *seals of joints*, *shafts*, atau *packings*, khususnya di tempat terjadinya *thermal and pressure cycling*. Penalti ditentukan berdasarkan disain dari unit proses dengan ketentuan:
1. Jika terdapat kemungkinan kebocoran kecil pada pompa dan gland, penalti 0,10.
  2. Jika kebocoran terjadi teratur pada pompa, *compressor*, dan *flange joints*, penalti 0,30.
  3. Proses yang berpotensi mengalami *thermal and pressure cycling*, penalti 0,30.
  4. Proses dimana mungkin terjadi abrasi pada *sealing* atau pada proses yang menggunakan *rotating shaft seal* atau *packing*, penalti 0,40.
  5. Unit proses yang menggunakan *sight glasses*, *belows assemblies* atau *expansion joints*, maka penalti 1,50.
- j. *Used of Fire Equipment* (Penggunaan Peralatan Pembakar)
- Penalti ini diberikan bila ada bahaya tambahan akibat adanya peralatan pembakar, ditentukan berdasarkan jarak dari titik kebocoran dalam unit proses sampai tempat masuknya udara ke peralatan pembakar. Penalti ditentukan dengan menggunakan grafik 4 dan dengan persamaan sebagai berikut:
1. Material yang diproses diatas titik nyalanya dan untuk *combustible dust*.

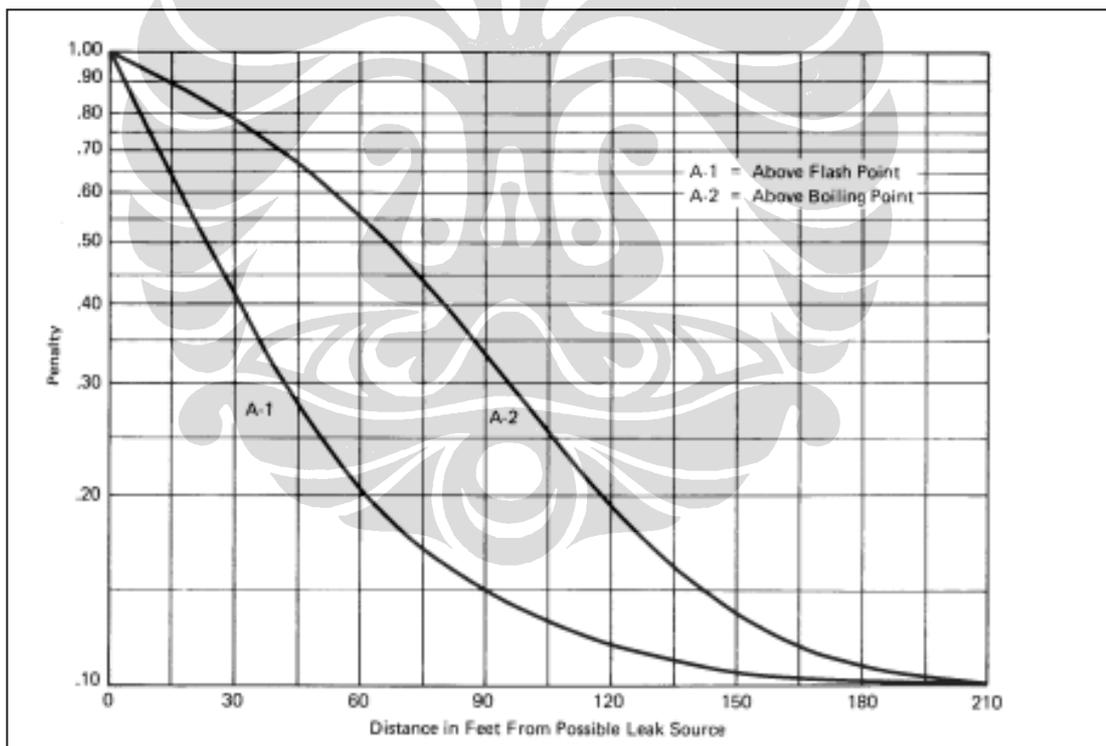
$$\text{Log } Y = -3,3243 \left( \frac{X}{210} \right) + 3,75127 \left( \frac{X}{210} \right)^2 - 1,42523 \left( \frac{X}{210} \right)^3$$

2. Material yang diproses diatas titik didihnya

$$\text{Log } Y = -0,3745 \left( \frac{X}{210} \right) + 2,70212 \left( \frac{X}{210} \right)^2 - 2,09171 \left( \frac{X}{210} \right)^3$$

Dimana Y adalah penalti dan X adalah jarak dari titik kebocoran dalam unit proses sampai tempat masuknya udara ke peralatan pembakar (ft).

Walaupun material tidak dipanasnkan sampai di atas titik nyalanya, jika pembakaran merupakan pemanasan *flammable* atau *combustible material*, maka penalti 1,00. Jika peralatan pembakaran berada dalam area proses dan terdapat kemungkinan material dalam unit proses dapat keluar diatas titik nyalanya, maka penalti minimum 0,10. Jika peralatan adalah pressure burner maka penalti diatas dapat dikurangi 50%.



**Grafik 2.4. Penggunaan Peralatan Pembakar**

Sumber : (American Institute of Chemical Engineers, 1994)

k. *Hot Oil Heat Exchange System* (Sistem Pertukaran Minyak Panas)

Penalti diberikan berdasarkan banyaknya kuantitas dan temperature perubahan panas cairan yang digunakan dalam unit proses. Terdapat pengecualian dalam memberikan penalti ini, yaitu untuk *non-combustible hot oil* atau *combustible fluid* yang digunakan dibawah titik nyalanya tidak diberikan penalti. Dalam perhitungan penalti digunakan kuantitas cairan yang lebih kecil dalam kebocoran selama 15 menit atau *hot oil inventory* dalam *active circulating hot oil system*. Berikut adalah table yang digunakan untuk pemberian penalti sistem pertukaran minyak panas.

**Tabel 2.7. Penalti Sistem Pertukaran Minyak Panas**

Kuantitas gallon (m3)	Penalti	
	Diatas titik nyala	Pada atau diatas titik didih
< 5.000 (<18,9)	0,15	0,25
5.000 – 10.000 ( 18,9 – 37,9)	0,30	0,45
10.000 – 25.000 (37,9 – 94,6)	0,50	0,75
> 25.000 (>94,6)	0,75	1,15

Sumber: (American Institute of Chemical Engineers, 1994)

l. *Rotating Equipment* (Peralatan Berputar)

Penalti ini memperhatikan bahaya terhadap suatu untuk proses yang berasal dari peralatan berputar. Berdasarkan bukti statistik mengindikasikan adanya kontribusi pompa, kompresor, agitator, dan centrifugal dalam ukuran tertentu terhadap terjadinya potensial insiden.

Untuk unit proses yang memiliki peralatan seperti dibawah ini diberikan penalti 0,50:

1. Kompresor dengan kapasitas melebihi 600 hp
2. Pompa dengan kapasitas melebihi 75 hp

3. Agitators (*mixer*) dan pompa sirkulasi yang dapat menimbulkan reaksi eksotermis ketika mengalami kegagalan operasi
4. Peralatan dengan kecepatan berputar yang tinggi dengan riwayat kerusakan yang besar.

### 2.5.5 Menentukan *process unit hazard factor* (F3)

*Process unit hazard factor* (F3) merupakan gabungan dari semua faktor yang kemungkinan berkontribusi terhadap terjadinya insiden kebakaran dan ledakan. F3 ditentukan dengan persamaan:

$$F3 = F1 \times F2$$

F1 adalah *General process hazards factor* dan F2 adalah *Special Process Hazards Factor*. F3 memiliki rentang nilai 1 – 8. Oleh karena itu, bila dari perhitungan di dapat nilai F3 lebih dari 8, maka gunakan nilai maksimum 8.

### 2.5.6 *Process unit analysis summary*

*Process unit risk analysis summary* merupakan ringkasan dari semua informasi penting untuk menganalisa risiko dan dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam membuat keputusan dalam upaya manajemen risiko kebakaran dan ledakan.

*Process unit risk analysis summary* terdiri atas:

1. *Fire and Explosion Index* (F&EI)
2. Radius Paparan (*The Radius of Exposure*)
3. Luas Daerah Terpajan (*The Area of Exposure*)
4. Nilai Daerah Terpajan (*Value of the Area of Exposure*)
5. Faktor Kerusakan (*Damage Factor*)
6. Nilai Kerugian Dasar (*Base Maximum Probable Property Damage*)
7. Faktor Pengurang Nilai Kerugian (*Loss Control Credit Factor*)
8. Nilai Kerugian Sebenarnya (*Actual Maximum Probable Property Damage*)
9. Hari Kerja yang Hilang (*Maximum Probable Days Outage*)
10. Nilai Kerugian Akibat Terhentinya Bisnis (*Business Interruption*)

### 2.5.7 Menentukan *Fire and Explosion Index (F&EI)*

Nilai F&EI merupakan gambaran potensi bahaya yang ada dalam unit proses yang dapat dikategorikan berdasarkan tingkat bahaya seperti yang ada dalam table 2 dibawah ini.

Nilai F&EI ditentukan dengan persamaan:

$$F\&EI = F3 \text{ (process unit hazard factor)} \times MF \text{ (material factor)}$$

**Tabel 2.8. Klasifikasi Tingkat Bahaya Berdasarkan F&EI**

Kisaran F&EI	Tingkat Bahaya
1 – 60	Ringan
61 – 96	Moderat
97 – 127	Intermediat
128 – 158	Berat
159 – ke atas	Parah

Sumber: (American Institute of Chemical Engineers, 1994)

### 2.5.8 Menentukan radius pajanan (*the radius of exposure*)

Radius pajanan adalah radius dimana semua peralatan pada jarak tersebut terkena efek atau dampak jika terjadi kebakaran dan ledakan. Dalam menentukan radius pajanan pada unit proses yang kecil, radius dihitung mulai dari titik pusat unit proses. Sedangkan untuk unit proses yang besar, radius dihitung mulai dari tepi dinding luar unit proses tersebut. Nilai F&EI dapat dikonversi ke radius pajanan dengan persamaan:

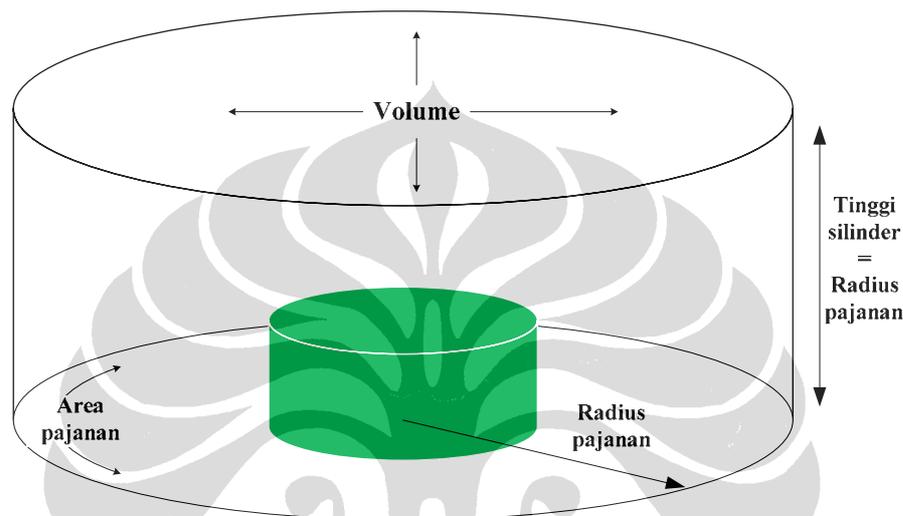
$$\text{Radius Pajanan (ft)} = 0,84 \times F\&EI$$

### 2.5.9 Menentukan luas daerah pajanan (*the area of exposure*)

Luas daerah pajanan ditentukan dari radius pajanan dengan menggunakan persamaan luas lingkaran sebagai berikut:

Luas Daerah Pajanan ( $\text{ft}^2$ ) =  $\pi R^2$  (R adalah radius pajanan)

Seluruh peralatan yang berada dalam area of exposure akan terkena dampak atau efek dari kejadian kebakaran dan ledakan. Untuk menghitung peralatan yang terkena dampak dari kejadian kebakaran dan ledakan digunakan nilai volume silindris yang didapatkan dari hasil pengalihan *area of exposure* dengan tinggi silinder yang setara dengan *radius of exposure*, seperti digambarkan sebagai berikut:



**Gambar 2.13. Radius Pajanan dan Area Pajanan**

Sumber : (American Institute of Chemical Engineer, 1994)

#### 2.5.10 Menentukan nilai daerah pajanan (*value of the area of exposure*)

Nilai daerah terpajan adalah nilai pergantian (*replacement value*) dari seluruh peralatan dan isinya yang akan rusak atau hilang termasuk barang – barang inventaris jika terjadi kebakaran dan ledakan. Nilai daerah terpajan ditentukan dengan persamaan:

Nilai Pergantian = Biaya Asli x 0,82 x Faktor Eskalasi

Faktor eskalasi adalah *Chemical Engineering Plant Cost Index* (CEPCI) yang nilainya berbeda setiap tahun dan tersedia di beberapa *chemical engineering journals*. Berikut ini adalah nilai faktor eksalasi pada beberapa tahun terakhir.

**Tabel 2.9. Nilai *Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI)***

Tahun	CEPCI	Tahun	CEPCI	Tahun	CEPCI	Tahun	CEPCI
1969	119	1979	238.7	1989	355.4	1999	390.6
1970	125.7	1980	261.2	1990	357.6	2000	394.1
1971	132.3	1981	297	1991	361.3	2001	394.3
1972	132.3	1982	314	1992	358.2	2002	395.6
1973	144.1	1983	316.9	1993	359.2	2003	401.7
1974	164.4	1984	322.7	1994	368.1	2004	444.2
1975	182.4	1985	325.3	1995	381.1	2005	468.2
1976	192.1	1986	318.4	1996	381.7	2006	499.6
1977	204.1	1987	323.8	1997	386.5	2007	525.4
1978	218.8	1988	342.5	1998	389.5	Mar-08	549.2

Sumber : (Chemical Engineering Journal, 2008)

Faktor 0,82 adalah kelonggaran untuk nilai pergantian tidak memperhitungkan biaya persiapan lahan, pembuatan jalan, pondasi, jalur pipa dalam tanah, perekayasa dan lain – lain. Faktor tersebut dapat berubah jika faktor yang lebih akurat tersedia.

#### 2.5.11 Menentukan faktor kerusakan (*damage factor*)

Faktor kerusakan adalah faktor yang mempengaruhi besar kecilnya kerusakan dan kerugian yang terjadi jika terjadi kebakaran dan ledakan. Faktor kerusakan ditentukan berdasarkan *process unit hazard factors* (F3) dan *material factors* (MF). Nilai MF besarnya 1, 4, 10, 14, 16, 21, 24, 29, dan 40 dan F3 besarnya 1,00 – 8,00. Bila F3 besarnya lebih besar dari 8,00 maka nilai F3 yang digunakan tetap 8,00. Faktor kerusakan ditentukan dengan persamaan:

- Material faktor = 1

$$Y = 0,003907 + (0,002957 \times X) + (0,004031 \times (X)^2) - (0,00029 \times (X)^3)$$

- Material faktor = 4

$$Y = 0,025817 + (0,019071 \times X) + (0,00081 \times (X)^2) - (0,00029 \times (X)^3)$$

- Material faktor = 10

$$Y = 0,098582 + (0,017596 \times X) + (0,000809 \times (X)^2) - (0,000013 \times (X)^3)$$

- Material faktor = 14

$$Y = 0,20592 + (0,017596 \times (X)) + (0,007628 \times (X)^2) - (0,00057 \times (X)^3)$$

- Material faktor = 16

$$Y = 0,256741 + (0,019886 \times (X)) + (0,011055 \times (X)^2) - (0,00088 \times (X)^3)$$

- Material faktor = 21

$$Y = 0,340314 + (0,076531 \times (X)) + (0,003912 \times (X)^2) - (0,00073 \times (X)^3)$$

- Material faktor = 24

$$Y = 0,395755 + (0,096443 \times (X)) + (0,00135 \times (X)^2) - (0,00038 \times (X)^3)$$

- Material faktor = 29

$$Y = 0,484766 + (0,094288 \times (X)) + (0,00216 \times (X)^2) - (0,00031 \times (X)^3)$$

- Material faktor = 40

$$Y = 0,554175 + (0,080772 \times (X)) + (0,000332 \times (X)^2) - (0,00044 \times (X)^3)$$

Dimana Y adalah faktor kerusakan dan X adalah *process unit hazard factors* (F3).

### 2.5.12 Menentukan nilai kerugian dasar

*(base maximum probable property damage)*

Nilai kerugian dasar adalah nilai kerugian secara teoritis berdasarkan luas daerah terpajan. Nilai kerugian dasar ditentukan berdasarkan nilai daerah terpajan dan faktor kerusakan dengan persamaan:

$$\text{Nilai kerugian} = \text{Nilai Daerah Pajanan} \times \text{Faktor Kerusakan}$$

### 2.5.13 Menentukan faktor pengendali nilai kerugian

*(loss control credit factor)*

*Loss control credit factor* (LCCF) merupakan faktor pengendali kerugian (*loss control*) yang dapat mencegah atau membatasi kerugian jika terjadi kebakaran dan ledakan. LCCF terdiri atas tiga kategori yaitu:

1. *Process Control* (C1)
2. *Material Control* (C2)
3. *Fire Protection* (C3)

Jika tidak ada pengendalian kerugian maka nilai kredit adalah 1. LCCF ditentukan dengan persamaan:

$$\text{LCCF} = C1 \times C2 \times C3$$

a. *Process Control Credit Factor (C1)*

C1 merupakan hasil perkalian semua faktor kredit dari sembilan item dalam *process control* sebagai berikut:

1. *Emergency Power* (Pembangkit Listrik Darurat)

Bila terdapat pembangkit listrik darurat, kredit 0,98.

2. *Cooling* (Pendingin)

- Bila sistem pendinginan mampu mendinginkan peralatan minimal 10 menit selama kondisi abnormal, kredit 0,99.
- Bila sistem pendinginan mampu mendinginkan 150 % kebutuhan pendinginan paling sedikit selama 10 menit, kredit 0,97.

3. *Explosions Control* (Pengendalian Ledakan)

- Bila terdapat sistem pencegahan ledakan pada *dust/vapor handling equipment*, kredit 0,84.
- Bila sistem pelepasan tekanan berlebih berupa *rupture disks* atau *explosions-relieving vent*, kredit 0,98.
- Bila terdapat sistem pelepasan tekanan seperti *safety relief valve* yang membutuhkan tekanan seluruh *vessel* atau *emergency relief vent* di tangki timbun, kredit 1,00.

4. *Emergency Shutdown* (Penghentian Darurat)

- Bila terdapat *redundant system* sebagai permulaan urutan langkah *shutdown*, kredit 0,98.
- Untuk *rotating equipment* (seperti *compressor*, turbin, kipas angin) bila dilengkapi dengan deteksi getaran yang hanya memberikan alarm, kredit 0,99. Tetapi bila secara otomatis dapat mematikan operasi, kredit 0,96.

5. *Computer Control* (Pengendalian Komputer)

- Bila operasi sering berjalan tanpa bantuan komputer, kredit 0,99.
- Bila komputer dengan *failsafe logic* dipakai untuk mengendalikan proses, kredit 0,97.

- Bila salah satu dari tiga hal berikut digunakan, kredit 0,93. Tiga hal tersebut adalah:
  - a. *Redundant critical field inputs*.
  - b. *Abort feature pada input kritis*.
  - c. Kemampuan *back up* untuk sistem kendali.

6. *Inert Gas (Gas Inert)*

- Bila peralatan yang mengandung uap mudah terbakar selalu dilindungi dengan gas *inert* secara kontinyu, kredit 0,96.
- Bila sistem gas *inert* mempunyai kapasitas yang cukup untuk melapisi keseluruhan total volume unit proses secara otomatis, kredit 0,94.
- Bila sistem *inert* hanya akan bekerja jika dihidupkan atau dikontrol secara manual, kredit 1,00.

7. *Operating Instruction/Procedures (Prosedure atau Instruksi Operasi)*

Kredit didapatkan dengan persamaan:

$$\text{Kredit} = 1,0 - (X/150)$$

Dimana X adalah jumlah dari nilai beberapa butir dibawah ini. Bila semua butir terpenuhi, maka kredit sebesar 0,91 ( $1,0 - (13,5/150) = 0,91$ ).

a. <i>Start up</i>	0,5
b. <i>Shutdown</i> rutin	0,5
c. Kondisi operasi normal	0,5
d. Kondisi operasi turndown	0,5
e. Kondisi operasi <i>standby running</i>	0,5
f. Kondisi operasi diatas normal	0,5
g. Restart segera setelah shutdown	1,0
h. Restart segera perbaikan	1,0
i. Prosedur pemeliharaan	1,5
j. <i>Emergency shutdown</i>	1,5
k. Modifikasi, penambahan peralatan	2,0
l. Sistem abnormal yang dapat diperkirakan	3,0

8. *Reactive Chemical Review* (Tinjauan Terhadap Bahan Kimia Reaktif)

- Bila review penanganan bahan – bahan kimia merupakan kelanjutan dari operasi, kredit 0,91.
- Bila review hanya dilakukan sekali – kali, kredit 0,98.

9. *Other Process Hazards Analysis* (Analisis Bahaya Proses yang lain)

Bila sudah dilakukan analisis bahaya proses maka kredit ditentukan berdasarkan analisis bahaya proses yang digunakan tersebut, berikut ini nilai kredit untuk jenis analisis bahaya proses:

- |  |      |
|--|------|
| • <i>Quantitative Risk Assessment (QRA)</i>      | 0,91 |
| • <i>Consequence Analysis</i>                    | 0,93 |
| • <i>Fault Tree Analysis (FTA)</i>               | 0,93 |
| • <i>Hazard and Operability (Hazop) Studies</i>  | 0,94 |
| • <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i> | 0,94 |
| • <i>EHS and Loss Prevention Review</i>          | 0,96 |
| • <i>What If Studies</i>                         | 0,96 |
| • <i>Check List</i>                              | 0,98 |
| • <i>Management of Change Review</i>             | 0,98 |

Jika digunakan lebih dari satu analisis bahaya proses, maka nilai kredit yang diambil adalah nilai kredit yang paling rendah dari analisis bahaya proses yang digunakan.

b. *Material Control Credit Factor (C2)*

C2 merupakan hasil perkalian semua faktor kredit dari empat item dalam *material control* sebagai berikut:

1. *Remote Control Valves* (Katup yang Dikendalikan Dari Jauh)

- Bila unit proses dilengkapi dengan *remote control valve*, kredit 0,98.
- Bila katup – katup ditukar tempat paling sedikit sekali setahun, kredit 0,96.

2. *Dump/Blowdown* (Tangki Penampungan)

- Bila dalam keadaan darurat tersedia dump tank untuk menampung isi unit proses dengan aman, kredit 0,98.
- Bila dump tank terletak di luar area unit proses, kredit 0,96.

- Bila untuk venting darurat digunakan pipa yang dihubungkan ke *flare system* atau *receiver* dengan vent yang tertutup, kredit 0,96
- Bila vent dipasang pada *flare system* atau *receiver*, kredit 0,98.

### 3. *Drainage* (Drainase)

- Bila pada unit proses terdapat kemiringan/slope paling tidak 2% dari permukaan yang menuju pada lubang/selokan drainase dengan ukuran yang cukup untuk menampung atau mengalirkan bocoran sebanyak 100% volume tangki terbesar ditambah 10% volume tangki nomor 2 terbesar ditambah *fire water sprinkler* pada waktu usaha pemadaman yang telah di-setting, kredit 0,91.
- Bila pada unit proses terdapat kemiringan/slope paling tidak 2% dari permukaan yang menuju pada lubang/selokan drainase dengan ukuran yang cukup untuk menampung atau mengalirkan bocoran sebanyak 50% volume tangki terbesar (bocoran kecil), kredit 0,97
- Bila pada unit proses terdapat kemiringan/slope paling tidak 2% dari permukaan yang menuju pada lubang/selokan drainase dengan bocoran menengah sebanyak 50 – 100 % volume tangki terbesar, kredit 0,95.
- Bila bocoran hanya ditampung dalam area *bund wall* tanpa ada aliran, kredit 1,00.
- Bila ada kolam penampungan berjarak minimal 15 meter dan mampu menampung bocoran sebanyak 100% volume tangki terbesar ditambah 10% volume tangki nomor 2 terbesar ditambah *fire water sprinkler* pada waktu usaha pemadaman yang telah di-setting, kredit 0,95.
- Bila kolam penampungan berjarak lebih dekat dari 15 meter, kredit 1,00.
- Bila sistem drainase dalam kondisi baik yang dapat mengalirkan tumpahan yang ada dibawah atau dekat tangki dan peralatan, kredit 0,91.
- Bila pada unit proses tidak terdapat *slope*, *bund wall*, sistem drainase, ataupun kolam penampungan, kredit 1,00.

#### 4. *Interlock*

- Bila proses dilengkapi dengan sistem *interlock* yang mencegah masuknya material yang salah ke dalam proses, kredit 0,98.
- Bila tidak terdapat sistem *interlock*, kredit 1,00

#### c. *Fire Protection Credit Factor (C3)*

C3 merupakan hasil perkalian semua faktor kredit dari sembilan item dalam *fire protection* sebagai berikut:

##### 1. *Leak Detection* (Deteksi Kebocoran)

- Bila *gas detector* hanya mampu mengaktifkan alarm dan menunjukkan tempat kebocoran, kredit 0,98.
- Bila *gas detector* mampu mengaktifkan alarm dan sistem proteksi sebelum *Lower Flammability Limit* (LEL) tercapai, kredit 0,94.

##### 2. *Structural Steel* (Baja Struktural)

- Bila dipasang *water spray* khusus untuk pendinginan struktur, kredit 0,98.
- Bila semua baja struktural dilapisi dengan *fireproofing* setinggi minimal 5 meter. Kredit 0,98.
- Bila semua baja struktural dilapisi dengan *fireproofing* setinggi 5 – 10 meter, kredit 0,97.
- Bila semua baja struktural dilapisi dengan *fireproofing* setinggi lebih dari 10 meter, kredit 0,95.
- Bila tidak dipasang *fireproofing* maupun sistem *sprinkler* pada unit proses, kredit 1,00.

##### 3. *Fire Water Supply* (Pasokan Air Pemadam)

- Bila tekanan air pemadaman minimal 100 psig, kredit 0,94.
- Bila tekanan air pemadaman kurang dari 100 psig, kredit 0,97.
- Bila air pemadaman tersedia untuk operasi minimal 4 jam, kredit 0,97 dan bila kurang dari 4 jam, kredit 1,00.

##### 4. *Spesial System* (Sistem Khusus)

- Bila ada sistem khusus seperti CO<sup>2</sup>, detektor asap, detektor nyala, dinding penahan ledakan, kredit 0,91.

- Bila ada dinding ganda (*double wall*) pada tangki di atas tanah, kredit 0,91.

#### 5. *Sprinkler Systems* (Sistem *Sprinkler*)

Bila ada sistem *deluge*, kredit 0,97.

Besarnya faktor kredit untuk sistem pipa basah (*wet pipe*) atau pipa kering (*dry pipe*) yang digunakan dalam bangunan atau gudang dapat diperoleh dari table berikut ini.

**Tabel 2.10. Faktor Kredit Untuk Sistem Pipa Basah dan Pipa Kering**

Peruntukan	Disain (gpm/ft <sup>2</sup> )	Factor kredit	
		Pipa basah	Pipa kering
Ringan	0,15 – 0,20	0,87	0,87
Sedang	0,21 – 0,34	0,81	0,84
Bahaya Berat	≥ 0,35	0,74	0,81

Sumber: (American Institute of Chemical Engineers, 1994)

Terdapat penilaian lain jika area yang menggunakan sistem tersebut lebih luas dari 929 m<sup>2</sup> (10.000 ft<sup>2</sup>), maka factor kredit yang diperoleh dari table diatas dikalikan dengan:

- 1,06 untuk area dengan luas lebih dari 929 m<sup>2</sup> (10.000 ft<sup>2</sup>)
- 1,09 untuk area dengan luas lebih dari 1.858 m<sup>2</sup> (20.000 ft<sup>2</sup>)
- 1,12 untuk area dengan luas lebih dari 2787 m<sup>2</sup> (30.000 ft<sup>2</sup>)

#### 6. *Water Curtain* (Tabir Air)

- Bila ada sebaris *nozzle* dengan elevasi maksimum 5 meter, kredit 0,98.
- Bila ada dua baris *nozzle* dengan elevasi maksimum 2 meter diatas baris pertama, kredit 0,97.
- Bila tidak terdapat *water curtain* pada unit proses, kredit 1,00.

#### 7. *Foam* (Busa)

- Bila ada sistem busa yang dapat dioperasikan dari jauh, kredit 0,94 dan bila sistem tersebut otomatis, kredit 0,92.

- Bila sistem busa dioperasikan secara manual untuk tangki *floating roof*, kredit 0,97.
- Bila ada detektor untuk mengaktifkan sistem busa, kredit 0,94.
- Bila digunakan sistem *subsurface/injection* untuk tangki *fixed roof*, kredit 0,95.
- Bila busa digunakan untuk pemadaman bagian luar tangki secara otomatis, kredit 0,97, sedangkan bila secara manual, kredit 0,94.
- Bila tidak terdapat sistem busa pada unit proses, kredit 1,00.

#### 8. *Hand Extinguisher/Monitors* (APAR/Monitor)

- Bila terdapat *hand extinguisher/monitors* dalam jumlah cukup, kredit 0,98.
- Bila terpasang *gun monitor* di area proses, kredit 0,97.
- Bila monitor dapat dioperasikan dari jarak jauh, kredit 0,95.
- Bila monitor dilengkapi dengan *foam injection*, kredit 0,93.
- Bila tidak terdapat *hand extinguisher/monitors* pada unit proses, kredit 1,00.

#### 9. Cable Protection (Proteksi Kabel)

- Bila untuk proteksi digunakan plat logam dengan ketebalan 14 – 16 gauge dibawah *tray* dengan *water spray* diatas *tray*, kredit 0,98.
- Bila dipasang *fireproofing* pada plat, kredit 0,98.
- Bila kabel ditanam dibawah tanah, kredit 0,94.
- Bila tidak terdapat proteksi kabel pada unit proses, kredit 1,00.

### 2.5.14 Menentukan nilai kerugian sebenarnya

#### *(actual maximum probable property damage)*

Nilai kerugian sebenarnya adalah nilai kerusakan material dan peralatan yang sebenarnya jika terjadi kebakaran dan ledakan yang dipengaruhi dengan adanya faktor pengendali nilai kerugian. Hal ini dikarenakan adanya sistem pengendali kerugian akan mengurangi besarnya insiden dan mengurangi dampak dari insiden. Oleh karena itu, nilai kerugian dasar harus dimodifikasi berdasarkan

faktor pengendali nilai kerugian untuk mendapatkan nilai kerugian sebenarnya dengan persamaan:

$$\text{Nilai Kerugian Sebenarnya} = \text{Base MPPD} \times \text{LCCF}$$

Base MPPD adalah nilai kerugian dasar dan LCCF adalah faktor pengendali kerugian.

### 2.5.15 Menentukan hari kerja yang hilang

*(maximum probable days outage)*

Hari kerja yang hilang adalah kemungkinan hari hilang maksimum akibat terhentinya pabrik jika terjadi kebakaran dan ledakan. Lamanya hari kerja hilang dipengaruhi oleh kemampuan untuk memperbaiki peralatan yang rusak. Jika tidak diketahui data mengenai kemampuan perusahaan untuk memperbaiki kerusakan dan memulai operasi normal, lamanya hari yang hilang dapat ditentukan dengan memperhatikan peralatan yang harus diperbaiki dengan persamaan sebagai berikut:

- Untuk peralatan yang sulit didapat (*the upper 70 % probability*):

$$\text{Log}(Y) = 1,550233 + 0,598416 \times \text{Log}(X/10^6)$$

- Peralatan yang tidak sulit didapat dan tidak ada dalam stok (normal):

$$\text{Log}(Y) = 1,325132 + 0,592471 \times \text{Log}(X/10^6)$$

- Peralatan yang ada dalam stok (*Lower 70 % probability limit*):

$$\text{Log}(Y) = 1,045515 + 0,610426 \times \text{Log}(X/10^6)$$

Dimana Y adalah hari kerja yang hilang dan X adalah nilai kerugian sebenarnya. Dibawah ini merupakan grafik yang menggambarkan hari kerja yang hilang dihitung berdasarkan kerugian sebenarnya dalam US Dollar tahun 1986, sehingga nilai kerugian sebenarnya sebelum digunakan untuk mencari hari kerja yang hilang harus dikonversi terlebih dahulu ke nilai kerugian sebenarnya berdasarkan US Dollar tahun 1986.

### 2.5.16 Menentukan nilai kerugian akibat terhentinya bisnis

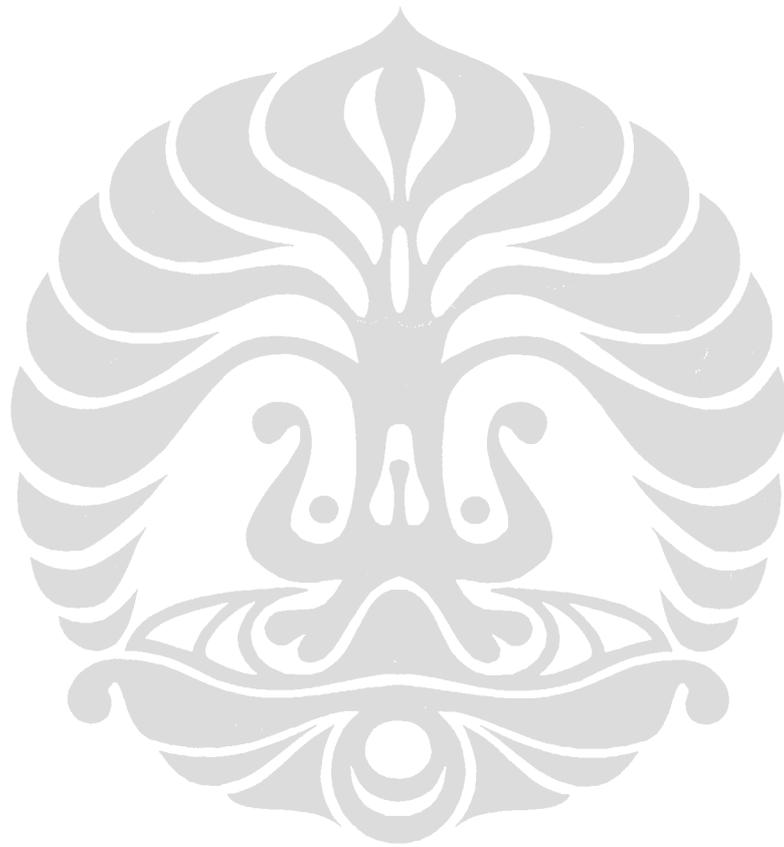
*(business interruption)*

Nilai kerugian akibat terhentinya bisnis adalah kerugian yang diderita karena terhentinya bisnis untuk sementara akibat terjadinya kebakaran dan ledakan. Nilai kerugian akibat terhentinya bisnis ditentukan dengan persamaan:

Nilai Kerugian Akibat Terhentinya Bisnis = MPDO x (VPM/30) x 0,70

Dimana:

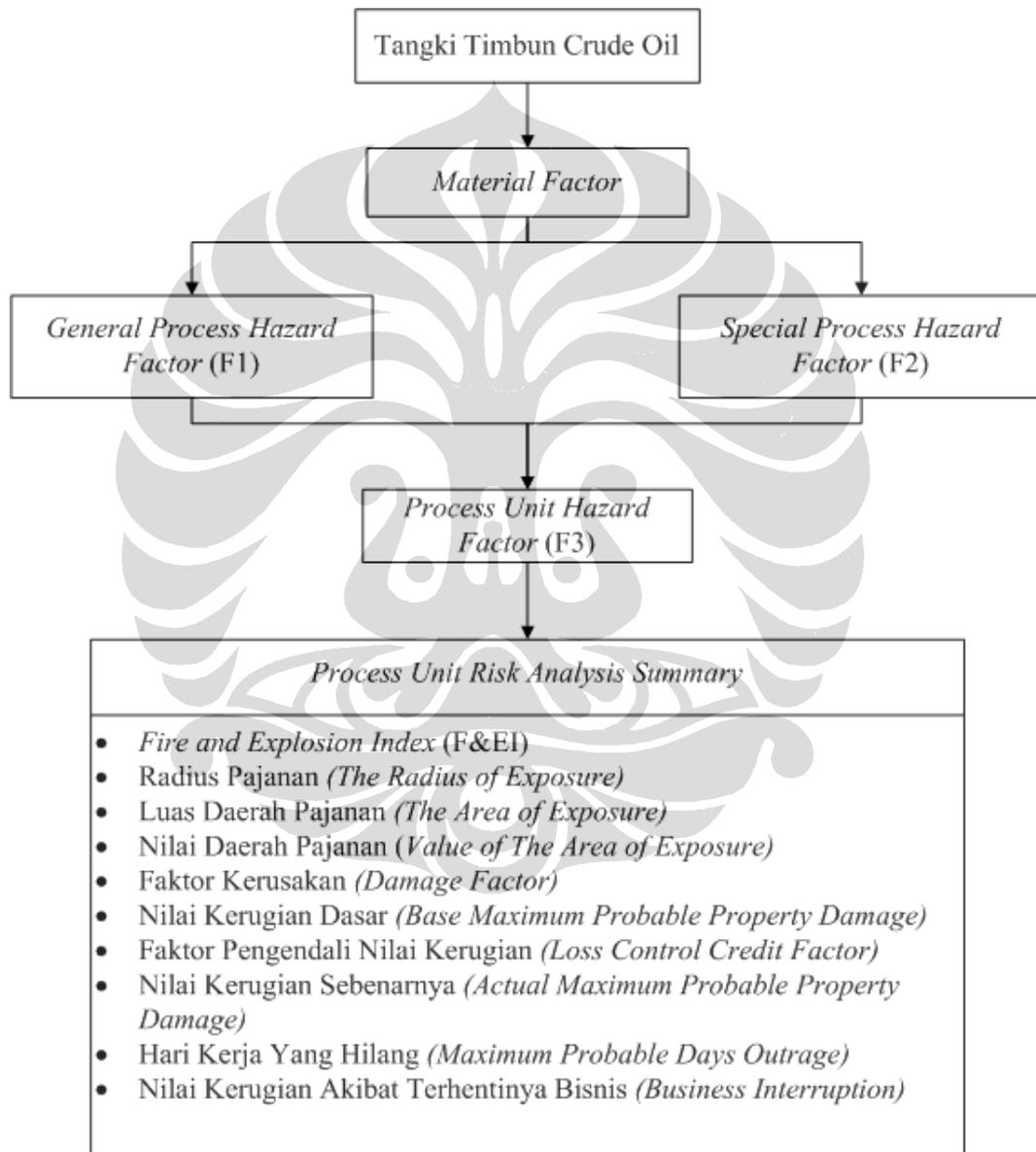
- MPDO adalah hari kerja yang hilang
- VPM adalah nilai produksi selama satu bulan (*value of production of the month*)
- 0,70 adalah faktor pengali untuk *fixed cost and profit* (30% dari nilai total produksi selama 1 bulan).



# BAB 3

## KERANGKA KONSEP, DAN DEFINISI OPERASIONAL

### 3.1 Kerangka Konsep



### 3.2 Definisi Operasional

Variable	Definisi	Alat Ukur	Cara Ukur	Hasil Ukur	Skala Ukur
Tangki Timbun <i>Crude Oil</i>	Unit yang akan diteliti yang berisi <i>Crude Oil</i>	Pedoman <i>Fire and Explosion Index</i>	Menyesuaikan tangki timbun <i>Crude Oil</i> dengan standar yang ada dalam Pedoman <i>Fire and explosion index</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tangki dengan jumlah material sedikit dan memiliki potensi bahaya besar.</li> <li>2. Tangki dengan jumlah material banyak dan memiliki potensi bahaya besar</li> <li>3. Tangki dengan jumlah material sedikit dan memiliki potensi bahaya kecil</li> <li>4. Tangki dengan jumlah material banyak dan memiliki potensi bahaya kecil</li> </ol>	ordinal

<i>Material Factor</i>	Ukuran potensi bahaya kebakaran dan ledakan atau energi yang dilepaskan oleh material yang ada di tangki timbun <i>Crude Oil</i> berdasarkan pada sifat material tersebut.	Pedoman <i>Fire and Explosion Index</i>	Menyesuaikan sifat fisik dan kimia material yang ada di tangki timbun <i>Crude Oil</i> dengan standar yang ada dalam Pedoman <i>Fire and Explosion Index</i> .	1, 4, 10, 14, 16, 21, 24, 29, dan 40	Ordinal
<i>General Process Hazard Factor (F1)</i>	Faktor bahaya yang berhubungan dengan jenis proses serta operasi yang ada dalam tangki timbun <i>Crude Oil</i> , yang dikuantifikasikan sebagai angka – angka denda atau penalti.	Pedoman <i>Fire and Explosion Index</i>	Menyesuaikan kondisi tangki timbun <i>Crude Oil</i> dengan standar yang ada dalam Pedoman <i>Fire and Explosion Index</i> .	1,00 – 5,05	Ordinal
<i>Special Process Hazard Factor (F2)</i>	Faktor bahaya yang ditentukan oleh proses operasi, penyimpanan, dan pemindahan material yang dapat meningkatkan potensi bahaya yang ada dalam tangki timbun <i>Crude Oil</i> yang dikuantifikasikan sebagai angka – angka denda atau penalti	Pedoman <i>Fire and Explosion Index</i>	Menyesuaikan kondisi tangki timbun <i>Crude Oil</i> dengan standar yang ada dalam Pedoman <i>Fire and Explosion Index</i>	1,00 – 15,30	Ordinal

<i>Process Unit Hazard Factor (F3)</i>	Faktor bahaya yang ada di tangki timbun <i>Crude Oil</i> , baik yang berhubungan dengan material yang ada di unit proses tersebut maupun yang berhubungan dengan jenis proses serta operasi proses.	Pedoman <i>Fire and Explosion Index</i>	Mengalikan nilai F1 dan F2	1,00 – 8,00	Ordinal
<i>Fire and Explosion Index (F&amp;EI)</i>	Ukuran besarnya potensi bahaya kebakaran dan ledakan serta potensi reaktifitas dari peralatan proses beserta isinya secara objektif dan realistis	Pedoman <i>Fire and Explosion Index</i>	Mengalikan nilai F3 dengan nilai MF ( <i>Material Factor</i> )	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ringan (Nilai F&amp;EI : 1 – 60)</li> <li>2. Moderat (Nilai F&amp;EI : 61 – 96)</li> <li>3. Intermediate (Nilai F&amp;EI : 97 – 127)</li> <li>4. Berat (Nilai F&amp;EI : 128 – 158)</li> <li>5. Parah (Nilai F&amp;EI : &gt; 158 )</li> </ol>	Ordinal
Radius Pajanan ( <i>The Radius Of Exposure</i> )	Jarak yang dijangkau oleh ledakan jika terjadi ledakan di tangki timbun <i>Crude Oil</i> yang dapat memajan peralatan dan bangunan disekeliling tangki timbun <i>Crude Oil</i> tersebut	Pedoman <i>Fire and Explosion Index</i>	Mengalikan nilai F&EI dengan 0,84	Jarak dalam satuan feet (meter)	Rasio

Luas Daerah Pajanan ( <i>The Area of Exposure</i> )	Luas wilayah yang terpajan dan mengalami kerusakan jika terjadi kebakaran dan ledakan di tangki timbun <i>Crude Oil</i>	Pedoman <i>Fire and Explosion Index</i>	Menghitung dengan rumus $nr^2$ , dimana r adalah <i>Radius of Exposure</i>	Luas dalam satuan feet persegi (meter persegi)	Rasio
Nilai Daerah Pajanan ( <i>Value of the Area of Exposure</i> )	Nilai kerusakan dan penggantian peralatan serta bangunan jika terjadi kebakaran dan ledakan	Pedoman <i>Fire and Explosion Index</i>	Menghitung dengan rumus ( <i>Original Cost x 0,82 x Escalation Factor</i> )	Nilai dalam US \$ (Rp)	Rasio
Faktor Kerusakan ( <i>Damage Factor</i> )	Faktor yang mempengaruhi besar kecilnya nilai kerugian yang diderita jika terjadi kebakaran atau ledakan di tangki timbun <i>Crude Oil</i>	Pedoman <i>Fire and Explosion Index</i>	Mengkonversi nilai <i>Material Factor</i> dan F3 ke dalam grafik <i>Damage Factor</i> atau menghitungnya dengan menggunakan rumus yang tersedia pada Pedoman <i>Fire and Explosion Index</i> .	0,00 – 1,00	Ordinal

Nilai Kerugian dasar ( <i>Base Max Probable Property Damage</i> )	Nilai Kerugian yang diderita yang dipengaruhi oleh faktor kerusakan yang didasarkan kepada kerusakan peralatan dan tangki timbun <i>Crude Oil</i> sesuai dengan luas daerah terpajan.	Pedoman <i>Fire and Explosion Index</i>	Mengalikan nilai daerah terpajan dengan nilai faktor kerusakan.	Nilai dalam US \$ (Rp)	Rasio
Faktor Pengendali Nilai Kerugian ( <i>Loss Control Credit Factor</i> )	Faktor – faktor yang mempengaruhi nilai kerugian jika terjadi kebakaran dan ledakan yang didasarkan kepada ada atau tidaknya peralatan pengendalian kerugian.	Pedoman <i>Fire and Explosion Index</i>	Mengalikan nilai <i>Process Control Credit Factor (C1)</i> , <i>Material Isolation Credit Factor (C2)</i> , dan <i>Fire Protection Credit Factor (C3)</i> .	0.18 – 1,00	Ordinal
Nilai Kerugian Sebenarnya ( <i>Actual Maximum Probable Property Damage</i> )	Nilai kerugian yang sebenarnya diderita jika terjadi kebakaran dan ledakan yang besarnya tergantung kepada berfungsi atau tidaknya alat pengendali rugi.	Pedoman <i>Fire and Explosion Index</i>	Mengalikan nilai kerugian dasar dengan nilai faktor pengurang nilai kerugian	Nilai dalam US \$ (Rp)	Rasio

Hari Kerja Yang Hilang ( <i>Maximum Probable Days Outrage</i> )	Jumlah hari kerja yang hilang jika terjadi kebakaran dan ledakan di tangki timbun <i>Crude Oil</i>	Pedoman <i>Fire and Explosion Index</i>	Mengkonversi nilai kerugian sebabarnya kedalam grafik <i>Maximum Probable Days Outrage</i> atau menghitungnya dengan rumus yang tersedia pada Pedoman <i>Fire and Explosion Index</i> .	Jumlah dalam satuan hari	Rasio
Nilai Kerugian Akibat terhentinya Bisnis ( <i>Business Interruption</i> )	Nilai kerugian yang diderita akibat terhentinya proses produksi untuk sementara jika terjadi kebakaran dan ledakan di tangki timbun <i>Crude Oil</i> .	Pedoman <i>Fire and Explosion Index</i>	Menghitung dengan rumus ( <i>Maximum Probable Days Outrage</i> (MPDO) x <i>Value of Production for the Month</i> (VPM) / 30 x 0,70 (konstanta <i>fixed cost and profits</i> ))	Nilai dalam US \$ (Rp)	Rasio