

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Landasan Teori**

##### **2.1.1 Kebakaran**

Kebakaran adalah bencana yang bersumber dari api yang tidak dapat dikendalikan sedangkan, api adalah suatu peristiwa atau reaksi kimia eksotermik yang disertai panas atau kalor, cahaya, asap dan gas dari bahan yang terbakar. Api dapat terbentuk dengan bantuan oksigen (udara mengandung 20,9% oksigen), benda-benda yang terbakar (*combustible*), dan sumber panas atau nyala bisa didapat dari mesin, listrik dan lain-lain (Ramli, 2010). Kebakaran adalah sebuah reaksi kimia yang berasal dari kontribusi bahan bakar dan oksigen serta sumber panas yang cukup untuk terjadinya percikan api (Furness & Muckett, 2007).

Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), kebakaran adalah kondisi di saat bangunan pada suatu tempat dilanda api yang menimbulkan korban dan kerugian. Menurut National Fire Protection Association (1992) kebakaran suatu peristiwa oksidasi yang melibatkan tiga unsur yaitu bahan bakar, oksigen dan sumber energi atau sumber panas yang mengakibatkan timbulnya kerugian harta benda, cedera bahkan kematian (Kelvin et al., 2015).

Berdasarkan beberapa definisi di atas, maka kebakaran adalah suatu peristiwa bencana yang berasal dari api yang tidak terkendali dapat menimbulkan kerugian materi ataupun korban jiwa.

### 2.1.1.1 Teori Dasar

Penyalaan api tergantung pada adanya semua unsur atau komponen. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi terhadap proses awal penyalaan api, diantaranya:

#### 1) Titik Nyala (*Flash Point*)

Titik nyala atau *flash point* merupakan temperatur minimum atau temperatur terendah yang dibutuhkan suatu material untuk membentuk uap di udara yang cukup untuk proses penyalaan (Association, 2003).

*Liquid* dibedakan menjadi *Combustible liquid* dan *Flammable liquid*. Perbedaan tersebut didasarkan pada *flash point* yang dimiliki. *Combustible liquid* biasanya merupakan cairan yang memiliki *flash point* pada atau di atas 37,8°C (100°F), sedangkan *Flammable liquid* memiliki *flash point* dibawah 37,8°C (100°F), kecuali untuk campuran yang memiliki komponen *flash point* dari 37,8°C (100°F) atau lebih tinggi (Affuwani, 2020).

#### 2) Batas Nyala (*Flammable Range*)

*Flammable range* merupakan batas konsekuensi dari uap bahan bakar dengan oksigen dapat menyala jika terdapat sumber panas. Apabila di udara terdapat bahan bakar dengan kadar yang terlalu kecil atau sedikit maka tidak terjadi penyalaan api. Beberapa parameter dalam *flammable range* yaitu:

##### a. *Lower Flammable Limit* (LFL)

*Lower Flammable Limit* (LFL) atau *Lower Explosive Limit* (LEL) merupakan batas konsentrasi terendah bahan bakar di udara yang mendukung terjadinya penyalaan api.

##### b. *Upper Flammable Limit* (UFL)

*Upper Flammable Limit* (UFL) atau *Upper Explosive Limit* (UEL) merupakan batas konsentrasi tertinggi dari

bahan bakar di udara yang kemungkinan terjadinya penyalaaan api (Affuwani, 2020).

### 3) Titik Nyala dengan Sendiri (*Auto Ignition*)

Titik nyala dengan sendiri adalah suatu batas temperatur yang memungkinkan suatu material atau bahan bakar dapat menyala dengan sendirinya tanpa adanya sumber penyalaaan (Association, 2003).

#### 2.1.1.2 Teori Segitiga Api (*Fire Triangle*)

*Fire triangle* adalah teori yang pertama dan paling dikenal. Teori ini menjelaskan tiga faktor yang dapat menyebabkan nyalanya api. Kebakaran dapat terjadi jika terdapat ketiga faktor tersebut saling berinteraksi satu sama lain tanpa salah satu unsur tersebut, maka api tidak dapat terjadi. Ketiga faktor tersebut, yaitu:

1. Bahan bakar (*fuel*), adalah unsur bahan bakar padat, cair, atau gas yang dapat terbakar yang bercampur dengan oksigen di udara.
2. Sumber panas (*heat*), adalah yang menjadi pemicu kebakaran dengan energi yang cukup untuk menyalakan campuran antara bahan bakar dan oksigen dari udara sekitar.
3. Oksigen, terkandung dalam udara. Tanpa adanya udara atau oksigen, maka proses kebakaran tidak dapat terjadi.



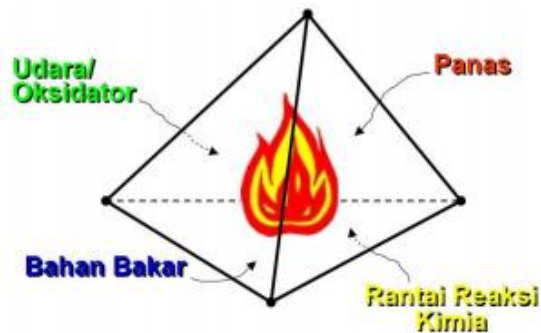
Gambar 2. 1 Segitiga Api

Sumber: (Nanda, 2016)

### 2.1.1.3 Teori Tetrahedron Api

Teori tetrahedron api memiliki tiga unsur seperti teori sebelumnya tapi diberikan tambahan reaksi berantai (*chain reaction*) karena tanpa adanya *chain reaction* maka api tidak dapat menyala secara terus menerus (Ramli, 2010).

*Chain reaction* merupakan umpan balik dari panas ke bahan bakar untuk menghasilkan bahan bakar gas (*gaseous fuel*) yang digunakan dalam terjadinya kebakaran maka, reaksi berantai memberikan panas yang diperlukan untuk mempertahankan api (Cote, 2008).



Gambar 2. 2 Tetrahedron Api

Sumber: (Nanda, 2016)

Dampak yang diberikan *chain reaction*, maka api akan terus menerus menyala dan baru akan berhenti jika bahan bakar maupun oksigen telah habis, hal tersebut dikarenakan reaksi berantai menyebabkan api mengalami perpindahan dari satu tempat ke tempat lainnya akibat adanya perpindahan panas (*heat transfer*).

### 2.1.1.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Perilaku Api

Komponen lingkungan yang mempengaruhi perilaku api, sebagai berikut (Nanda, 2016):

### **1. Ketersediaan Bahan Bakar**

Jumlah energi yang tersimpan dalam bahan bakar menentukan intensitas kebakaran, susunan dari bahan bakar mempengaruhi aerasi dan penjalaran api secara vertikal dan horisontal, distribusi ukurannya dapat mempengaruhi api yang menyala, dan kandungan bahan kimianya dapat mempengaruhi flammabilitas (kemudahan untuk terbakar).

### **2. Kelembaban dan Temperatur**

Kelembaban dan temperatur dapat mempengaruhi kadar air bahan bakar, dapat mengurangi nyala api, pembakaran dan penjalaran api. Suhu bumi tertinggi biasanya terjadi pada jam 13.30 - 15.30 tidak berhimpit dengan radiasi surya maksimum di pukul 12.00. Keterlambatan ini terjadi karena suhu terus menerus naik selama jumlah radiasi surya yang diterima bumi melampaui radiasi bumi yang keluar.

### **3. Angin**

Suatu dampak yang paling penting dari angin adalah menyediakan oksigen yang banyak untuk terjadinya pembakaran selain itu, angin juga dapat membantu dalam pengeringan bahan bakar, mempengaruhi arah penjalaran api, menghembuskan bara api dan menimbulkan kebakaran baru pada daerah yang dilaluinya.

### **4. Sumber Bahan Bakar**

Bahan bakar adalah segala sesuatu material baik dalam bentuk gas, cair dan padat yang dapat menghasilkan penyalaan atau menyala. Setiap bahan menghasilkan jenis api yang berbeda karakteristiknya. Bila kita mengenal bahan apa saja yang mudah terbakar di sekitar kita, tentu kita akan mudah menentukan jenis tindakan pemadaman apa yang bisa kita lakukan (Ramli, 2010).

#### 2.1.1.5 Klasifikasi Kebakaran

Klasifikasi kebakaran dibagi ke dalam lima kelas menurut *National Fire Protection Association* (NFPA), klasifikasi tersebut didasarkan pada bahan bakar dalam kebakaran (Association, 2003). Kelima kelas klasifikasi kebakaran tersebut adalah sebagai berikut:

- 1) Kelas A yaitu kebakaran yang disebabkan oleh *combustible material*.
- 2) Kelas B yaitu kebakaran yang disebabkan oleh *flammable liquids* dan *combustible liquids* (pelarut, pennis, alcohol, dan gas yang mudah terbakar lainnya).
- 3) Kelas C yaitu kebakaran yang disebabkan oleh listrik atau peralatan yang menggunakan listrik.
- 4) Kelas D yaitu kebakaran yang disebabkan oleh logam (magnesium, aluminium, titanium, sodium, dan potassium).
- 5) Kelas K yaitu kebakaran yang disebabkan oleh peralatan memasak atau dapur yang menggunakan minyak goreng baik nabati maupun hewani.

#### 2.1.2 Ledakan

Ledakan adalah suatu oksidasi secara tiba-tiba, atau reaksi dekomposisi yang mengakibatkan kenaikan suhu atau tekanan, juga peningkatan suhu dan tekanan secara bersamaan (Furness & Muckett, 2007). Ledakan sebagai peristiwa yang mengarah pada peningkatan tekanan yang cepat. Peningkatan tekanan ini dapat disebabkan oleh reaksi nuklir, kehilangan *containment* dalam bejana bertekanan tinggi, bahan peledak tinggi, ledakan uap air logam, reaksi *run-way*, pembakaran debu, kabut atau gas (termasuk uap) di udara atau di pengoksidasi lainnya (Wingerden, 2019).

Menurut *Center for Chemical Process Safety*, ledakan adalah sebuah pelepasan energi yang mengakibatkan terjadinya letusan. Letusan tersebut sebagai sebuah perubahan yang terjadi di dalam berat jenis gas, tekanan, dan kecepatan aliran udara yang melampaui titik ledakan. Ledakan biasanya disertai dengan menjalarnya api atau kebakaran (Affuwani, 2020).

Ledakan adalah proses pelepasan energi secara tiba-tiba yang menimbulkan bunyi letusan. Ledakan adalah konsekuensi dari pemuaian gas yang terjadi sangat cepat dan diikuti oleh tekanan atau gelombang kejut (Crowl, 2003). Definisi paling dasar dari ledakan adalah pelepasan energi yang tiba-tiba dan intens yang sering menghasilkan suara keras, suhu tinggi, dan puing-puing yang beterbangan, dan menghasilkan gelombang tekanan.

#### 2.1.2.1 Teori Dasar

Suatu peristiwa ledakan material bergantung pada banyak variabel, termasuk diantaranya bentuk fisik material (*physical state*) seperti cairan, padatan, gas, bubuk & kabut (*powder & mist*), reaktivitas dan properti fisik material tersebut, seperti tekanan uap, *heat capacity*, panas pembakaran dan lain sebagainya. Tipe ledakan yang dihasilkan juga bergantung pada beberapa faktor seperti (Crowl, 2003).

1. Kondisi material pada awal penyimpanan dan penggunaannya.
2. Cara material tersebut terlepas.
3. Cara penyebaran material dan proses tercampurnya dengan udara.
4. Kapan dan bagaimana material tersebut terignisi

Tiga bahaya utama ketika berhadapan dengan ledakan (*ALOHA User's Manual*, 2007):

1. Radiasi termal

2. Tekanan berlebih,
3. Fragmen berbahaya (puing-puing terbang).

Ketiga bahaya ini tidak selalu ada di setiap ledakan tetapi jika terjadi biasanya berlangsung dengan waktu yang singkat tapi, penting untuk mempertimbangkan potensi ledakan dan bahaya ini dapat terjadi.

#### 2.1.2.2 Klasifikasi Ledakan

Adapun klasifikasi ledakan sebagai berikut:

##### 1) *Physical Explosion*

*Physical Explosion* merupakan ledakan yang diakibatkan oleh adanya pelepasan energi mekanis yang secara tiba-tiba. *Physical explosion* terdiri dari *Boiling Liquid Expanding Vapour Explosions* (BLEVE), *vessel ruptures* dan *rapid phase transition explosions*. BLEVE terjadi ketika *vessel* yang menyimpan cairan mudah terbakar menguap akibat paparan panas dari luar kemudian, uap cairan mudah terbakar yang berada di atas permukaan cairan tersebut memuai sehingga tekanan di dalam tangki meningkat. *Vessel rupture* terjadi ketika *vessel* yang menyimpan material yang bertekanan mengalami kegagalan secara tiba-tiba kemudian, untuk *rapid phase transition explosions* terjadi kerikal material terpapar oleh sumber panas yang menyebabkan material mengalami perubahan fase secara cepat yang berdampak pada perubahan volume dari material tersebut.

##### 2) *Chemical Explosion*

*Chemical explosion* adalah ledakan yang terjadi akibat reaksi kimia yang berlangsung secara cepat. Reaksi kimia tersebut dapat berasal dari reaksi pembakaran, reaksi dekomposisi, dan reaksi eksotermis lain (Crowl, 2003).

*Chemical explosion* terdiri dari *Vapor Cloud Explosion* (VCE) dan *Unconfined Vapor Cloud Explosion* (UNVCE). *Vapor Cloud Explosion* (VCE) merupakan hasil dari penyalaan awal uap mudah terbakar (*flammable vapor*) yang terjadi di dalam sebuah tempat tertutup seperti tangki. (Kuo & Kuan-Yuan, 2005).

*Unconfined Vapor Cloud Explosion* (UNVCE) terjadi ketika gas atau uap yang termasuk *flammable* serta sumber percikan (*ignition source*) tersedia, namun penyalaan api tertunda lebih lama dibandingkan VCE, hal tersebut akibat jumlah *flammable gas* yang tercampur di udara sedikit. Ketika penyalaan tertunda, awan *flammable gas* dapat tercampur dengan udara dan membentuk campuran bahan bakar di udara dalam jumlah besar yang memiliki konsentrasi di dalam *flammable range* yang kemudian hal tersebut adalah cukup untuk menghasilkan suatu ledakan (Kuo & Kuan-Yuan, 2005).

### **2.1.2.3 Dampak Ledakan**

Ledakan mempunyai dampak yang besar, ledakan dapat melukai bahkan menghilangkan nyawa atau menyebabkan cedera serius, baik disebabkan oleh ledakan maupun oleh pajanan radiasi panas sebagai efek samping ledakan. Ledakan dapat berdampak pada pekerja, sistem operasi, ekonomi, sosial, dan lingkungan (Crowl, 2003).

#### **1) Dampak pada pekerja**

Para pekerja yang berada dalam kawasan kerja yang mengalami peristiwa ledakan dapat mengalami kematian atau mengalami cedera serius disebabkan oleh ledakan tersebut.

#### **2) Dampak pada sistem operasi**

Sistem operasi pada area industri akan mengalami kerusakan karena peristiwa ledakan tersebut. Sistem operasi

industri bisa saja terhenti dan tidak dapat dijalankan karena ledakan merusak komponen-komponen penting.

3) Dampak pada ekonomi

Ledakan dapat membuat sistem operasi berhenti sehingga proses produksi juga dapat berhenti. Dampaknya kerugian yang dialami oleh perusahaan semakin bertambah disamping kerugian untuk memperbaiki bangunan dan biaya pengobatan pekerja.

4) Dampak pada sosial

Ledakan juga dapat menghilangkan kepercayaan publik. Pekerja yang harus kehilangan pekerjaannya akan sulit mendapatkan pekerjaan pada perusahaan lain, sehingga akan meningkatkan jumlah pengangguran.

5) Dampak pada lingkungan

Ledakan akan menyebabkan lingkungan yang terkena terganggu keseimbangan ekosistemnya dan menjadikan kehidupan alam tidak seimbang. Ledakan juga dapat merusak struktur tanah dan memusnahkan habitat tertentu.

### 2.1.3 *Hazard* dan Risiko

*Hazard* adalah sumber bahaya potensial yang dapat menyebabkan kerusakan (*harm*), berupa bahan-bahan kimia, bagian-bagian mesin, bentuk energi, metode kerja atau situasi kerja. *Hazard* biasa juga disebut sebagai sesuatu yang berpotensi menyebabkan kerugian.

Risiko adalah ukuran kemungkinan kerugian yang akan timbul dari sumber bahaya (*hazard*) tertentu yang terjadi. Risiko adalah perpaduan antara probabilitas dan tingkat keparahan kerusakan atau kerugian. Hasil penilaian risiko akan diperoleh gambaran tingkat risiko yaitu ukuran jumlah orang yang mungkin terkena pengaruh dan

tingkat keparahan kerusakan atau kerugian yaitu konsekuensi (Ridley, 2008).

#### **2.1.4 Gudang Bahan Baku Kimia**

Gudang Bahan Baku Kimia di PR Tekroket memiliki fungsi sebagai tempat penyimpanan bahan-bahan kimia sebelum digunakan untuk kebutuhan riset ataupun kebutuhan operasional. Terdapat 40 jenis bahan kimia yang terdapat pada Gudang Bahan Baku Kimia dan merupakan bahan kimia yang berbahaya.

Sesuai dengan Keputusan Menteri Tenaga Kerja Nomor: Kep.187/Men/1999 tentang pengendalian bahan kimia berbahaya di tempat kerja pada pasal 9 menyatakan kriteria bahan kimia berbahaya terdiri dari (Indonesia, 1999):

- a. Bahan beracun;
- b. Bahan sangat beracun;
- c. Cairan mudah terbakar;
- d. Cairan sangat mudah terbakar;
- e. Gas mudah terbakar;
- f. Bahan mudah meledak;
- g. Bahan reaktif;
- h. Bahan oksidator.

##### **2.1.4.1 Karakteristik Bahan Kimia**

Berikut beberapa karakteristik bahan kimia (United Nations, 2013):

###### **1. *Explosive* (Mudah Meledak)**

Bahan kimia ini dapat mudah meledak yang disebabkan oleh benturan, pemanasan, pukulan, gesekan, reaksi dengan bahan kimia lain, atau karena adanya sumber percikan api. Ledakan pada bahan kimia explosive terkadang dapat terjadi meski dalam kondisi tanpa oksigen. Beberapa contoh bahan

kimia dengan sifat explosive misalnya TNT, ammonium nitrat, dan nitroselulosa.



Gambar 2. 3 Simbol Bahan Kimia Bersifat *Explosive*

2. *Oxidizing* (Mudah Teroksidasi)

Bahan kimia ini mudah menguap dan mudah terbakar melalui oksidasi (*oxidizing*). Penyebab terjadinya kebakaran umumnya terjadi akibat reaksi bahan tersebut dengan udara yang panas, percikan api, atau karena reaksi dengan bahan-bahan yang bersifat reduktor. Contoh bahan kimia dengan sifat ini misalnya hydrogen peroksida dan kalium perklorat.



Gambar 2. 4 Simbol Bahan Kimia Bersifat *Oxidizing*

3. *Flammable* (Mudah Terbakar)

Bahan kimia ini bersifat mudah terbakar. Bahan mudah terbakar dibagi menjadi 2 jenis yaitu *Extremely Flammable* (amat sangat mudah terbakar) dan *Highly Flammable* (sangat mudah terbakar). Bahan dengan label *Extremely Flammable* memiliki titik nyala pada suhu 0 derajat Celcius dan titik didih pada suhu 35 derajat Celcius. Contohnya bahan kimia bersifat *flammable* adalah aluminium, alkil, fosfor, butane dan propane.



Gambar 2. 5 Simbol Bahan Kimia Bersifat *Flammable*

4. *Toxic* (Beracun)

Bahan kimia ini memiliki sifat beracun. Dampak yang dirasakan akan sangat parah dan dapat menyebabkan kematian apabila terpapar. Beberapa contoh bahan kimia bersifat racun misalnya arsen triklorida dan merkuri klorida.



Gambar 2. 6 Simbol Bahan Kimia Bersifat *Toxic*

5. *Harmful Irritant* (Bahaya Iritasi)

Bahan Kimia ini bersifat iritasi yang tinggi apabila terkena pada manusia. Beberapa contohnya misalnya ammonia dan benzyl klorida.



Gambar 2. 7 Simbol Bahan Kimia Bersifat *Harmful Irritant*

6. *Corrosive* (Korosif)

Bahan kimia ini bersifat korosif dan dapat merusak jaringan hidup. Karakteristik bahan dengan sifat ini umumnya

bisa dilihat dari tingkat keasamannya. Beberapa contoh bahan dengan simbol ini misalnya belerang oksida dan klor.



Gambar 2. 8 Simbol Bahan Kimia Bersifat *Corrosive*

7. *Dangerous for Environmental* (Bahan Berbahaya bagi Lingkungan)

Bahan kimia ini berbahaya ke lingkungan apabila melepasnya secara langsung. Beberapa contohnya tetrachloromethane, tributyl, timah, klorida, dan petroleum bensin.



Gambar 2. 9 Simbol Bahan Kimia Bersifat *Dangerous for Environmental*

8. Karsinogen

Karsinogen adalah hal-hal yang dapat menyebabkan kanker. Contohnya Bensol, Benzidine, Senyawa nikel.



Gambar 2. 10 Simbol Bahan Kimia Bersifat Karsinogen

#### 9. Gas Bertekanan

Kategori ini mencakup gas cair yang terkompresi, tercairkan, terlarut dan berpendingin. Contoh: silinder gas terkompresi, bahan bakar gas cair.



Gambar 2. 11 Simbol Bahan Kimia Bersifat Gas Bertekanan

#### 2.1.4.2 Prosedur Penyimpanan Bahan Kimia

Dalam penyimpanan dan penataan bahan kimia terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan diantaranya (Kemendikbud, 2018):

- a. Aspek Pemisahan (*segregation*),
- b. Tingkat Risiko Bahaya (*multiple hazards*),
- c. Pelabelan (*labeling*),
- d. Fasilitas Penyimpanan (*storage facilities*),
- e. Wadah Sekunder (*secondary containment*),
- f. Bahan Kadaluarsa (*outdate chemicals*),
- g. Inventarisasi (*Inventory*),
- h. Informasi risiko bahaya (*hazard information*).

Bahan kimia harus disimpan secara khusus dengan menggunakan wadah sekunder yang terisolasi. Fungsinya untuk

menghindari pencampuran dengan sumber bahaya lain seperti api, gas beracun, ledakan, atau degradasi kimia.

Terdapat juga bahan kimia yang memiliki sifat lebih dari satu jenis tingkat bahaya. Penyimpanan bahan kimia tersebut harus didasarkan atas tingkat risiko bahayanya yang paling tinggi misalnya benzena memiliki sifat flammable dan *toxic*. Sifat dapat terbakar dipandang memiliki risiko lebih tinggi daripada timbulnya karsinogen oleh karena itu, penyimpanan benzena harus ditempatkan pada cabinet tempat menyimpan zat cair *flammable* daripada disimpan pada kabinet bahan *toxic*.

Berikut ini merupakan panduan umum untuk mengurutkan tingkat bahaya bahan kimia dalam kaitan dengan penyimpanannya (Kemendikbud, 2018).

<p><b>Bahan Radioaktif &gt; Bahan Piroforik &gt; Bahan Eksplosif &gt; Cairan <i>Flammable</i> &gt; Asam/basa Korosif &gt; Bahan Reaktif terhadap Air &gt; Padatan <i>Flammable</i> &gt; Bahan Oksidator &gt; Bahan <i>Combustible</i> &gt; Bahan Toksik &gt; Bahan yang tidak memerlukan pemisahan secara khusus</b></p>
--

Gambar 2. 12 Tingkat Bahaya Bahan Kimia

Sumber: (Kemendikbud, 2018)

#### 2.1.4.3 Persyaratan Tempat Menyimpan Bahan Kimia

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia nomor P.12/menlhk/setjen/plb.3/5/2020 tentang penyimpanan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3), harus memenuhi beberapa persyaratan (Indonesia, 2020), diantaranya:

a. Lokasi penyimpanan limbah B3;

Dalam hal ini meliputi:

1) Bebas banjir

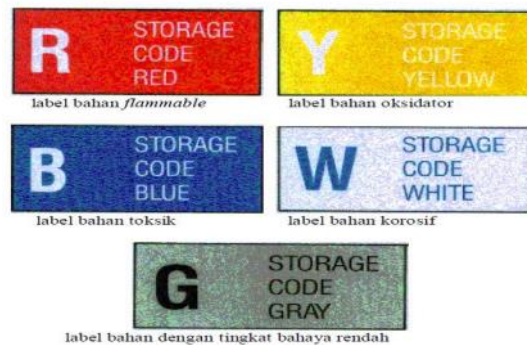
- 2) Tidak rawan bencana alam (longsor, bahaya gunung api, gempa bumi, dll)
  - 3) Jika tidak bebas banjir dan rawan bencana alam maka, lokasi penyimpanan limbah B3 harus dapat direkayasa dengan teknologi untuk perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.
  - 4) Lokasi penyimpanan limbah B3 wajib berada di dalam penguasaan setiap orang yang menghasilkan limbah B3, pengumpul limbah B3, pemanfaatan limbah B3, pengolah limbah B3, dan/atau penimbun limbah B3.
- b. Peralatan penanggulangan keadaan darurat;
- Dalam hal ini meliputi:
- 1) Sistem pendeteksi dan peralatan pemadam kebakaran;
  - 2) Alat penanggulangan keadaan darurat lain yang sesuai.
- c. Fasilitas penyimpanan limbah B3.
- Dalam hal ini meliputi:
- 1) Bangunan
  - 2) Tangki dan/atau kontainer
  - 3) Silo
  - 4) Tempat tumpukan Limbah (*waste pile*)
  - 5) *Waste impoundment*
  - 6) Fasilitas pertolongan pertama
  - 7) Peralatan penanganan tumpahan
  - 8) Bongkar muat
  - 9) Laboratorium

Persyaratan penyimpanan bahan kimia pada Gudang, dijelaskan sebagai berikut (Kemendikbud, 2018) :

- a. Bahan kimia harus disimpan dalam kemasan asli dari produsen, jika memungkinkan karena label kemasan

memberikan informasi yang berharga mengenai simbol bahaya

- b. Jika menggunakan wadah lain maka, harus digunakan pelabelan yang sama. Label harus dilapisi dengan lembaran plastik transparan terlihat jelas dan ditulis dengan tinta yang permanen.
- c. Wadah dan botol untuk penyimpanan bahan kimia harus dibuat dari bahan yang kuat seperti wadah plastik atau gelas.
- d. Penyimpanan bahan kimia yang sangat sensitif seperti dietil eter bahan kimia harus ditempatkan pada fasilitas penyimpanan secara tertutup seperti dalam cabinet, loker, dan sebagainya.
- e. Tempat penyimpanan harus bersih, kering dan jauh dari sumber panas atau kena sengatan sinar matahari.
- f. Tempat penyimpanan harus dilengkapi dengan ventilasi yang menuju ruang asap atau ke luar ruangan.
- g. Bahan kimia cair yang berbahaya harus disimpan dalam wadah sekunder seperti baki plastik untuk mencegah timbulnya kecelakaan akibat bocor/pecah. Wadah sekunder yang diperlukan harus didasarkan atas ukuran wadah yang langsung diisi bahan kimia, tidak atas dasar volume bahan cair yang ada dalam wadah nya. Ukuran wadah bahan primer yang perlu disediakan wadah sekunder nya yaitu:
  - 1) Cairan radioaktif ketika wadah berukuran 250 mL
  - 2) Semua cairan berbahaya lain untuk wadah 2,5 L
- h. Wadah bahan kimia dan lokasi penyimpanan harus diberi label yang jelas. Label wadah harus mencantumkan nama bahan, tingkat bahaya, tanggal diterima dan dipakai.



Gambar 2. 13 Contoh Pelabelan Penyimpanan Bahan Kimia  
Sumber : (Kemendikbud, 2018)

Memastikan penyimpanan yang aman dari bahan kimia fasilitas harus dikontrol suhu dan kelembabannya. Selain itu, fasilitas penyimpanan harus menyediakan sistem *grounding*. Proteksi sambaran petir adalah sesuatu yang wajib tersedia. Terakhir, jumlah total bahan kimia tidak boleh melebihi jumlah yang telah disertifikasi oleh fasilitas penyimpanan (Manha, 2009).

Menangani potensi bahaya kebakaran terdapat kriteria dalam proteksi kebakaran yaitu minimal terdapat dua alat pemadam kebakaran yang dapat digunakan, cocok untuk bahaya yang terlibat, harus disediakan untuk penggunaan segera di setiap lokasi (NASA, 2010).

### 2.1.5 Objek Vital Nasional

Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 63 Tahun 2004 tentang Pengamanan Objek Vital Nasional dijelaskan bahwa objek vital nasional adalah kawasan/lokasi, bangunan/instalasi dan/atau usaha yang menyangkut hajat hidup orang banyak, kepentingan negara dan/atau sumber pendapatan negara yang bersifat strategis (Indonesia, 2004).

Menentukan objek vital nasional suatu kawasan/lokasi, bangunan/instalasi dan/atau usaha harus memenuhi salah satu, sebagian atau seluruh ciri – ciri sebagai berikut:

- a. Menghasilkan kebutuhan pokok sehari-hari;
- b. Ancaman dan gangguan terhadapnya mengakibatkan bencana terhadap kemanusiaan dan pembangunan;
- c. Ancaman dan gangguan terhadapnya mengakibatkan kekacauan transportasi dan komunikasi secara nasional; dan/atau
- d. Ancaman dan gangguan terhadapnya mengakibatkan terganggunya penyelenggaraan pemerintahan negara.

Pengelola Objek Vital Nasional adalah perangkat otoritas dari Objek Vital Nasional. Pengelola Objek Vital Nasional bertanggungjawab atas penyelenggaraan pengamanan Objek Vital Nasional masing-masing berdasarkan prinsip pengamanan internal. Kepolisian Negara Republik Indonesia dalam pelaksanaannya berkewajiban memberi bantuan pengamanan terhadap Objek Vital Nasional dan dapat meminta bantuan kekuatan Tentara Nasional Indonesia sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Pusat Teknologi Roket merupakan salah satu Pusat di Deputi Teknologi Dirgantara yang melakukan kegiatan penelitian dan pengembangan di bidang teknologi roket serta pemanfaatannya. Penguasaan teknologi roket menjadi cukup penting dilakukan khususnya dalam rangka kemandirian teknologi keantariksaan (Roket, 2020). Maka dari itu PR Tekroket masuk ke dalam lembaga yang menjadi objek vital nasional dan Kawasan Strategi Nasional.

## **2.2 Metode Perhitungan Risiko**

### **2.2.1 Hazard and Operability Study**

*Hazard and Operability Study* (HAZOP) adalah teknik analisis bahaya yang digunakan dalam persiapan penetapan keamanan dalam sistem untuk keberadaan potensi bahaya. Tujuan dari penggunaan HAZOP untuk menentukan proses penyimpangan dapat mendorong ke arah kejadian yang tidak di inginkan (Sabrina & Widharto, 2019).

HAZOP merupakan studi keselamatan yang sistematis, berdasarkan pendekatan sistemik ke arah penilaian keselamatan dan proses pengoperasian peralatan yang kompleks, atau proses produksi. Tujuannya untuk mengidentifikasi kemungkinan bahaya yang muncul dalam fasilitas pengelolaan di perusahaan menghilangkan sumber utama kecelakaan, seperti sebaran zat beracun, ledakan dan kebakaran (Restuputri et al., 2015).

Metode analisis HAZOP merupakan metode analisis potensi bahaya secara kualitatif. Metode ini dipergunakan untuk mengidentifikasi kemungkinan bahaya dan potensi risiko dalam salah satu proses komponen sistem atau subsistem pada sistem induk. Jika salah satu komponen sistem terjadi kerusakan maka, dimungkinkan kerusakan ini bisa menjadi penyebab kerusakan yang lebih besar yaitu rusaknya keseluruhan sistem dan dapat membahayakan nyawa manusia yang berada di lingkungan sistem (Say, 2016).

#### **2.2.1.1 Tujuan dan Manfaat Pelaksanaan HAZOP**

Berikut tujuan dan manfaat pelaksanaan HAZOP:

##### **1. Tujuan**

- a. Meninjau suatu proses atau operasi pada suatu sistem secara sistematis dan mampu menilai suatu proses terjadi penyimpangan menuju kecelakaan yang tidak diinginkan.

- b. Mengenali berbagai macam masalah kemampuan operasional (*operability*) pada setiap proses akibat adanya penyimpangan-penyimpangan terhadap tujuan perancangan (*design intent*), baik di pabrik yang sudah beraktivitas maupun pabrik yang baru/akan dioperasikan.
- c. Pengamanan yang sudah diterapkan telah sesuai dan cukup untuk membantu mencegah terjadinya kecelakaan serta mengurangi kemungkinan terjadinya *shutdown* yang tidak terjadwal.

## **2. Manfaat**

- a. Dapat mengetahui secara pasti profil tingkat risiko yang ada dalam fasilitas proyek.
- b. Dapat digunakan untuk menentukan skala prioritas permasalahan keselamatan yang ada dalam operasi proyek sebagai masukan untuk menetapkan program kerja.
- c. Identifikasi *operability* dimaksudkan agar proses dapat berjalan normal sehingga mengurangi/menghilangkan kemungkinan terjadinya kecelakaan serta dapat meningkatkan *plant performance* (*product quality, production rate*).

### **2.2.1.2 Kelebihan dan Kekurangan HAZOP**

#### **1. Kelebihan**

- a. Teknik analisis bahaya disusun secara sistematis, komprehensif dan fleksibel baik sebelum suatu sistem berproduksi, bisa juga mengidentifikasi modifikasi pada peralatan yang sudah ada untuk mengurangi masalah risiko dan pengoperasian.
- b. HAZOP dapat mengidentifikasi dengan tepat apa saja penyimpangan-penyimpangan kritis yang terjadi dan penyebabnya.

- c. Tidak hanya fokus pada *safety*, tapi juga mengidentifikasi *hazard* (mencegah kecelakaan) dan *operability* (berjalan lancarnya suatu proses sehingga meningkatkan *plant performance*).

## 2. Kekurangan

- a. Prosesnya memakan waktu lama dan melelahkan.
- b. Cenderung memperkirakan kerusakan, tingkat keparahan dari material konstruksi tidak dimunculkan.
- c. HAZOP tidak mengidentifikasi semua penyebab penyimpangan dan karena itu mengabaikan banyak skenario.

### 2.2.2 Fault Tree Analysis

*Fault Tree Analysis* (FTA) adalah sebuah analisis yang digunakan untuk menentukan akar penyebab potensi kegagalan yang terjadi dalam sistem sehingga dapat dilakukan upaya untuk mengurangi produk cacat tersebut (Satriyo & Puspitasari, 2017). FTA digunakan untuk mengidentifikasi penyebab kejadian-kejadian besar seperti ledakan, kebakaran maupun pelepasan gas yang bersifat racun.

*Fault Tree Analysis* memiliki beberapa tahapan (Satriyo & Puspitasari, 2017), sebagai berikut:

- a. Menentukan kejadian paling atas/ utama.
- b. Tetapkan batasan FTA.
- c. Menyimpulkan penyebab-penyebab terjadinya suatu peristiwa risiko berdasarkan informasi yang ada dan *expert judgement*.
- d. Buat *Fault Tree*, mulai dari kejadian paling atas dan bekerja ke arah bawah.

- e. Analisis pohon kesalahan untuk mengidentifikasi cara dalam menghilangkan kejadian yang mengarah pada kegagalan.
- f. Persiapkan rencana tindakan perbaikan.

FTA dilakukan dengan metode wawancara dengan engineer terkait serta didukung oleh studi literatur. Hasil wawancara dan literatur ini digunakan untuk menemukan akar penyebab terjadinya ledakan/kebakaran.

#### **2.2.2.1 Kelebihan dan Kekurangan *Fault Tree Analysis***

Berikut Kelebihan dan Kelemahan metode FTA (Winsky, n.d.) :

##### **1. Kelebihan**

- a. Memusatkan perhatian pada efek kegagalan yang terkait langsung dengan peristiwa utama.
- b. Menganalisis sistem dengan banyak antarmuka dan interaksi.
- c. Mengidentifikasi jalur kegagalan sederhana di dalam sistem yang sangat kompleks.

##### **2. Kekurangan**

- a. Hanya mengenal keadaan biner (berhasil / gagal) saja.
- b. Tidak memungkinkan untuk mengikutsertakan efek domino pada setiap penyebab peristiwa risiko utama.
- c. Tidak dapat menjamin seluruh penyebab peristiwa risiko sudah disertakan seluruhnya atau tidak.

#### **2.2.3 *Hazard Identification, Risk Assessment, and Determining Control (HIRADC)***

HIRADC adalah suatu metode untuk mengidentifikasi bahaya, pemeringkatan risiko, dan menentukan pengendalian dari bahaya tersebut. Penggunaan HIRADC terdapat 3 tiga tahapan yaitu

identifikasi bahaya (*Hazard Identification*), penilaian risiko (*Risk Assessment*) dan pengendalian risiko (*Risk Control*) (Mohammad Ikrar Pramadi et al., 2020).

HIRADC adalah bagian dari standar OHSAS 18001: 2007, menjelaskan bahwa organisasi harus menetapkan menerapkan dan memelihara prosedur untuk meramalkan identifikasi bahaya, penilaian risiko dan penentuan kontrol yang diperlukan dan merupakan salah satu elemen kunci untuk mewujudkan tempat kerja yang aman. Berikut hal-hal yang terdapat dalam membuat HIRADC (BPBD, 2020) :

1. Kegiatan rutin dan non rutin (keadaan gawat darurat, bencana alam, kegiatan pemeliharaan yg di luar jadwal, pembersihan, pengoperasian mesin, *shut down/start up*, kunjungan dari kontraktor/pelanggan, keadaan lain yg memang tidak rutin dilakukan oleh organisasi).
2. Semua kegiatan yang memungkinkan seluruh pekerja/orang mempunyai akses masuk di area kerja (termasuk kontraktor dan juga pengunjung/tamu).
3. Perilaku manusia, kemampuan, dan juga faktor manusia. (sifat, kesalahan dari pihak manusia, perilaku, kebiasaan, stress, dan lain-lain).
4. Bahaya yang berasal dari luar tempat kerja yang dapat menimbulkan efek buruk ke kesehatan dan keselamatan pekerja di organisasi.
5. *Hazard*/bahaya yang timbul dari kegiatan yang berkaitan dengan pekerjaan atau aktivitas yang berada dibawah kendali lingkungan kerja dan organisasi (semua ini bisa berasal dari aspek lingkungan).
6. Modifikasi dari SMK3, termasuk yang bersifat sementara, dan pengaruhnya terhadap kegiatan operasi, proses atau aktivitas.

7. Desain dari area kerja, proses, instalasi, mesin/peralatan, termasuk kemampuan adaptasi dari pekerja/manusia.

### 2.2.3.1 Kelebihan dan Kekurangan HIRADC

#### 1. Kelebihan

- a. Faktor yang dinilai adalah kemungkinan terjadinya (*probability*) dan dampak dari bahaya tersebut (*consequence/severity*).
- b. Metode pengendalian lebih menyeluruh termasuk hirarki *control*, mitigasi, prosedur kerja.
- c. HIRADC adalah *living document* merupakan dokumen yang dinamis yang dapat diubah atau revisi setiap saat misalnya karena ada perubahan regulasi atau peraturan, ada tindakan pencegahan yang lebih efektif.

#### 2. Kekurangan

- a. Dibutuhkan orang-orang atau tim yang berkompeten sehingga dapat menentukan strategi penanganan yang tepat
- b. Metode ini tidak menampilkan data kerugian ekonomi yang diterima apabila terjadi suatu bencana.

### 2.2.4 Dow's Fire and Explosion Index

*Dow's Fire and Explosion Index* merupakan salah satu instrumen *process Hazard analysis*, yaitu proses evaluasi terhadap besarnya risiko bahaya kebakaran, ledakan, dan reaktivitas dari peralatan proses beserta isinya secara objektif dan realistis pada suatu unit proses (Engineers, 1994). Metode ini merupakan evaluasi objektif yang sistematis mengenai kebakaran, ledakan dan potensi reaktivitas dari peralatan beserta isinya secara realistis (Suciati et al., 2018).

Metode ini dapat digunakan pada berbagai proses dalam dunia industri karena relatif sederhana, perhitungannya mudah, dapat

dihitung secara manual, sehingga banyaknya unit proses tidak akan menjadi masalah untuk dievaluasi dalam waktu yang cepat (Jatisari, 2012).

Menurut Ozog dan Mahlem, *Dow's Fire and Explosion Index* merupakan panduan yang pertama dan paling populer digunakan dalam dunia industri. Menurut Hendershot, *Dow's Fire and Explosion Index* dan *Dow Chemical Exposure Index* (CEI) merupakan dua alat yang umum digunakan dalam mengukur *process inherent safety characteristics*. Menurut Suardin, *Dow's Fire and Explosion Index* 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 (R. A. Lestari & Oginawati, 2016).

Berikut prosedur perhitungan analisis risiko berdasarkan pedoman *Dow's Fire & Explosion Index*, sebagai berikut (Engineers, 1994):

#### **2.2.4.1 Menentukan Proses Unit**

Proses unit didefinisikan sebagai zat kimia utama yang dianalisis. Pemilihan proses unit dipilih berdasarkan zat kimia yang akan memiliki dampak terbesar pada besarnya potensial kebakaran atau ledakan. Beberapa pertimbangan penting yang perlu diperhatikan dalam memilih proses unit adalah sebagai berikut:

- 1) Penanganan proses unit minimal 500 lb atau 2268 kg, atau sekitar 600 gal (2,27 m<sup>3</sup>) dari bahan *flammable*, *combustible*, atau reaktif.
- 2) Ketika peralatan diatur dalam seri dan item yang tidak efektif terisolasi satu sama lain, misalnya tahap pertama bahaya utama dari bahan yang tidak bereaksi dalam reaktor untuk menerapkan penalti pada operasi vakum yang secara efektif tahap ketiga atau tahap keempat. Karena tak terbayangkan

untuk memiliki dua bahaya yang terjadi pada titik yang sama dalam proses.

- 3) Pemilihan titik waktu operasi yang akan diteliti, seperti *start up*, *steady-step* operasi, mematikan, mengisi, mengosongkan, dan lainnya. Pemilihan titik waktu yang baik memungkinkan penilaian yang baik untuk melakukan perhitungan F&EI.

#### **2.2.4.2 Menentukan *Material Factor* (MF)**

*Material Factor* (MF) yaitu ukuran dari tingkat intrinsik dari pelepasan energi potensial dari kebakaran atau ledakan yang dihasilkan oleh pembakaran atau reaksi kimia (Engineers, 1994).

*Material Factor* adalah intensitas emisi material dan pelepasan energi potensial yang dapat dihitung dengan mempertimbangkan sifat mudah terbakar dan reaktivitasnya. Faktor material biasanya berkisar dari 1 hingga 40 dan dapat ditentukan berdasarkan standar NFPA-325M dan NFPA-49 dengan mempertimbangkan sifat mudah terbakar (NF) dan reaktivitas (NR) material (Zaranejad & Ahmadi, 2015).

Parameter yang ditunjukkan kiri kolom pada tabel 2.1 harus ditentukan NF dari cairan dan gas diperoleh dari data titik nyala dan titik didih, dan St untuk debu dan kabut ditentukan dari pengujian ledakan debu. Sedangkan untuk bahan padat yang mudah terbakar, nilai NF tergantung pada sifat bahan yang dikategorikan pada kolom kiri tabel. Nilai reaktivitas (NR) diperoleh dari deskripsi kualitatif ketidakstabilan (atau reaktivitas terhadap air) dari bahan, campuran atau senyawa di suhu sekitar berdasarkan NFPA 704 (Engineers, 1994).

Tabel 2. 1 *Material Factor Determination Guide*

Liquids & Gases Flammability or Combustibility <sup>1</sup>	NFPA 325M atau 49	Reactivity or Instability				
		NR = 0	NR = 1	NR = 2	NR = 3	NR = 4
Non-Combustible <sup>2</sup>	NF= 0	1	14	24	29	40
F.P.>200°F (>93,3°C)	NF=1	4	14	24	29	40
F.P.>100°F (>37,8°C) <200°F (<93,3°C)	NF=2	10	14	24	29	40
F.P.≥73°F (≥22,8°C) <100°F (<37,8°C) or F.P.<73°F (<22,8°C) & B.P.≥100°F (≥37,8°C)	NF=3	16	16	24	29	40
F.P.<73°F (<22,8°C) & B.P.<100°F (<37,8°C)	NF=4	21	21	24	29	40
Combustible Dust or Mist <sup>3</sup>						
St-1 ( $K_{St} \leq 200$ bar m/sec)		16	16	24	29	40
St-2 ( $K_{St} = 201-300$ bar m/sec)		21	21	24	29	40
St-3 ( $K_{St} > 300$ bar m/sec)		24	24	24	29	40
Combustible Solids						
Dense > 40 mm thick <sup>4</sup>	NF=1	4	14	24	29	40
Open < 40 mm thick <sup>5</sup>	NF=2	10	14	24	29	40
Foam, fiber, powder, etc <sup>6</sup>	NF=3	16	16	24	29	40

Sumber : (Engineers, 1994)

Keterangan Tabel 2.1: F.P. = *Flash Point, closed cup*

B.P. = *Boiling Point at Standard Temperatures and Pressure (STP)*

#### 2.2.4.3 Menentukan General Process Hazards Factor

Perhitungan Faktor Bahaya Proses Umum (*General Process Hazards Factor*) atau F1 dilakukan dengan penjumlahan dari 6 penalti yang disesuaikan dengan sifat proses unit yang dievaluasi. Setiap poin pada kolom di lembar formulir *Dow's Fire & Explosion Index* diisi dengan besarnya angka penalti yang telah ditentukan dengan penyesuaian keadaan proses unit yang dievaluasi.

Penjumlahan dari nilai penalti *Base Faktor* yaitu 1.00 dengan enam poin penalti yang akan dimasukkan ke dalam kolom *General Process Hazards Factor (F1)*. Nilai penalti ini merupakan skala nilai yang menggambarkan kondisi-kondisi proses unit yang

diukur sebagai acuan dalam pemberian nilai dengan metode *Dow's Fire and Explosion Index*.

Keenam faktor dasar penalti yang perlu ditentukan nilai penalti nya untuk setiap bagian yang dinilai berkontribusi terhadap bahaya yang mungkin dapat menyebabkan insiden kebakaran atau ledakan adalah sebagai berikut:

#### A. Reaksi Eksotermik Kimia (*Exothermic Chemical Reactions*)

Terdapat empat jenis reaksi eksotermik pada bahan dimuat dalam tabel berdasarkan *Dow's Fire & Explosion Index* adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 2 Penalty *Exothermic Chemical Reactions*

Reaksi Eksotermik	Keterangan	Nilai Penalty
1) Eksotermik Ringan ( <i>Mild Exotherms</i> )		
a. Hidrogenasi	Penambahan atom hydrogen untuk kedua sisi ikatan dua atau tiga	0,30
b. Hidrolisis	Reaksi dari senyawa dengan air, seperti dalam pembuatan asam sulfat atau fosfat dari oksida	
c. Isomenzition	Penataan ulang atom-atom dari rantai langsung ke molekul bercabang	
d. Sulfonasi	Perkenalan dari radikal $\text{SO}_3\text{H}$ menjadi molekul organic melalui reaksi dengan $\text{H}_2\text{SO}_4$	
e. Penetralan	Reaksi antara asam dan basa untuk menghasilkan garam dan air atau basa dan alcohol untuk menghasilkan yang sesuai alcohol dan air	
2) Eksotermik Sedang ( <i>Exotherms Moderat</i> )		
a. Alkilasi	Penambahan gugus alkil untuk senyawa membentuk berbagai senyawa organik	0,50
b. Esterifikasi	Reaksi antara asam organic dan alcohol	
c. Tambahan reaksi-reaksi	Reaksi yang terjadi antara asam anorganik dan hidrokarbon tak jenuh	0,75
	Ketika asam merupakan bahan sangat reaktif	
d. Oksidasi	Kombinasi zat dengan oksigen oleh pembakaran, melepaskan $\text{CO}_2$ dan $\text{H}_2\text{O}$ atau reaksi dikendalikan dari beberapa zat dengan oksigen yang tidak menghasilkan $\text{CO}_2$ dan $\text{H}_2\text{O}$	0,50

	Proses pembakaran dan oksidator kuat seperti klorat, asam nitrat, asam hipoklorit dan garam yang digunakan	1,00
e.Polimerisasi	Bergabung Bersama molekul untuk membentuk rantai hubungan lainnya	0,50
f.Kondensasi	Bergabung Bersama dari dua atau lebih molekul organik dengan membelah off dari H <sub>2</sub> O, HCl atau senyawa lainnya	
3) Eksotermik kritis dalam kontrol		
a.Halogenasi	Pengenalan halogen atau halogen menjadi molekul organik	1,00
4) Eksotermik Sensitif Khusus		
a.Nitrasi	Penggantian atom Hidrogen dalam senyawa dengan kelompok nitro	1,25

Sumber : (Engineers, 1994)

### B. Proses *Endothermic*

Penentuan nilai penalti pada proses *endothermic* dilakukan dengan cara yang sama yaitu menyesuaikan bahan/proses unit yang sebenarnya dengan jenis sifat *endothermic* bahan yang ada pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Reaksi *Endothermic*

Reaksi Endotermik	Keterangan	Nilai Penalti
1) Proses mengapur ( <i>Calcination</i> )	Pemanasan bahan untuk menghilangkan air kimia terikat atau bahan yang mudah menguap lainnya	0,40
2) Elektrolisis	Pemisahan ion dengan cara arus listrik. Ini mendapatkan penalti sebesar	0,20
3) Pirolisis atau <i>Cracking</i>	Dekomposisi termal dari molekul menjadi lebih kecil yang menggunakan suhu tinggi, tekanan tinggi dan atau katalis. Untuk elektrik atau <i>remote hot gas</i>	0,20
	Untuk pemutusan panas langsung	0,40
4) Setiap proses endotermik yang terjadi di reaktor		0,20
5) Ketika input energi untuk proses endotermik disediakan oleh pembakaran padat, cair atau bahan bakar gas		0,40

Sumber : (Engineers, 1994)

### C. *Material Handling and Transfer*

Bagian ini mengevaluasi dengan potensi kebakaran yang melibatkan unit proses/bahan kimia terkait selama penanganan, pemindahan, dan penyimpanan material.

Tabel 2. 4 Penanganan Material Faktor (*Material Handling and Transfer*)

Penanganan Material Faktor	Nilai Penalti
1) Setiap bongkar atau muat operasi yang melibatkan Kelas 1 Bahan Mudah Terbakar atau bahan LPG jenis dimana garis pemindahan terhubung dan terputus	0,50
2) Di mana pemasukan udara selama penambahan manual beberapa bahan ke dalam sentrifugal, sejumlah reaksi atau sekumpulan campuran dapat membuat mudah terbakar atau bahaya reaktifitas. Penalti ini berlaku apakah ruang uap peralatan inert atau tidak	0,50
3) Rentang penalti berdasarkan bahaya kebakaran bahan diterapkan untuk Gudang penyimpanan atau <i>storage yard</i> dari berbagai bahan.	
a. Untuk material cairan yang mudah terbakar atau gas dengan NF = 3 atau 4. Kategori termasuk drum, silinder, wadah fleksibel portabel dan kaleng aerosol.	0,85
b. Untuk material padat mudah terbakar ( <i>combustible solids</i> ) dengan NF = 3 yang diidentifikasi pada Tabel 2.1	0,65
c. Untuk material padat mudah terbakar ( <i>combustible solids</i> ) dengan NF = 2 yang diidentifikasi pada Tabel 2.1	0,40
d. Untuk material cairan mudah terbakar (titik nyala wadah tertutup di atas 100 °F (37.8 °C) dan di bawah 140 °F (60 °C).	0,25

Sumber : (Engineers, 1994)

Jika salah satu penyimpanan yang ada pada tabel dibawah ini berada di rak tanpa sprinkler, tambahkan penalti sebesar 0,20. Daerah pertimbangan ini bukan untuk tangki penyimpanan normal.

#### D. Proses Unit Tertutup atau Dalam Ruangan

Daerah tertutup diidentifikasi sebagai area beratap dengan tiga sisi atau lebih atau daerah tertutup oleh struktur tak beratap dengan dinding di semua sisi bahkan, desain yang tepat dirancang ventilasi mekanis tidak seefektif seperti konstruksi terbuka. Kategori penalti yang diterapkan adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 5 Penalti *Enclosed or Indoor Process Unit*

Kategori	Nilai Penalti
1) Terdapat filter debu atau <i>dust collector</i> terletak di dalam area tertutup	0,50
2) Setiap proses di mana cairan yang mudah terbakar ditangani pada suhu di atas titik nyala bahan di daerah tertutup	0,30
• Untuk jumlah cairan lebih dari 10M lb atau sama dengan 1.000 galon	0,45
3) Setiap proses di mana <i>Liquefied Petroleum Gas (LPG)</i> atau cairan yang mudah terbakar ditangani pada suhu di atas titik didih bahan dalam daerah tertutup	0,60
• Untuk jumlah cairan lebih dari 10.000 lb atau 4,535 kg atau sama dengan 1.000 galon (3,785 m <sup>3</sup> )	0,90
4) Di mana ventilasi mekanis dirancang dengan baik telah dipasang, penalti yang tercantum dalam nomor 1 dan 3 di atas dapat dikurangi dengan 50%	

Sumber : (Engineers, 1994)

#### E. Akses

Peralatan darurat harus memiliki akses yang siap untuk proses unit yang bersangkutan. Pertimbangan yang kuat harus diberikan penalti untuk proses unit yang terletak di area tertutup. Penentuan penalti pada bagian akses ditinjau dari luasnya daerah proses unit yang dievaluasi dan keadaan akses yang dimiliki, sesuai dengan tabel 2.6:

Tabel 2. 6 Penalti Akses

Kategori Akses	Nilai Penalti
1) Semua area proses lebih dari 10.000 ft <sup>2</sup> (925 m <sup>2</sup> ) yang tidak memiliki akses yang memadai (jalur akses kurang dari 2 buah)	0,35
2) Semua gudang lebih dari 25.000 ft <sup>2</sup> (2.312 m <sup>2</sup> ) tidak memiliki akses yang memadai	0,35
3) Untuk area yang lebih kecil daripada yang tercantum diatas, penilaian harus digunakan dalam menilai kebutuhan akses. Jika <i>sound engineering judgement</i> menunjukkan potensi masalah pengendalian kebakaran karena akses yang tidak memadai	0,20

Sumber : (Engineers, 1994)

## F. Drainase dan Pengendalian Tumpahan

Penalti ini diterapkan hanya jika bahan di proses unit memiliki titik nyala dibawah 140°F (60°C) atau jika bahan yang sedang di proses diatas titik nyala. Mengevaluasi kecukupan drainase dan kontrol tumpahan untuk memperkirakan volume gabungan yang mudah terbakar atau bahan yang mudah terbakar serta air pemadam kebakaran harus aman yang akan terkuras habis atau ditangani dalam insiden sebenarnya. Drainase yang baik diperlukan jika ingin menghindari nilai penalti.

Penentuan penalti pada bagian kontrol tumpahan ini dilihat dalam tabel 2.7.

Tabel 2. 7 Desain Tanggul

Desain Tanggul	Nilai Penalti
1) Tanggul yang dirancang untuk mencegah tumpahan menuju ke daerah lain tapi memperlihatkan semua peralatan dalam tanggul	0,50
2) Area datar di sekitar proses unit akan memungkinkan tumpahan menyebar, memungkinkan area yang luas untuk terbakar jika tersulut	0,50
3) Bila sebuah tanggul didesain mengelilingi tiga sisi suatu daerah dan mengarahkan tumpahan ke bak penampung atau parit drainase yang tidak terbuka, tidak menerima penalti dengan kriteria:	0.00
a. Lereng lembah atau parit adalah minimal 2% untuk permukaan tanah atau 1% untuk permukaan tanah yang diperkeras.	
b. Jarak ke peralatan dari tepi terdekat parit atau cekungan setidaknya 50 kaki (15 m). jarak ini dapat dikurangi jika dinding pelindung api dipasang	
c. Cekungan yang mengandangkan harus memiliki kapasitas minimal sama dengan jumlah dari 1.a. dan 1.b. atas	
4) Jika cekungan atau parit membuka garis utilitas atau tidak memenuhi persyaratan jarak jalur perpipaan	0,50

Sumber : (Engineers, 1994)

### 2.2.4.4 Menentukan Special Process Hazards Factor

Faktor Bahaya Proses Khusus (*Special Process Hazards Factor*) adalah faktor-faktor yang berkontribusi terutama pada

kemungkinan insiden kerugian. Terdiri dari kondisi proses spesifik yang telah menunjukkan diri sebagai penyebab utama insiden kebakaran dan ledakan (Engineers, 1994). Terdapat 12 faktor dasar yang harus diperhatikan dalam bagian ini berdasarkan dengan pedoman Dow's Fire & Explosion Index yaitu sebagai berikut:

A. Material Beracun (*Toxic Material*)

Kebakaran atau ledakan yang disebabkan oleh material beracun dapat mengurangi kemampuan personil penanganan darurat karena mempersulit respon mereka untuk menyelidiki atau melakukan penanggulangan selama insiden tersebut sedangkan, bahan campuran gunakan penalti pada komponen dengan NH tertinggi. Menurut NFPA 325M, NH adalah faktor kesehatan material. Nilai NH pada banyak material dapat ditemukan dalam *Appendix A* atau pada NFPA 704.

Nilai NH ditentukan dari proses unit yang dievaluasi sesuai karakteristik bahan terhadap bahaya dari paparan yang disebabkan bila terjadi kebakaran atau ledakan dari bahan/proses unit tersebut. Penalti yang digunakan yaitu menggunakan persamaan

$$\text{Penalti} = 0,20 \times \text{NH} \quad (2.1)$$

Tabel 2.8 merangkum nilai NH dan kategorinya dari NFPA 704.

Tabel 2. 8 Nilai NH pada Bahan Menurut NFPA 704

Kategori	Nilai NH
1) Bahan yang terpapar singkat dalam kondisi kebakaran tidak akan menimbulkan bahaya selain bahan biasa yang mudah terbakar	0
2) Bahan yang terpapar secara singkat dapat menyebabkan iritasi tetapi hanya cedera residual kecil, termasuk yang membutuhkan penggunaan respirator pemurni udara yang disetujui.	1
3) Bahan-bahan yang terpapar secara intens atau pendek dapat menyebabkan ketidakmampuan sementara atau kemungkinan cedera residual, termasuk yang membutuhkan penggunaan peralatan perlindungan pernapasan yang memiliki pasokan udara independen.	2
4) Bahan yang terpapar secara singkat dapat menyebabkan cedera sementara atau residual yang serius, termasuk yang membutuhkan perlindungan dari semua kontak tubuh.	3
5) Bahan yang terpapar sangat singkat dapat menyebabkan kematian atau cedera residual besar	4

Sumber : (Engineers, 1994)

#### B. Tekanan Sub-Atmosfer (*Sub Atmospheric Pressure*)

Bagian ini berlaku apabila kondisi proses kebocoran udara dalam suatu sistem bisa menciptakan bahaya. Sebuah bahaya yang dapat dihasilkan dari udara dengan bahan yang memiliki kelembaban sensitif atau oksigen-sensitif atau dari pembentukan campuran yang mudah terbakar pada udara. Penalti yang diterapkan hanya jika tekanan proses kurang dari 500 mmHg (0,67 bar, karena 1 mmHg = 0,00133) atau setara dengan 10 Hg dalam ruang hampa, penalti nya adalah 0,50. Jika penalti diterapkan, maka tidak mengulang penalti dalam poin "*Operation In or Near Flammable Range*," dan dalam poin "*Pressure Relief*." (Engineers, 1994).

#### C. Temperatur Operasi yang Pada atau Dekat dengan *Flammable Range (Operation in or Near Flammable Range)*

Terdapat tiga bagian faktor dasar yang disesuaikan dengan keadaan bahan kimia/proses unit yang dievaluasi

untuk menentukan penalti ini. Jika tidak sesuai maka dapat mengisi penalti dengan nilai 0,00. Ketiga penalti faktor dasar tersebut dimaksudkan untuk pendekatan kondisi berikut:

Tabel 2. 9 Penalti (*Operation in or Near Flammable Range*)

Karakteristik	Nilai Penalti
1) Tangki penyimpanan dengan NF= 3 atau 4 atau cairan yang mudah terbakar ( <i>flammable liquid</i> ) dimana udara dapat terhirup ke dalam tangki selama memompa keluar atau mendinginkan tangki secara tiba-tiba. <ul style="list-style-type: none"> <li>Ventilasi terbuka atau tanpa gas inert diisi sistem operasi tekanan-vakum bantuan</li> <li>Penyimpanan cairan yang mudah terbakar (<i>combustible liquids</i>) pada suhu di atas titik nyala cup tertutup mereka tanpa lembam.</li> </ul>	0,50
2) Peralatan proses atau tangki penyimpanan proses yang ada di dalam atau dekat dengan <i>flammable range</i> dan ada kemungkinan terjadinya kegagalan instrumen atau peralatan. <ul style="list-style-type: none"> <li>Setiap unit proses yang bergantung pada pembersihan lembam untuk menjaganya dari jangkauan yang mudah terbakar</li> <li>Contohnya mobil tangki</li> </ul>	0,30
3) Proses atau operasi yang berlangsung selalu berada dalam atau dekat <i>flammable range</i> , baik karena pembersihan tidak praktis atau karena itu dipilih untuk tidak membersihkan ( <i>purging line</i> )	0,80

Sumber : (Engineers, 1994)

#### D. Ledakan Debu (*Dust Explosion*)

Penalti ini dimaksudkan untuk proses unit yang melibatkan penanganan debu seperti mentransfer, pencampuran, penggilingan, mengantongi, dan lain sebagainya. Semua debu memiliki kisaran ukuran partikel untuk penentuan penalti, gunakan ukuran 10% yaitu, ukuran partikel di mana 90% debu lebih kasar dan 10% lebih halus. Lihat tabel 2.10 untuk penalti yang sesuai kecuali, pengujian ledakan debu menunjukkan bahwa tidak ada bahaya ledakan debu.

Tabel 2. 10 Penalti *Dust Explosion*

<i>Dust Explosion Penalty</i>		
<i>Particle Size Mikrons</i>	<i>Tyler Mesh Size</i>	<i>Penalti (Use ½ if in an inert gas)</i>
175+	60 to 80	0,25
150-175	80 to 100	0,50
100 to 150	100 to 150	0,75
75 to 100	150 to 200	1,25
<75	> 200	2,00

Sumber : (Engineers, 1994)

#### E. Pelepasan Tekanan (*Pressure Relief*)

Bagian ini penalti ditentukan bila terjadi kerusakan pada beberapa komponen di unit proses dan kemungkinan terjadi lepasnya *flammable material*. Menentukan penalti dengan menggunakan beberapa pertimbangan. Persamaan dibawah ini diterapkan untuk tekanan 0 sampai 1000 psig (0 sampai 6.895 kPa), dan proses unit yang *flammable* dan *combustible liquid* dengan *flash point* di bawah 140°F selain itu, gunakan Tabel 2.11 untuk menentukan penalti.

$$Y = 0,16109 + 1,61503 \left[ \frac{X}{1000} \right] - 1,42879 \left[ \frac{X}{1000} \right]^2 + 0,5172 \left[ \frac{X}{1000} \right]^3 \quad (2.2)$$

Dimana, Y = Penalti, dan X = Tekanan operasi proses unit

Tabel 2. 11 Penalti *Relief Pressure*

<b>HIGH PRESSURE PENALTY FOR FLAMMABLE &amp; COMBUSTIBLE LIQUIDS</b>		
<i>Pressure Psig</i>	<i>Pressure kPa gauge</i>	<i>Penalty</i>
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 to 10.000	20.685 to 68.950	1,00
>10.000	>68.950	1,50

Sumber : (Engineers, 1994)

Pertimbangan lainnya sebagai faktor penyesuaian penalti tekanan akhir:

- 1) Bahan yang sangat kental seperti ter, bitumen, minyak pelumas berat dan aspal, kalikan nilai penalti akhir dengan 0,70.
- 2) Gas terkompresi sendiri atau cairan yang mudah terbakar di tekan hingga gas di atas 15 psig (103 kPa), kalikan penalti akhir dengan 1,2.
- 3) Cairan mudah terbakar/LPG (termasuk semua bahan yang mudah terbakar disimpan diatas titik didihnya), kalikan penalti akhir dengan 1,3.

F. Temperatur Rendah (*Low Temperature*)

Kemungkinan terjadinya kerapuhan baja karbon atau logam lainnya yang terkena suhu pada atau dibawah suhu transisi ulet atau rapuh mereka. Jika telah dilakukan evaluasi yang cermat dan tidak ada kemungkinan pada atau suhu dibawah suhu transisi selama kondisi operasi normal dan tidak normal, maka tidak ada penalti yang diterapkan.

Proses unit yang dioperasikan pada atau di bawah getas ulet / temperatur transisi, penalti 0,30 diterapkan. Jika tidak ada data yang tersedia, diasumsikan suhu transisi 50°F (10°C). jika bahan yang digunakan selain carbon steel nilai penalti sebesar 0,20. Tidak ada penalti diberikan untuk bahan yang sesuai untuk suhu operasi serendah mungkin.

G. Jumlah Material yang Mudah Terbakar/Bahan Tidak Stabil (*Quantity of Flammable and Unstable Material*)

Terdapat tiga kategori material yang dikelompokkan dan salah satunya akan digunakan sesuai dengan proses unit yang dievaluasi untuk menentukan penalti pada bagian ini. Nilai penalti ditentukan dengan menggunakan persamaan rumus dan grafik berdasarkan material nya.

1) Cairan atau Gas dalam Proses (*Liquids or Gases in Process*)

Penalti ini mempertimbangkan untuk jumlah material yang dapat tumpah dan mengakibatkan reaktif bahan kimia, kebakaran, dan juga ledakan. Nilai penalti dapat berlaku untuk bahan sebagai berikut:

- a. *Flammable liquids dan Combustible liquids* dengan titik nyala dibawah 140°F (60°C)
- b. *Flammable gases*
- c. *Liquified flammable gasses*
- d. *Combustible liquids* dengan *cup* tertutup titik nyala diatas 140°F (60°C)
- e. Bahan reaktif dengan *flammability* (NR = 2, 3 atau 4)

Tahapan menentukan nilai penalti yang diterapkan, pertama menghitung total energi dalam proses yaitu perkalian antara jumlah dari bahan *flammable/unstable* dengan faktor Hc (BTU/lb), dan hasil yang didapat dalam total BTU x 10<sup>9</sup>. Faktor Hc adalah panas dari bahan yang mudah terbakar. Dapat dilihat di Apendiks A atau data diperoleh dari uji kimia reaktif. Masukkan Hc (BTU/lb) pada formulir F&EI poin "*Special Process Hazards*".

Nilai penalti ditentukan menggunakan kurva atau dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Log } Y = 0,17179 + 0,42988(\text{log } X) - 0,37244(\text{log } X)^2 - 0,029984(\text{log } X)^3 \quad (2.3)$$

Dengan: (X) Total energi dalam proses, satuan BTU x 10<sup>9</sup> terhadap Nilai penalti (Y).

## 2) Cairan atau Gas di Penyimpanan (Di luar Proses Area)

Terdapat tiga kategori pada bagian ini yang dipilih salah satunya sesuai dengan jumlah material, tipe cairan atau gas dan panas pembakaran ( $H_c$ ) proses unit yang bersangkutan untuk menentukan nilai penalti dengan grafik dan persamaan sebagai berikut:

### a. Kurva A, untuk *Liquified gases*

$$\begin{aligned} \text{Log } Y &= -0,28906 + 0,472171(\log X) \\ &\quad - 0,074585(\log X)^2 - 0,018641(\log X)^3 \quad (2.4) \end{aligned}$$

### b. Kurva B, untuk *Flammable Liquid* Kelas I (Flash point <100°F)

$$\begin{aligned} \text{Log } Y &= -0,40311 + 0,378703 (\log X) \\ &\quad - 0,046402 (\log X)^2 - 0,015379 (\log X)^3 \quad (2.5) \end{aligned}$$

### c. Kurva C, untuk *Combustible Liquid* (100°F <Flash point < 140°F)

$$\begin{aligned} \text{Log } Y &= -0,5583 + 0,3763321 (\log X) \\ &\quad - 0,057296 (\log X)^2 - 0,010759 (\log X)^3 \quad (2.6) \end{aligned}$$

Dengan: (X) Total energi dalam proses, satuan BTU x  $10^9$  terhadap Nilai penalti (Y).

## 3) *Combustible Solids* di dalam Penyimpanan atau Debu dalam Proses (*Combustible Solids in Storage/Dust Process*)

Pertimbangan dalam penentuan nilai penalti jika material proses unit termasuk dalam *combustible solid* dan debu dalam proses yaitu berdasarkan densitas material, kemudahan dan kemampuan untuk tetap menyala. Nilai penalti dapat ditentukan dengan grafik atau dengan persamaan berikut:

### a. Kurva A, untuk material yang densitas nya < 10 lb/ft<sup>3</sup> atau 160 kg/m<sup>3</sup>

$$\begin{aligned} \text{Log } Y &= 0,280423 + 0,464559(\log X) \\ &\quad - 0,28291(\log X)^2 - 0,066218(\log X)^3 \quad (2.7) \end{aligned}$$

- b. Kurva B, untuk material yang densitas nya  $> 10\text{lb/ft}^3$  atau  $160\text{ kg/m}^3$

$$\begin{aligned} \text{Log } Y &= -0,358311 + 0,459926(\log X) \\ &\quad - 0,141022(\log X)^2 - 0,02276(\log X)^3 \quad (2.8) \end{aligned}$$

Dengan: (X) Total energi dalam proses, satuan BTU x  $10^9$  terhadap Nilai penalti (Y).

#### H. Korosi dan Erosi (*Corrosion and Erosion*)

Laju korosi ditinjau dari laju korosi eksternal dan internal.

Penalti yang berlaku sesuai tabel berikut:

Tabel 2. 12 Penalti Korosi dan Erosi

Kategori Korosi	Nilai Penalti
1) Laju korosi $< 0,5$ mil/tahun ( $0,127$ mm/tahun) dengan risiko korosi lokal	0,10
2) Laju korosi $> 0,5$ mil/tahun ( $0,127$ mm/tahun) dan $< 1,00$ mil/tahun	0,20
3) Laju korosi $> 1,00$ mil/tahun ( $0,254$ mm/tahun)	0,50
4) Jika terdapat risiko keretakan pada proses unit	0,75
5) Adanya lapisan untuk mencegah terjadinya korosi	0,20
6) Adanya lapisan untuk melindungi produk dari perubahan warna	Tidak ada penalti

Sumber : (Engineers, 1994)

#### I. Kebocoran (*Leakage-Joints and Packing*)

Penentuan penalti pada bagian ini berdasarkan desain proses unit dan material yang digunakan dalam proses. Nilai penalti yang diterapkan:

Tabel 2. 13 Penalti *Leakage-Joints and Packing*

Kategori Kebocoran	Penalti
1) Apabila ada kemungkinan terjadinya kebocoran kecil pada pompa dan segel <i>gland</i>	0,10
2) Apabila ada kemungkinan kebocoran sedang (regular) pada pompa, kompresor dan pint flange	0,30
3) Di dalam proses terjadi <i>thermal and pressure cycling</i>	0,30
4) Apabila ada kemungkinan terjadi abrasi pada sealing, atau menggunakan poros yang berputar, atau pengemasan	0,40
5) Pada proses unit menggunakan <i>sight glasses, bellows assemblies</i> atau <i>expansion joint</i>	1,50

Sumber : (Engineers, 1994)

#### J. Penggunaan Alat Pembakar (*Use Fired Equipment*)

Penalti ini ditentukan apabila terdapat bahaya karena kemungkinan adanya tambahan dari peralatan pembakar. Ada dua kategori material dengan persamaan dan grafik yang harus dipilih sesuai dengan proses unit, yaitu:

- a. Material dalam proses unit yang dalam prosesnya di atas flash point dan untuk *combustible dust*. Dengan Y adalah Nilai penalti dan X yaitu jarak dari kebocoran dalam proses unit sampai tempat masuk udara ke peralatan pembakar (ft).

$$\log Y = -3,3243 \left[ \frac{X}{210} \right] + 3,75127 \left( \frac{X}{210} \right)^2 - 1,42523 \left( \frac{X}{210} \right)^3 \quad (2.9)$$

- b. Material dalam proses unit yang diproses berada di atas titik didih

$$\log Y = -0,3745 \left[ \frac{X}{210} \right] - 2,70212 \left( \frac{X}{210} \right)^2 - 2,09171 \left( \frac{X}{210} \right)^3 \quad (2.10)$$

Pertimbangan lainnya untuk menentukan penalti:

- a. Jika peralatan pembakar itu sendiri adalah proses unit yang sedang dievaluasi, jarak dari sumber kebocoran mungkin menjadi nol.

- b. Jika peralatan sedang memanaskan bahan yang mudah terbakar, penalti diterapkan sebesar 1,00. Meskipun jika material tidak dipanaskan diatas titik nyala bahan itu.
- c. Point J tidak diterapkan untuk fire side.
- d. Situasi lain yang dicakup oleh bagian ini melibatkan bahan diproses di bawah titik nyala tidak menerima penalti.
- e. Jika sebuah peralatan api terletak di dalam area proses dan ada kemungkinan bahwa materi di Proses Unit terpilih sebagai MF bisa dilepas di atas titik nyala, penalti minimal 0,10 diperlukan, terlepas dari jarak yang terlibat.
- f. Apabila peralatan pembakar menggunakan *pressure burner*, maka nilai penalti dikurangi 50%. Namun, penalti 50% tidak dapat diterapkan ketika pemanas api itu sendiri adalah Proses Unit yang sedang dievaluasi.

#### K. Sistem Pertukaran Panas Minyak Panas

Kuantitas dan suhu perubahan panas cairan yang digunakan dalam proses unit yang dievaluasi menjadi dasar penentuan besarnya nilai penalti untuk bagian ini. Penentuan penalti berdasarkan kuantitas bahan dapat menggunakan tabel berikut:

Tabel 2. 14 Penalti Sistem Pertukaran Minyak Panas

Kuantitas Galon (m <sup>3</sup> )	Nilai Penalti	
	Di atas titik nyala	Pada atau di atas titik didih
<5.000 (<18,9)	0,15	0,25
5.000 ke 10.000 (18,9-37,9)	0,30	0,45
10.000 untuk 25.000 (37,9-94,6)	0,50	0,75
> 25.000 (94,6)	0,75	1,15

Sumber : (Engineers, 1994)

Tidak ada penalti yang diberikan jika minyak panas tidak mudah terbakar atau, jika cairan yang mudah terbakar selalu digunakan di bawah titik nyalanya.

#### L. Peralatan Berputar

Bagian ini mengatur bahaya paparan proses unit yang berasal dari peralatan berputar meskipun formula ini tidak di atur untuk evaluasi semua tipe dan ukuran dari peralatan berputar. Penalti sebesar 0,50 diterapkan untuk proses unit pada peralatan yang:

- a. Sebuah Kompresor yang lebih dari 600 hp
- b. Pompa yang lebih dari 75 hp.
- c. Agitator (*Mixer*) dan pompa sirkulasi yang gagal membuat proses eksotermik karena kurangnya pendinginan dari terganggu nya campuran atau sirkulasi pendingin atau karena terganggu dan pencampuran kembali.
- d. Besar kecepatan peralatan berputar misalnya, sentrifugal atau dengan riwayat kerusakan yang besar.

#### 2.2.4.5 Menghitung Faktor Bahaya Proses Unit (*Process Unit Hazards Factor*)

*Process unit hazard* (F3) menggabungkan seluruh faktor yang dapat menyebabkan terjadinya kebakaran dan ledakan seperti suhu tinggi, tekanan tinggi dan sejumlah besar bahan yang mudah terbakar, sementara suhu rendah, tekanan rendah dan jumlah kecil sebaliknya (Wang et al., 2017).

Nilai dari unit hazard faktor diperoleh dari perkalian *General Process Hazards Factor* (F1) dan *Special Process Hazards Factor* (F2).

#### 2.2.4.6 Penentuan *Fire and Explosion Index* (F&EI)

*Fire & Explosion Index* digunakan untuk memperkirakan kerusakan yang mungkin akan dihasilkan dari sebuah insiden di pabrik pengolahan. Besarnya nilai F&EI diperoleh dari hasil

perkalian nilai *Process Unit Hazards Factor* (F3) dengan nilai Material Faktor dari bahan/Proses Unit yang diteliti. Hasil nilai tersebut menggambarkan mengenai potensi bahaya yang dapat terjadi.

Tabel 2. 15 Klasifikasi Tingkat Bahaya Berdasarkan Nilai FEI

<i>Range Nilai F&amp;EI</i>	Tingkat Bahaya
1-60	Ringan
61-96	Moderate
97-127	Intermediate
128-158	Berat
159 – keatas	Parah

Sumber : (Engineers, 1994)

#### 2.2.4.7 Penentuan Radius Paparan (*The Radius of Exposure*)

Radius paparan merupakan radius yang terkena dampak apabila terjadi kebakaran atau ledakan. Nilai radius paparan ditentukan dengan perkalian nilai F&EI dengan konstanta 0,84 (Engineers, 1994):

$$\text{Radius Paparan (ft)} = \text{Nilai F\&EI} \times 0,84 \quad (2.11)$$

Diketahui bahwa bencana kebakaran dan ledakan tidak menyebar menjadi lingkaran sempurna yang menghasilkan kerusakan yang sama ke segala arah. Kerusakan yang sebenarnya dapat dipengaruhi oleh posisi peralatan, arah angin dan tata letak drainase, yang semuanya merupakan faktor penting yang mempengaruhi desain pencegahan kerugian namun, lingkaran memberikan dasar yang baik untuk perhitungan nilai selanjutnya.

Dalam *Dow's Fire&EI* seluruh area bangunan tunggal yang terdapat proses unit akan dianggap sebagai sebagai kawasan yang terdampak jika ada risiko ledakan, seluruh bangunan dianggap sebagai area terbuka, bahkan jika bagian-bagiannya

dipisahkan oleh dinding tahan api. Kondisi bangunan atau gudang dianggap sebagai area yang dapat terdampak oleh kebakaran dan ledakan tanpa memperhitungkan faktor-faktor keamanan yang tersedia untuk dapat mengetahui kondisi terburuknya (Engineers, 1994).

#### **2.2.4.8 Penentuan Faktor Kerusakan (*Damage Factor*)**

*Damage Factor* adalah nilai dampak keseluruhan dari kebakaran ditambah kerusakan ledakan akibat dari pelepasan bahan bakar atau energi reaktif dari proses unit. Hasil *damage factor* menggambarkan nilai maksimum apabila kondisi bangunan tidak terdapat sistem proteksi. Nilai *damage factor* ditentukan dari *Process Unit Hazards Factor* (F3) dan *Material Factor* (MF) dengan menggunakan persamaan tertentu.

Persamaan ini terdapat 9 jenis dan penggunaannya berdasarkan *material factor* bahan kimia yang diteliti. Terdapat 9 *material factor* yaitu 1, 4, 10, 14, 16, 21, 24, 29, dan 40. Beragamnya persamaan ini bertujuan untuk memudahkan dalam mencari nilai *damage factor* (Engineers, 1994).

#### **2.2.4.9 Kelebihan dan Kekurangan *Dow's Fire and Explosion Index***

##### **1. Kelebihan**

- a. Penelitian ini mencakup penilaian terhadap sistem proteksi kebakaran dan ledakan, kebijakan manajemen perusahaan serta dapat memberikan perkiraan dampak maupun kerugian yang akan diakibatkan dari kejadian kebakaran dan ledakan tersebut.
- b. Metode ini relative lebih mudah dan tidak membutuhkan banyak personil dalam pelaksanaannya.

##### **2. Kekurangan**

- a. Diperlukannya *professional judgement* dalam pemberian nilai penalti dan nilai kredit,

- b. Metode ini tidak memperhitungkan arah angin yang ada di lokasi dan pada saat terjadinya kebakaran dan ledakan

### 2.3 Hirarki Pengendalian Risiko

Pengendalian risiko (*Risk Control*) adalah suatu upaya dalam mengatasi potensi bahaya yang terdapat dalam lingkungan kerja. Potensi bahaya tersebut dapat dikendalikan dengan menentukan suatu skala prioritas terlebih dahulu yang kemudian dapat membantu dalam prioritas terlebih dahulu yang kemudian dapat membantu dalam pemilihan pengendalian risiko yang disebut hirarki pengendalian risiko (Wijaya et al., 2015).

Upaya pengendalian risiko dilakukan dengan dapat mengikuti pendekatan hirarki pengendalian (Ramadhan, 2017). Hirarki pengendalian tersebut antara lain ialah eliminasi, substitusi, perancangan, administrasi dan alat pelindung diri (APD) yang terdapat pada tabel 2.16 berikut ini (Adzim, 2021).

Tabel 2. 16 Hirarki Pengendalian Risiko

<b>Hirarki Pengendalian Risiko</b>		
Eliminasi	Eliminasi Sumber Bahaya	Tempat Kerja / Pekerjaan Aman Mengurangi Bahaya
Substitusi	Substitusi Alat/Mesin/Bahan	
Perancangan	Modifikasi/Perancangan Alat/Mesin/Tempat Kerja yang Lebih Aman	
Administrasi	Prosedur, Aturan, Pelatihan, Durasi Kerja,	

	Tanda Bahaya, Rambu, Poster, Label	Tenaga Kerja Aman Mengurangi Paparan
APD	Alat Perlindungan Diri Tenaga Kerja	

Sumber : (Adzim, 2021)

Pengendalian Risiko dengan cara eliminasi memiliki tingkat keefektifan, kehandalan dan proteksi tertinggi di antara pengendalian lainnya selanjutnya, hirarki yang berada di bawahnya memiliki tingkat keefektifan, kehandalan dan proteksi yang lebih rendah. Dalam menerapkan hirarki, perlu mempertimbangkan biaya relatif, manfaat pengurangan risiko, dan keandalan dari pilihan yang tersedia sehingga hirarki yang dipilih harus sesuai dengan kondisi perusahaan (Mahendra, 2016).

## 2.4 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu bertujuan untuk mendapatkan bahan perbandingan dan acuan. Maka dalam kajian ini peneliti mencantumkan hasil-hasil penelitian terdahulu sebagai berikut:

### 1. Hasil Penelitian Munir M (2015)

Penelitian ini memiliki judul “Analisa Risiko Kebakaran Proses *Gas Liquefaction* Pada FLNG”. Metode dalam identifikasi dengan menggunakan *Hazard Operability* (HAZOP), analisa frekuensi *gas release* dengan menggunakan *Fault Tree Analysis* (FTA). Hasil nilai tersebut untuk menentukan *gas release* seperti *Jet Fire*, *Flash Fire*, *Gas Explosion* dan *Gas Dispersion* dengan menggunakan *Event Tree Analysis* (ETA), tahap selanjutnya adalah menggunakan aplikasi ALOHA.

Hasil penelitian ini didapatkan hasil analisis *frequency* dan *consequences*, maka didapatkan jenis risiko *jet fire* untuk hole 50 mm berada pada kondisi (*As Low As Reasonably Practicable*)

ALARP, kondisi ini masih termasuk aman namun apabila dibutuhkan mitigasi dapat dilaksanakan. Mitigasi dilakukan dengan menambah komponen pengaman untuk mencegah terjadinya *overpressure* pada pipa serta menambah alat keselamatan para pekerja, sedangkan pada diameter kebocorannya 100 mm dan 200 mm, termasuk dalam kondisi *Acceptable*. Hasil ini memiliki arti kondisi tersebut dapat diterima, selain itu, konsekuensi ledakan gas nya sangat kecil terjadi (Munir, 2015).

2. Hasil Penelitian Dani Nasirul Haqi (2019)

Penelitian memiliki judul “Analisis Potensi Bahaya Dan Risiko Terjadinya Kebakaran Dan Ledakan Di Tangki Penyimpanan Lpg Pertamina Perak Surabaya”. Metode yang digunakan penelitian deskriptif dengan pendekatan kuantitatif. Metode *Dow’s Fire and Explosion Index*.

Didapatkan hasil tingkat bahaya kebakaran dan ledakan pada tangki penyimpanan LPG di Depot LPG Pertamina Perak Surabaya sebesar 298,62 dalam klasifikasi tingkat bahaya *severe* (Haqi, 2019).

3. Hasil Penelitian Dahliyah Hayati (2020)

Penelitian ini berjudul “Identifikasi Resiko Bahaya Di Pergudangan Dengan Menggunakan HIRADC”. Metode yang digunakan *Hazard Identification Risk Assessment and Determining Control* (HIRADC). Penelitian ini bertujuan untuk melakukan identifikasi bahaya di wilayah pergudangan dengan metode HIRADC sebagai implementasi Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3).

Hasil pada penelitian ini adalah Aktivitas yang memiliki risiko atau dampak yang membahayakan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) pada proses pemindahan bahan baku zat kimia di gudang antara lain adalah aktivitas pemakaian *forklift*, *repacking*

*gumrosin*, dan pemakaian gayung/ *hand pump*. Pengendalian risiko yang dilakukan guna meminimalisir risiko adalah melakukan *update* pada dokumen HIRADC dan melakukan pelatihan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) bagi petugas di Gudang Bahan Baku Zat Kimia.

(Hayati, 2020).

#### 4. Hasil Penelitian Fouriza Dinda Mauliany (2020)

Penelitian ini memiliki judul “Prediksi Konsekuensi Kebakaran Dan Ledakan Berdasarkan Ukuran Tangki Timbun Dan Kandungan Bahan Bakar Minyak Jenis Pertamina Di SPBU Kota Banda Aceh Menggunakan Aplikasi Aloha Tahun 2020”. Penelitian ini bersifat deskriptif analitis dengan desain *case study*. Lokasi penelitian ini ialah SPBU Batoh dan SPBU Simpang Jam. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari SPBU serta BMKG lalu diolah menggunakan perangkat lunak ALOHA.

Hasil penelitian menunjukkan area yang dapat terbakar di SPBU Batoh adalah 28 yard, diantaranya zona merah (17 yard), zona oranye (21 yard), dan zona kuning (28 yard), sedangkan area yang dapat terbakar di SPBU Simpang Jam adalah 24 yard, dengan zona merah (13 yard), zona oranye (17 yard), dan zona kuning (24 yard). Kondisi SPBU keduanya tidak memiliki *emergency respon plan* dalam mengantisipasi kebakaran dan ledakan (Mauliany, 2020).

5. HIRADC Gudang Bahan Baku Kimia PR Tekroket BRIN

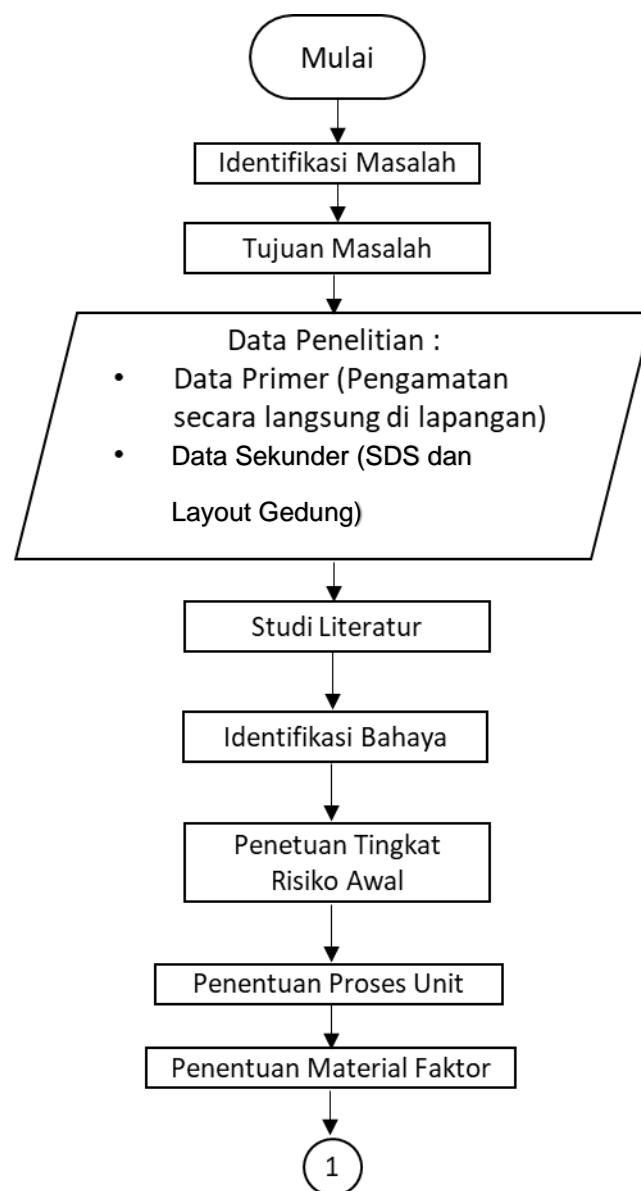
Tabel 2. 17 HIRADC Milik Gudang Bahan Baku Kimia PR Tekroket BRIN

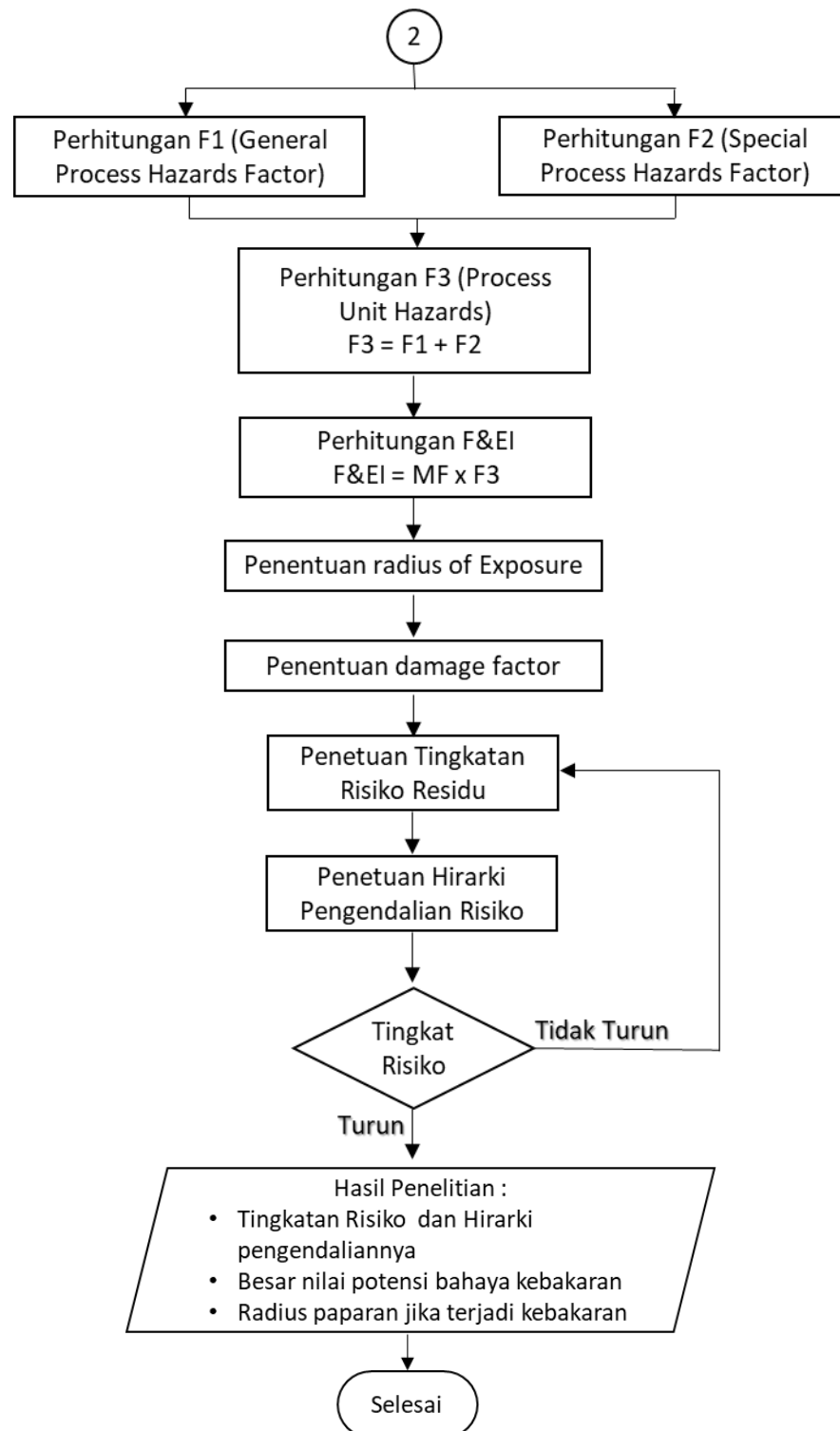
HAZARD IDENTIFICATION, RISK AND OPPORTUNITY ASSESSMENT, DETERMINING CONTROL																				No. Dokumen : 0994-P-07-F-01-17						
																				Revisi : 00-01						
																				Tgl Terbit : 7 Oktober 2021						
Dep : Gudang Kimia																										
No.	Identifikasi Bahaya K3			Evaluasi Bahaya K3 penting									Pengendalian Risiko K3 Penting							Objective, Target, Program Needed						
	Ruang / Non Ruang	Aktivitas / Produk / Jasa / Fasilitas	No. Bahaya K3	Uraian Bahaya K3	Jenis Konsekuensi K3	In Charge	Peraturan dan Kewajiban Kepatuhan	Existing Control	Freshness	Severity	Nilai Risiko	Tingkat Risiko	Control tambahan	Hirarki K3	Risiko Residu	Tingkat Risiko	Deskripsi Risiko dan atau Pelekat	Uraian Bahaya, Apakah Bahaya Tidak Terpapar?	Technology option ada?	Financial cost?	Is it feasible to implement it?	What is the best practice?	Yes / No	Pengendalian Operasional dan Tanggap darurat		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
1		Pemipunan bahan baku kimia		Impemusan akibat suhu gudang gudang kimia yang belum dikondisikan	perubahan sifat bahan, ketidaknyamanan, kebakaran sehingga menurunkan konsentrasi	SMN	Permanaker 187 / 1999	N/A	D	2	G2	Medium	Mengatur pola kerja karyawan	Administrasi	D	1	G1	Low	R: Pemipunan bahan jadi tidak baik pekarangnya kalo dah dibikin AC atau dehumidifier pemipunan bahan sesuai standar standar suhu yg pemipunan baik selain AC juga perlu exhaust agar udara terbuaskan dengan baik	Y	T	T	T	T	Yes	R: general safety, Pengendalian Thermohyrometer
2				Pekerja menghirup bahan kimia beracun dan kontak dengan mata pekerja	gangguan pernafasan	SMN	Permanaker 187 / 1999	APD: masker	B	2	B2	Low	Pengawasan pekerjaan, hmbaan penggunaan APD	APD	A	2	A2	Low	R: Suka ngap, pusing, mual dan jangka panjangnya menimbulkan penyakit kanker P bisa ditambahkan exhaust dan visual control / rambu-rambu wilayah wajib masker	Y	T	T	T	T	No	R: general safety
3				Luka bakar akibat terkena tumpahan atau percikan bahan kimia berbahaya (asam kuat / basa kuat)	luka bakar ringan	SMN	Permanaker 187 / 1999	Sarung tangan kain, Masker kain, Safety Shoes, safety helm	B	1	B1	Low	Pengawasan pekerjaan, kewajiban dan Standar Penggunaan APD	APD	A	1	A1	Low	R: penambahan visual control potensi bahaya untuk mengingatkan operator agar lebih berhati-hati dalam bekerja	Y	T	T	T	T	No	R: general safety
4		Pempunasan paliet atau barang di rak penyimpanan (Racking)		Ergonomi, Pekerja tertimpa paliet atau barang terjatuh	cedera ringan, cedera berat	SMN	Permanaker 05 / 2018	adanya tabel nama barang beserta lokasi rak barang, Sarung tangan kain, Masker kain, Safety Shoes, safety helm	C	2	G2	Low	1. Pembaharuan instruksi kerja dalam pemasangan barang dan pemasangan rambu rambu bahaya	Administrasi	B	1	B1	Low	R: dengan pembaharuan instruksi kerja dalam pemasangan barang dan pemasangan rambu rambu bahaya dapat mengingatkan pekerja untuk selalu berhati-hati dalam memata	T	Y	Y	Y	Y	Yes	R: general safety
5				pengaturan posisi letak bahan kimia tidak sesuai dengan muat contoh logam harus dipauhi dengan oksidator	iritasi mata dan kulit, gangguan pernafasan, bahan b3 penyebab kanker	SMN	Kepmanaker 187 / 1999	adanya tabel nama barang beserta lokasi rak barang, Sarung tangan kain, Masker kain, Safety Shoes, safety helm	A	4	A4	Low	1. Pembaharuan instruksi kerja yaitu msb dan pemasangan rambu rambu bahaya	Administrasi	B	1	B1	Low	R: dengan pembaharuan instruksi kerja yaitu adanya muat dan pemasangan rambu rambu bahaya dapat mengingatkan pekerja untuk selalu berhati-hati dalam memata barang persediaan kimia	T	Y	Y	Y	Y	Yes	R: general safety

Sumber : (BRIN, 2021)

Identifikasi bahaya dan pemetaan risiko yang sudah dilakukan pihak PR Tekroket pada Gudang Bahan Baku Kimia memiliki dengan terdapat 2 aktivitas utama dan 5 potensi risiko. Tingkat risiko awal yang terdapat adalah 1 potensi risiko *medium* dan 4 potensi risiko *low*. Dilakukannya pengendalian risiko dengan tindakan administrasi yaitu *IK General Safety*, pada potensi risiko terjadi perubahan yang awalnya tingkat risiko *medium* menjadi tingkat risiko *low*.

## 2.5 Kerangka Berpikir





Gambar 2. 14 Kerangka Berpikir