

[ISSN 2597- 6052](https://doi.org/10.56338/mppki.v7i5.5124)DOI: <https://doi.org/10.56338/mppki.v7i5.5124>**MPPKI****Media Publikasi Promosi Kesehatan Indonesia**  
*The Indonesian Journal of Health Promotion***Research Articles****Open Access**

## **Analisis Faktor-Faktor Penyebab Kecelakaan Proses pada Industri Kimia: Tinjauan Berdasarkan Laporan Investigasi CSB**

*The title is written in English with a maximum of 15 words, avoid using the word relationship/influence*

**Mahendra Duta Apriono<sup>1\*</sup>, Sjahrul Meizar Nasri<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Departemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia\*Korespondensi Penulis : [dutamahendras2@gmail.com](mailto:dutamahendras2@gmail.com)

### **Abstrak**

**Latar belakang:** Keselamatan dan kesehatan kerja merupakan aspek penting dalam industri kimia untuk mencegah kecelakaan proses yang dapat membahayakan nyawa manusia dan lingkungan sekitar

**Tujuan:** Untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab kecelakaan proses dalam industri kimia. Penelitian ini juga bertujuan untuk memahami akar masalah dan faktor yang menyebabkan insiden-insiden yang mengancam keselamatan di sektor industri kimia.

**Metode:** Studi ini bertujuan untuk menganalisis penyebab kecelakaan proses pada industri kimia dengan menggunakan 44 Laporan Investigasi yang dikeluarkan oleh Chemical Safety Board (CSB) selama 11 tahun terakhir, mulai dari tahun 2012 hingga 2023. Rentang waktu kejadian yang diteliti adalah dari 12 Januari 2009 hingga 29 Januari 2020. Penyebab langsung kecelakaan dikategorikan menjadi 7 kategori, termasuk kegagalan peralatan, ketidakpatuhan terhadap prosedur, faktor alam, kekurangan dalam desain peralatan, kegagalan material, keberadaan sumber nyala, dan kurangnya identifikasi bahaya

**Hasil:** Hasil analisis menunjukkan bahwa kegagalan peralatan merupakan penyebab kecelakaan terbanyak dengan presentase 35%, diikuti oleh ketidakpatuhan terhadap prosedur dengan presentase 25%, dan kegagalan material 14%. Penyebab lainnya seperti kekurangan dalam desain peralatan, faktor alam, keberadaan sumber nyala, dan kurangnya identifikasi bahaya masing-masing memiliki presentase yang lebih rendah

**Kesimpulan:** Penting bagi industri untuk meningkatkan pemeliharaan dan pengawasan terhadap peralatan agar dapat mengurangi risiko kecelakaan. Selain itu, penegakan prosedur keselamatan yang ketat dan pemahaman terhadap factor-faktor penyebab kegagalan material juga menjadi kunci dalam mencegah insiden yang dapat membahayakan keselamatan kerja

**Kata Kunci:** *Chemical Safety Board (CSB); Investigaasi; Kegagalan Peralatan; Kegagalan Material; Prosedur*

### **Abstract**

**Introduction:** *Occupational safety and health are important aspects in the chemical industry to prevent process accidents that can endanger human lives and the surrounding environment*

**Objective:** *To identify the factors that cause process accidents in the chemical industry. This research also aims to understand the root causes and factors that lead to safety-threatening incidents in the chemical industry sector.*

**Method:** *To identify the factors that cause process accidents in the chemical industry. This research also aims to understand the root causes and factors that lead to safety-threatening incidents in the chemical industry sector.*

**Result:** *The results of the analysis show that equipment failure is the most common cause of accidents with a percentage of 35%, followed by non-compliance with procedures with a percentage of 25%, and material failure with a percentage of 14%. Other causes such as deficiencies in equipment design, natural factors, presence of ignition sources, and lack of hazard identification each account for lower percentages*

**Conclusion:** *It is important for industry to improve the maintenance and supervision of equipment to reduce the risk of accidents. In addition, enforcing strict safety procedures and understanding the factors that cause material failure is also key in preventing incidents that could endanger work safety*

**Keywords:** *CSB (Chemical Safety Board); Investigation; Equipment Failure; Material Failure; Material Failure.*

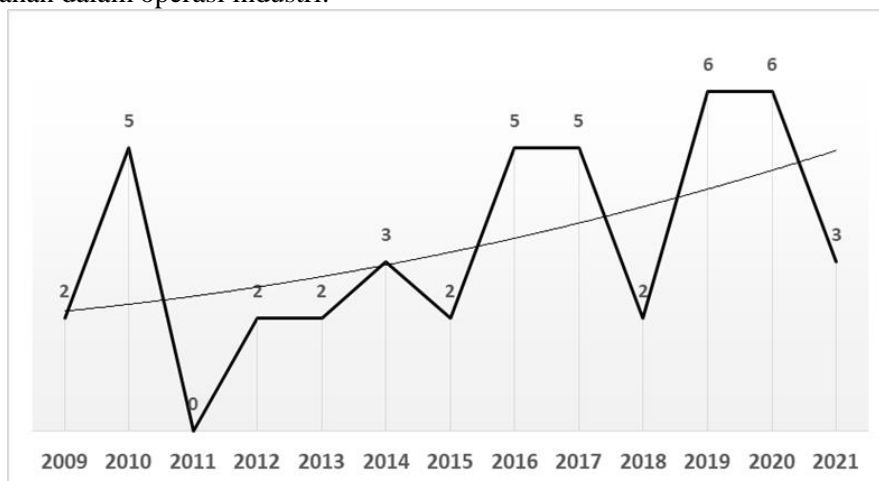
## PENDAHULUAN

Dalam era industri modern, keselamatan dan kesehatan kerja merupakan dua aspek yang menjadi prioritas utama bagi perusahaan-perusahaan yang beroperasi dalam berbagai sektor, termasuk industri kimia. Meskipun telah dilakukan berbagai upaya untuk meningkatkan standar keselamatan, kecelakaan proses masih menjadi perhatian serius yang mempengaruhi tidak hanya keberlangsungan operasional, tetapi juga nyawa manusia dan lingkungan sekitar.

Studi penyebab kecelakaan proses pada industri berbasis laporan investigasi CSB (Chemical Safety Board) merupakan sebuah upaya mendalam untuk memahami akar masalah dan faktor yang menyebabkan insiden-insiden yang mengancam keselamatan. CSB, sebagai lembaga independen yang bertanggung jawab untuk menyelidiki kecelakaan kimia di Amerika Serikat, menyajikan laporan investigasi yang kaya akan wawasan dan analisis mendalam terkait insiden-insiden tersebut.

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab kecelakaan proses dalam industri kimia. Selain itu, artikel ini bertujuan untuk mengeksplorasi berbagai aspek yang terkait dengan kecelakaan proses dalam industri berdasarkan laporan investigasi CSB. Dengan memperhatikan temuan dan rekomendasi yang dihasilkan oleh CSB, kita dapat mengidentifikasi pola-pola umum serta penyebab-penyebab khusus di balik kegagalan sistem keselamatan. Melalui pemahaman yang lebih mendalam terhadap faktor-faktor penyebab kecelakaan proses, diharapkan industri-industri kimia dapat mengambil langkah-langkah preventif yang lebih efektif dan proaktif untuk mencegah insiden-insiden serupa di masa depan.

Tulisan ini akan menjelajahi laporan investigasi CSB dalam menginformasikan praktik-praktik keselamatan industri, menyoroti beberapa contoh studi kasus yang relevan, serta mengevaluasi implikasi praktis dari temuan-temuan tersebut bagi industri kimia secara keseluruhan. Dengan demikian, tulisan ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang berharga bagi para praktisi, pengambil kebijakan, dan peneliti yang peduli terhadap peningkatan keselamatan dan keamanan dalam operasi industri.



**Grafik 1.** Trend Kecelakaan Proses Pada Industri di amerika 2009-2021

## METODE

Sebelum memulai metode penelitian, berikut adalah alasan mengapa penulis memilih database dari CSB. CSB berdedikasi untuk menyelidiki kecelakaan kimia, dan timnya terdiri dari para ahli di berbagai bidang seperti teknik kimia, keselamatan proses, faktor manusia, dan sistem manajemen keselamatan. Pengetahuan dan pengalaman khusus mereka menjadikan laporan mereka berharga untuk memahami akar penyebab kecelakaan.

CSB adalah badan federal independen yang bertugas menyelidiki kecelakaan bahan kimia industri. Berkantor pusat di Washington, DC, anggota dewan badan tersebut ditunjuk oleh Presiden dan dikonfirmasi oleh Senat. CSB melakukan investigasi akar penyebab kecelakaan kimia pada fasilitas industri. Akar penyebab biasanya adalah kekurangan dalam sistem manajemen keselamatan, namun bisa juga merupakan faktor apa pun yang dapat mencegah kecelakaan namun faktor tersebut mengalami kegagalan. Penyebab kecelakaan lainnya sering kali disebabkan oleh kegagalan peralatan (CSB). Lalu apa yang dimaksud industri kimia disini? Dalam penelitian ini Industri kimia adalah Semua industri yang didalamnya mencakup berbagai aktivitas dan proses yang melibatkan bahan kimia.

## Pengumpulan Data

Studi ini menggunakan 44 Completed Investigation Report dari Chemical Safety Board (CSB). Laporan investigasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah laporan selama 11 tahun terakhir yang telah dirilis secara resmi oleh CSB dari tahun 2012 sampai 2023. Untuk waktu kejadian yang digunakan dalam penelitian ini memiliki

rentang dari kejadian tanggal 12 Januari 2009 sampai kejadian tanggal 29 Januari 2020. Pengumpulan data dilakukan dengan cara mengekstraksi laporan investigasi final maupun berita dari website *Chemical Safety Board*.

### Kategorisasi Penyebab

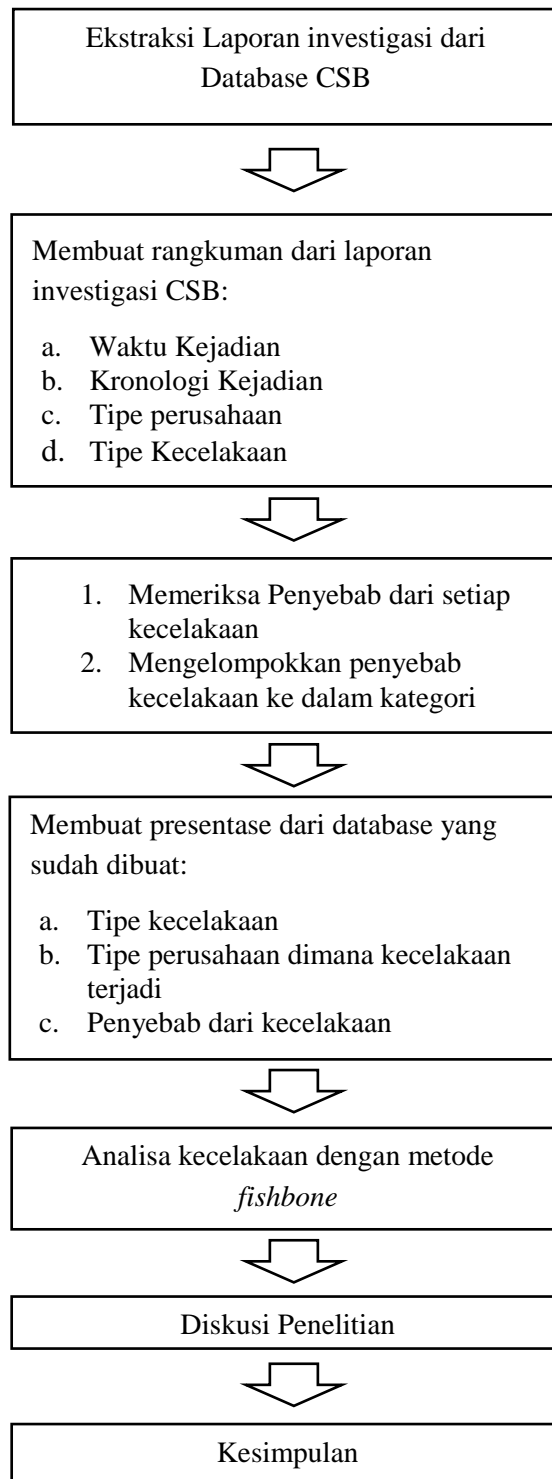
Pada analisa ini, penyebab langsung kejadian dikategorikan menjadi 7 kategori yaitu Kegagalan Peralatan, Kegagalan dalam mengikuti prosedur atau tidak terdapat prosedur, Faktor alam, Kekurangan dalam desain peralatan, Kegagalan material, Terdapat sumber nyala, dan Kurangnya identifikasi bahaya.

Penyebab Kecelakaan	Deskripsi	Contoh
<b>Kegagalan Peralatan</b>	Mengacu pada kegagalan fungsi, kerusakan, atau ketidakmampuan mesin, peralatan, atau sistem untuk menjalankan fungsi yang dimaksudkan.	Kebocoran, pecahnya pipa, Kegagalan mekanis, dan kegagalan elektrik
<b>Tidak mengikuti prosedur atau tidak terdapat prosedur</b>	Penyimpangan dari prosedur, protokol, dan peraturan keselamatan yang ditetapkan dapat berkontribusi langsung terhadap kecelakaan	Tidak melaksanakan <i>Pre-startup Safety Review</i> , Tidak melakukan pengawasan pada pekerjaan
<b>Faktor Alam</b>	Faktor eksternal seperti kondisi cuaca, bencana alam, atau perubahan lingkungan yang tidak terduga dapat berdampak langsung pada proses dan menyebabkan kecelakaan	Hujan, topan, dan lain-lain
<b>Kekurangan dalam desain</b>	Kekurangan atau cacat pada desain peralatan, fasilitas, atau proses dapat secara langsung menyebabkan kecelakaan. Kelemahan ini mungkin tidak langsung terlihat, namun dapat terlihat pada kondisi atau pemicu stres tertentu	Tidak memasang dust collector, salah arah pembuangan safety relief valve
<b>Kegagalan Material</b>	Ketidakmampuan suatu material untuk menahan tekanan atau beban yang diberikan, sehingga mengakibatkan kerusakan struktural, deformasi, atau pecah.	Erosi, Korosi, Fraktur Overload Rapuh ( <i>Brittle Overload Fracture</i> )
<b>Sumber Nyala</b>	Terdapat sumber penyulutan yang tidak terkontrol seperti percikan api, nyala api, atau busur listrik yang dapat langsung memicu kebakaran atau ledakan.	Percikan dari pengelasan, penggunaan heat gun yang tidak terkontrol
<b>Kurangnya Identifikasi Bahaya</b>	kegagalan dalam mengenali, mengevaluasi, atau memahami potensi bahaya yang terkait dengan suatu aktivitas, proses, atau lingkungan kerja	Tidak mengetahui bahaya dari suatu material

Selain itu dalam penelitian ini tipe kecelakaan dibagi menjadi 5 kategori yaitu Kebakaran dan ledakan, kejadian reaktif, Kejadian yang berimbas pada masyarakat, Ledakan Debu, dan rilisnya bahan kimia, pembagian ini mengikuti Accident type yang dilakukan oleh CSB.

Tipe Kecelakaan	Deskripsi
<b>Kebakaran dan Ledakan</b>	Kebakaran adalah Reaksi pembakaran yang disertai dengan evolusi panas, cahaya, dan nyala api.(CCPS) Ledakan adalah Meledaknya atau pecahnya selungkup atau wadah karena adanya tekanan internal akibat deflagrasi.(NFPA)
<b>Kecelakaan Reaktif</b>	Center for Chemical Process Safety (CCPS) mendefinisikan kecelakaan reaktif sebagai situasi dengan potensi reaksi kimia yang tidak terkendali yang dapat mengakibatkan secara langsung atau tidak langsung bahaya serius bagi manusia, properti, atau lingkungan
<b>Berimbas pada Masyarakat</b>	Pelepasan zat beracun yang tidak terkendali, yang berpotensi membahayakan kesehatan masyarakat dan lingkungan. (WHO)
<b>Ledakan Debu</b>	kejadian di mana partikel-partikel debu yang terdispersi di udara menjadi sumber energi yang meledak. Ini terjadi ketika debu yang dihasilkan dari material padat yang mudah terbakar seperti tepung, tepung kayu, bubuk logam, atau serbuk kayu, tersuspensi di udara dalam konsentrasi yang cukup tinggi, dan kemudian terpapar dengan api, panas, atau sumber energi lainnya.(NFPA)
<b>Rilisnya Bahan kimia</b>	Pelepasan zat kimia beracun atau berpotensi menimbulkan kebakaran dan ledakan yang tidak terkendali.

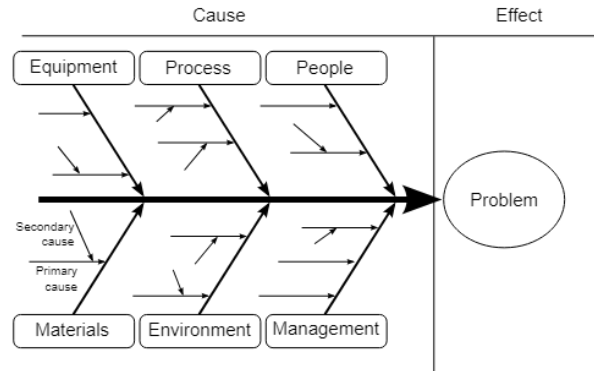
Untuk mendukung penelitian ini maka diperlukan langkah-langkah sistematis yang dimulai dari melakukan pengumpulan data laporan investigasi, membuat database rangkuman dari hasil investigasi, menentukan penyebab kecelakaan, mempresentasikan penyebab kecelakaan lalu menganalisa penyebab kecelakaan dengan metode tulang ikan (Fish Bone).



**Gambar 1.** Alur Proses Penelitian

**Analisa Data**

Dalam menganalisa akar permasalahan, penelitian ini menggunakan Fishbone Diagram. Metode ini juga dikenal sebagai Ishikawa Diagram atau Cause-and-Effect Diagram. Metode ini adalah alat yang digunakan untuk menganalisis akar masalah dan mengidentifikasi kemungkinan penyebab dari suatu kecelakaan.



**Gambar 2.** Struktur Diagram Tulang Ikan (*Fish Bone*)

**HASIL**

Insiden keselamatan proses merupakan ancaman serius bagi perusahaan, dapat merusak aset dan reputasi mereka. Meskipun industri telah menerapkan peraturan dan praktik terbaik, kebakaran, ledakan, dan kebocoran bahan kimia beracun masih terjadi. Tidak hanya pabrik petrokimia, berbagai industri lain seperti pertanian, pertambangan, baja, farmasi, makanan, dan manufaktur juga rentan terhadap insiden semacam itu.

Dalam rentang waktu 2009 hingga 2020, tercatat 44 kecelakaan yang menyebabkan 81 kematian dan 843 orang terluka, dengan kerugian total mencapai USD 19,7 miliar. BP menjadi salah satu yang paling terdampak dengan kebakaran dan ledakan rig Deepwater Horizon, menyebabkan kerugian sebesar USD 18,7 miliar. Jumlah kerugian tersebut memiliki dampak signifikan bagi suatu negara.

Dari hasil penelitian didapatkan untuk tipe industri Oil and refining sebesar 32%, Chemical Manufacturing sebesar 34%, sisanya sebesar 34% terdiri dari industri Chemical Distribution, Metal industry, Tank terminal, food manufacturing, packaging, Agricultural Processing, Laboratory, dan Manufacturing

**Statistik Secara Umum**

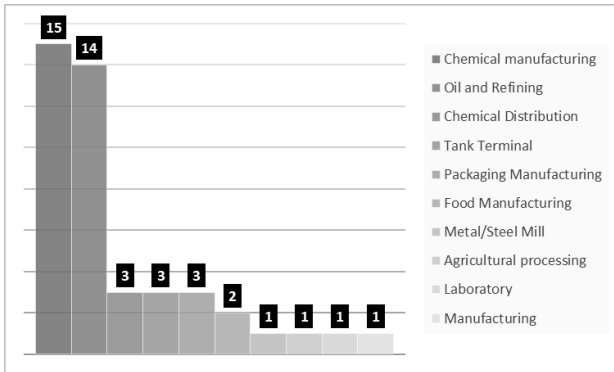
Pada bagian ini akan disajikan detil data per tahun yang mendeskripsikan tipe industri tempat terjadinya kecelakaan.

**Tabel 1.** Tipe Perusahaan Kimia

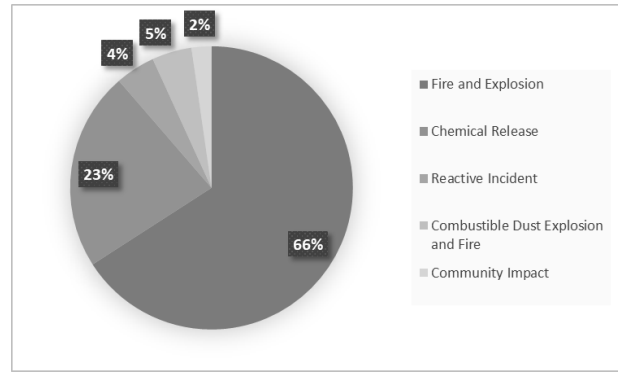
Tipe Perusahaan	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Total
Chemical manufacturing	0	2	0	1	1	1	0	1	1	2	2	2	2	15
Oil and Refining	1	2	0	1	0	1	2	1	1	1	3	1	0	14
Chemical Distribution	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	3
Tank Terminal	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	3
Packaging Manufacturing	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	3
Food Manufacturing	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2
Metal/Steel Mill	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Agricultural processing	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Laboratory	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Manufacturing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
<b>Subtotal</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>44</b>

**Tabel 2.** Tipe Kecelakaan

Tipe Kecelakaan	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Total
Fire and Explosion	2	3	0	1	2	0	2	4	3	3	4	4	1	29
Chemical Release	0	1	0	0	0	3	0	1	0	0	2	1	2	10
Reactive Incident	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	2
Combustible Dust Explosion	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Community Impact	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
<b>Subtotal</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>44</b>



Grafik 2. Tipe Perusahaan



Grafik 3. Tipe Kecelakaan

**Penyebab Terjadinya Kecelakaan**

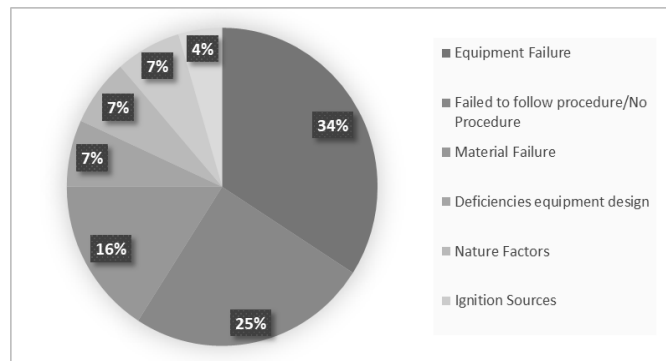
Ketika menganalisis penyebab kecelakaan dalam industri kimia berbasis laporan investigasi dari CSB, data menunjukkan bahwa berbagai faktor berkontribusi pada terjadinya insiden-insiden tersebut. Dalam konteks ini, ditemukan bahwa sebagian besar kecelakaan dapat dikaitkan dengan beberapa penyebab utama yang digambarkan pada table dan grafir berikut ini

**Tabel 3. Penyebab Terjadinya Kecelakaan**

Penyebab Kecelakaan	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Subtotal
Equipment Failure	0	3	0	0	0	1	0	2	1	1	2	2	3	15
Failed to follow	0	1	0	0	1	1	1	2	1	0	3	1	0	11
Environmental Factors	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	3
Deficiencies equipment	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3
Material Failure	2	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	7
Ignition Sources	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	3
Poor Hazard	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2
Subtotal	2	5	0	2	2	3	2	5	5	3	6	6	3	44

**Tabel 4. Resume Penyebab Kecelakaan**

Penyebab Kecelakaan	Jumlah
Equipment Failure	15
Failed to follow procedure/No Procedure	11
Material Failure	7
Deficiencies equipment design	3
Nature Factors	3
Ignition Sources	3
Hazard Evaluation	2
<b>Total</b>	<b>44</b>



Grafik 4. Diagram Lingkaran Penyebab Kecelakaan

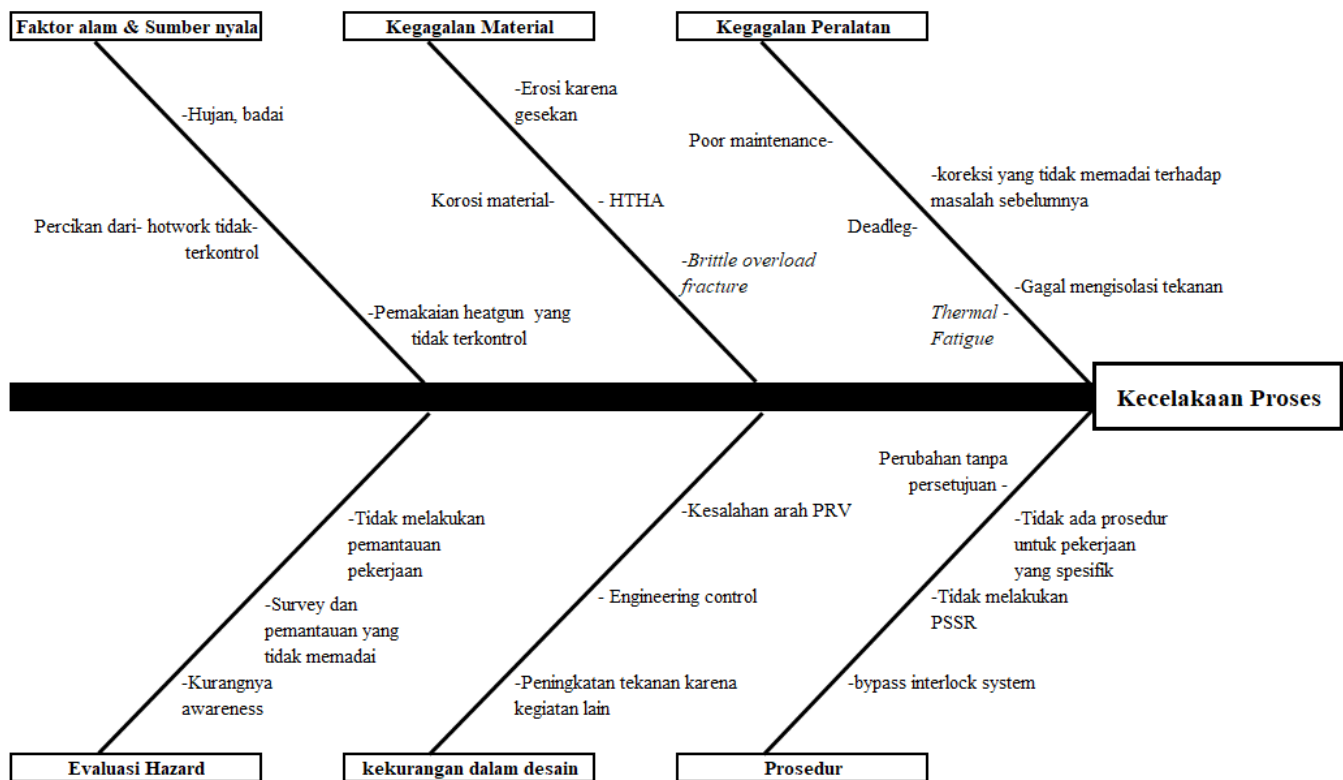
Berdasarkan table diatas kegagalan peralatan, yang tercatat sebesar 34%, menjadi faktor utama dalam kejadian kecelakaan. Hal ini mencakup berbagai jenis kegagalan, mulai dari kerusakan mekanis hingga kebocoran atau disfungsi sistem yang lebih kompleks. Meskipun peralatan sering kali didesain sesuai dengan standar keselamatan yang ketat, kejadian kegagalan peralatan tetap menjadi salah satu penyebab utama kecelakaan proses pada industri.

Tidak Mematuhi Prosedur Pekerjaan berkontribusi sebesar 25%. Kecelakaan sering terjadi karena tidak mengikuti prosedur kerja yang telah ditetapkan. Hal tersebut bisa disebabkan oleh kurangnya kesadaran tentang prosedur, kurangnya pelatihan yang memadai, atau bahkan tindakan sengaja mengabaikan prosedur yang telah ditetapkan.

Untuk kegagalan berkontribusi sebesar 16% penyebab terjadinya kecelakaan proses. Kegagalan material meliputi ketidakmampuan material yang digunakan dalam proses industri, seperti kegagalan struktural, kebocoran, atau kerusakan material lainnya yang dapat memicu kejadian tidak diinginkan.

25% sisanya terkait dengan desain yang kurang memadai, seperti sistem yang tidak memperhitungkan risiko potensial atau kebutuhan keselamatan. Faktor alam seperti cuaca ekstrem atau gempa bumi juga dapat menjadi penyebab kecelakaan. Sumber api, seperti api terbuka atau percikan listrik, juga bisa memicu kebakaran atau ledakan. Evaluasi bahaya yang tidak memadai juga bisa menyebabkan kecelakaan karena kurangnya mengidentifikasi dan mengurangi risiko dengan tepat.

Setelah semua penyebab terjadinya kecelakaan kita kelompokkan, kita dapat mengetahui apa penyebab terbesar dari kecelakaan di industri dan apa penyebab – penyebab lain yang juga berkontribusi pada kecelakaan di industri. Dalam menganalisa akar permasalahan, penelitian ini menggunakan Fishbone Diagram. Metode ini juga dikenal sebagai Ishikawa Diagram atau Cause-and-Effect Diagram. Metode ini adalah alat yang digunakan untuk menganalisis akar masalah dan mengidentifikasi kemungkinan penyebab dari suatu kecelakaan. Dengan diagram tulang ikan, kita akan mencari akar permasalahan dari setiap penyebab kecelakaan proses pada indsutri sehingga bisa ditentukan tindakan pencegahan terjadinya kecelakaan proses pada indsutri.



Gambar 3. Akar Masalah Penyebab Terjadinya Kecelakaan

**PEMBAHASAN**

Permasalahan dari kegagalan peralatan, prosedur, dan kegagalan material berkontribusi sebesar 75% penyebab kecelakaan proses pada industri. Berikut ini adalah ulasan dari beberapa kecelakaan proses yang diambil dari beberapa laporan investigasi kecelakaan CSB terkait dengan kegagalan peralatan, kegagalan material, dan prosedur.

**Kegagalan Peralatan**

Kebakaran pada tangki penyimpanan gasoline tanggal 23 oktober 2009 di caribbean petroleum refining tank, alat pengukur level pada tangki diketahui mengalami kerusakan berulang dan kurangnya perawatan sehingga disaat kejadian, pengukuran level dilakukan secara manual dan menghitung estimasi penuhnya tangki juga manual sehingga rawan terjadi kesalahan dimana kesalahan estimasi penuhnya tangki menyebabkan tangki mengalami overfilling dan tumpah dan terbakar.

Kegagalan peralatan darurat juga terjadi pada kecelakaan pada rig deepwater horizon yang mana Klep pencegah ledakan (blowout preventer) gagal menutup sumur selama keadaan darurat karena adanya kegagalan pada solenoid valve yang terhubung secara salah dalam pod kuning dan kabel yang kurang baik pada pod biru dari sistem darurat AMF/deadman. Kegagalan ini seharusnya tidak lolos dalam prosedur pengujian pabrik yang dilakukan oleh manufaktur produk tersebut.

Kebakaran di TPC Port Neches juga disebabkan gagalnya identifikasi pipa yang mengalami deadleg selama lebih dari 100 hari sehingga menyebabkan pipa pecah dan menyebabkan 6000 gallon butadiene cair rilis dan meledak 2 menit kemudian saat menemukan sumber penyulut.

Insiden di Watson Grinding di Houston, Texas, melibatkan pelepasan dan ledakan propilena yang fatal. Ledakan dahsyat melukai dua pekerja secara fatal dan menyebabkan kerusakan parah pada bangunan di sekitarnya. Salah satu penyebab utama adalah sebuah selang las karet yang terdegradasi dan terlepas dari fitting-nya di dalam sebuah booth pelapisan. Kegagalan ini menyebabkan propilen, uap hidrokarbon yang mudah terbakar, terlepas dan berkumpul di dalam bangunan. Ini menunjukkan kekurangan dalam pemeliharaan dan penggantian peralatan kerja yang penting.

Kebakaran besar di Intercontinental Terminal Company (ITC) di Deer Park, TX. Terjadi setelah pukul 10.00 pagi ketika produk nafta yang mengandung butana tidak sengaja terakumulasi dan terbakar di sekitar tangki penyimpanan atmosferik besar yang dikenal sebagai Tangki 80-8. Penyelidikan oleh CSB menemukan bahwa pompa sirkulasi yang terhubung ke Tangki 80-8 mengalami kerusakan, sehingga mengakibatkan keluarnya produk nafta yang mengandung butana dari tangki tersebut. Pompa sirkulasi Tangki 80-8 terus beroperasi, memompa produk yang bocor selama sekitar 30 menit sebelum uapnya terbakar, menyebabkan kebakaran yang memusnahkan manifold perpipaan Tangki 80-8. Setelah kebakaran terjadi, ITC tidak dapat menghentikan atau mengisolasi pelepasan produk tersebut.

Dari uraian diatas dapat kita ambil pelajaran bahwa penyebab langsung dari kegagalan peralatan dapat terjadi dari kurangnya perawatan dan pemeliharaan sehingga menimbulkan dampak berkelanjutan seperti pemantauan peralatan yang seharusnya bisa dilakukan otomatis namun harus dilakukan secara manual oleh manusia yang memiliki potensi kesalahan dalam estimasi. Selain itu kegagalan peralatan juga bisa timbul dari kesalahan instalasi peralatan yang seharusnya telah terdeteksi dalam prosedur pengujian pabrik. Hal ini menunjukkan bahwa instalasi peralatan harus dipantau dengan lebih baik untuk mencegah kegagalan pada peralatan tersebut.

## Prosedur

Pada 13 Juni 2013, terjadi kebakaran serta ledakan di Pabrik William Olefins, Inc. di Geismar, Louisiana, yang mengakibatkan dua pekerja menderita luka parah dan dilaporkan 167 cedera. Penyelidikan oleh Chemical Safety Board (CSB) mengungkap beberapa kelemahan dalam sistem manajemen keselamatan proses di pabrik tersebut. Salah satu penyebab langsung dari insiden tersebut adalah kegagalan dalam mematuhi atau melaksanakan prosedur operasional yang benar, seperti PSSR (Prestartup Safety Review), sebelum melaksanakan kegiatan operasional pada hari kejadian.

Pada 29 November 2015, seorang operator di Unit Alkilasi Kellogg Delaware City Refining Company (DCRC) menderita luka bakar tingkat dua saat melakukan kegiatan de-inventarisasi di vessel sebagai bagian dari persiapan pelepasan gulungan pipa dari proses terkait. Kejadian ini menyusul dua insiden serupa di fasilitas yang sama pada tanggal 21 Agustus dan 28 Agustus 2015. Akar penyebab insiden ini terkait dengan kurangnya prosedur standar dan perencanaan awal yang memadai untuk tugas operasional non-rutin terkait kegiatan pemeliharaan.

Pada 21 Oktober 2016, terjadi kebocoran bahan kimia di Pabrik Pengolahan MGPI di Atchison, Kansas, menyebabkan evakuasi ribuan penduduk dan minimal 120 orang mencari perawatan medis. Kebocoran tersebut disebabkan oleh kesalahan koneksi truk pengiriman bahan kimia ke tangki yang berisi bahan tidak sesuai di dalam pabrik. Interaksi dua bahan kimia yang tidak cocok, seperti asam sulfat dan natrium hipoklorit, dapat membentuk gas klor. Pabrik tidak dilengkapi dengan sistem otomatis untuk menghentikan aliran bahan kimia, sementara operator tidak mengikuti prosedur yang benar dalam memastikan koneksi truk ke jalur yang tepat.

Selama proses pengeboran di sumur gas di Pittsburg County, Oklahoma, terjadi sebuah kejadian ledakan besar yang menyebabkan lima pekerja mengalami cedera fatal. Kejadian ini terjadi karena pengebor shift malam mematikan semua alarm, sementara pengebor shift siang hanya menghidupkan sistem alarm sebentar sebelum mematikannya kembali. Sistem alarm pun tidak berfungsi selama 14 jam, kemungkinan disebabkan oleh gangguan teknis. Metode kritis untuk mendeteksi kebocoran gas atau cairan ke rig, yaitu flow check, tidak dilakukan sesuai prosedur yang seharusnya dilakukan sebanyak 27 kali, namun dalam kenyataannya hanya dilakukan 2 kali.

Penyebab utama dari contoh kecelakaan diatas adalah pelanggaran prosedur keselamatan dan kurangnya kepatuhan terhadap prosedur operasional yang benar. Beberapa insiden disebabkan oleh kurangnya prosedur standar dan perencanaan yang memadai untuk tugas operasional non-rutin. Insiden-insiden tersebut menunjukkan pentingnya kepatuhan terhadap prosedur keselamatan, perencanaan yang matang, pemeliharaan sistem, dan pemantauan yang ketat untuk mencegah kecelakaan kerja di lingkungan industri.

## Kegagalan Material

Sebuah ledakan dan kebakaran di kilang Tesoro di Anacortes, Washington, menewaskan tujuh karyawan karena Heat exchanger yang gagal. Gagalnya penukar panas disebabkan oleh "serangan hidrogen suhu tinggi



(HTHA)". Kurva Nelson baja karbon tidak dapat diandalkan untuk memprediksi HTHA. Inspeksi HTHA tidak selalu akurat karena kerusakan dapat bersifat mikroskopis. Mencegah HTHA lebih baik dilakukan dengan menggunakan bahan konstruksi yang lebih tahan terhadap serangan hidrogen suhu tinggi.

Kilang Silver Eagle di Woods Cross, Utah, mengalami ledakan besar dan kebakaran karena pecahnya pipa akibat korosi parah. Ledakan tersebut merusak lebih dari 100 rumah, termasuk dua rumah yang rusak parah dan satu terangkat dari fondasinya. Dewan Keamanan Kimia AS (CSB) merilis laporan yang menyimpulkan insiden tersebut.

Sebuah insiden besar terjadi di Loy-Lange Box Company di St. Louis, MO, melibatkan kegagalan pada bejana bertekanan yang disebut penerima kondensat uap (SCR). Akibat ledakan SCR, terjadi kerusakan besar pada fasilitas dan sekitarnya, dengan korban jiwa dan luka. Penyebab utama adalah korosi pada SCR dan kekurangan praktik keselamatan serta perbaikan yang tidak memadai.

Ledakan dan kebakaran fatal di fasilitas produksi KMCO di Crosby disebabkan oleh kebocoran isobutilena yang terbakar dari pipa. CSB menetapkan bahwa penyebab pelepasan isobutilena adalah patahnya beban berlebih yang rapuh (*Brittle Overload Fracture*) pada saringan y besi tuang yang didorong oleh tekanan internal. Saringan y dipasang di bagian pipa isobutilena yang tidak terlindung dari kondisi tekanan tinggi yang terjadi di dalam peralatan ini, kemungkinan besar dari pemuai termal cairan.

Dari rangkaian insiden yang disebutkan, terdapat pola kegagalan material yang mengakibatkan kecelakaan fatal di kilang-kilang dan fasilitas produksi. Kegagalan material ini mencakup berbagai faktor, seperti Serangan Hidrogen Suhu Tinggi (HTHA), korosi parah sehingga menyebabkan pipa pecah, dan patahnya peralatan karena beban berlebih (*Brittle Overload Fracture*).

## KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa kegagalan peralatan, ketidakpatuhan prosedur, dan kegagalan material telah diidentifikasi sebagai penyebab utama kecelakaan proses dalam industri kimia. Kegagalan peralatan, dengan presentase mencapai 34%, menjadi fokus utama untuk peningkatan pemeliharaan dan pengawasan. Penegakan prosedur keselamatan yang ketat dan pemahaman terhadap faktor-faktor penyebab kegagalan material juga sangat penting untuk mencegah insiden yang membahayakan keselamatan kerja.

Dengan pemahaman yang mendalam tentang penyebab kecelakaan proses, industri kimia diharapkan dapat mengambil langkah-langkah pencegahan yang lebih efektif dan proaktif untuk meningkatkan keselamatan kerja dan mencegah insiden di masa depan. Studi ini memberikan wawasan penting bagi praktisi, pengambil kebijakan, dan peneliti untuk meningkatkan keselamatan dan keamanan dalam operasi industri kimia secara keseluruhan

## SARAN

Berdasarkan penelitian ini, berikut adalah beberapa saran untuk industri kimia terkait dengan keselamatan dan keamanan operasional. Pertama, meningkatkan pemeliharaan dan pengawasan terhadap peralatan yaitu Industri kimia perlu memastikan bahwa pemeliharaan rutin dan pengawasan terhadap peralatan dilakukan secara teratur untuk mengurangi risiko kecelakaan akibat kegagalan peralatan.

Kedua, Memperketat penegakan prosedur keselamatan. Penting bagi industri kimia untuk memastikan bahwa prosedur keselamatan yang ketat diterapkan dan dipatuhi oleh seluruh personel agar mencegah kecelakaan yang disebabkan oleh ketidakpatuhan terhadap prosedur.

Ketiga, Memahami faktor penyebab kegagalan material. Industri kimia perlu memperhatikan faktor-faktor yang dapat menyebabkan kegagalan material dalam proses operasional mereka dan mengambil langkah-langkah pencegahan yang sesuai.

Keempat, Mengidentifikasi dan mengatasi kekurangan dalam desain peralatan. Penting untuk melakukan evaluasi menyeluruh terhadap desain peralatan untuk mengidentifikasi dan mengatasi kekurangan yang dapat menyebabkan kecelakaan.

Kelima, Melakukan pelatihan dan pendidikan keselamatan. Industri kimia harus memberikan pelatihan yang memadai kepada seluruh personel tentang praktik keselamatan kerja dan pentingnya memahami faktor-faktor penyebab kecelakaan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. U.S CHEMICAL SAFETY BOARD. 2024 Completed Investigation.[Online] Washington D.C.: CSB [Accessed: 24 February 2024]
2. Amyotte, P. R., MacDonald, D. K. and Khan, F. I. 2011 An analysis of CSB investigation reports concerning the hierarchy of controls. *Proc. Safety Prog.* 30: 261–265. doi:10.1002/prs.10461
3. Chang J.I., Lin C.C., 2005 ‘ A Study of Storage tank accidents, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 19 (2006) 51-59
4. Jalani J.A., Kidam K., Shahlan S.S., Kamarden H., Hassan O. 2015, Hashim H., ‘An Analysis of Major

- Accident in the US Chemical Safety Board (CSB) Database. *Jurnal Teknologi* 75:6 (2015) 53-60.
5. Wang J., Fu G., Yan M. 2020. 'Investigation and Analysis of a Hazardous Chemical Accident in the Process Industry: Triggers, Roots, and Lessons Learned. *Journal Process* (2020), 8, 477
  6. Kristiana L.R., Tanuwijaya A.S. 2018 Identifikasi Penyebab Kecelakaan Kerja dan Potensi Bahaya dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis dan Fault Tree Analysis. *Jurnal Telematika*.
  7. Haqi D.N. 2018 Analisis Potensi Bahaya dan Risiko Terjadinya Kebakaran dan Ledakan di Tangki Penyimpanan LPG Pertamina Perak Surabaya. *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, Vol. 7, No .3 September-Desember 2018 : 321-328
  8. Kuswardana. (2017). Analisis Penyebab Kecelakaan Kerja Menggunakan Metode RCA ( Fishbone Diagram Method And 5 – Why Analysis ) di PT . PAL Indonesia. *Conference on Safety Engineering and Its Application*, 141–146
  9. Bastuti, S. dan Estiningsih, T. (2021). Analisis Bahaya K3 Pada Line Produksi Dengan Metode Hazard Operability Study (Hazops) Dan Fishbone Diagram Di Pt. Silinder Konverter Internasional. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 9(2), 148–157.
  10. Ririh, K. R. (2021). Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Menggunakan Metode HIRARC dan Diagram Fishbone pada Lantai Produksi PT DRA Component Persada. *Go-Integratif: Jurnal Teknik Sistem Dan Industri*, 2(2), 135–152.
  11. Uno, K. (2021). Analysis of Safety Culture Weaknesses in Chemical Safety Board Investigation Reports. *MATEC Web of Conferences*, 333, 10001.
  12. Amyotte, P., Irvine, Y., & Khan, F. (2018). Chemical safety board investigation reports and the hierarchy of controls: Round 2. *Process Safety Progress*, 37(4), 459–466
  13. Wang, Y., Henriksen, T., Deo, M., & Mentzer, R. A. (2021). Factors contributing to US chemical plant process safety incidents from 2010 to 2020. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 71.
  14. Talpade, A. D., Ghanekar, P., Ezenwa, S., Joshi, R., Kravitz, S., Tunga, A., ... Mentzer, R. (2021). Promoting a Safe Laboratory Environment Using the Reactive Hazard Evaluation and Analysis Compilation Tool. *ACS Chemical Health and Safety*, 28(2), 134–143.
  15. Campari, A., Nakhil Akel, A. J., Ustolin, F., Alvaro, A., Ledda, A., Agnello, P., ... Paltrinieri, N. (2023). Lessons learned from HIAD 2.0: Inspection and maintenance to avoid hydrogen-induced material failures. *Computers and Chemical Engineering*, 173
  16. Liu, S., Lei, F., Zhao, D., & Liu, Q. (2023, June 1). Abnormal Situation Management in Chemical Processes: Recent Research Progress and Future Prospects. *Processes*. MDPI