

REKOMENDASI STANDAR SISTEM KESELAMATAN UNTUK STEAM BOILER DI PABRIK TAHU

Rois Fatoni^{1*}

¹ Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. Ahmad Yani Tromol Pos 1, Pabelan Surakarta 57102

*email: rois.fatoni@ums.ac.id

Abstrak

Tingginya frekuensi kecelakaan steam boiler di pabrik tahu disamping mengakibatkan banyaknya korban tewas juga bisa menjadi preseden buruk bagi upaya pemasyarakatan dan disemansasi penggunaan steam boiler ke industri tahu. Padahal penggunaan steam untuk pemasakan kedelai pada proses pembuatan tahu bisa menghemat biaya bahan bakar hingga 60%. Untuk itu perlu diadakan penelitian analisis kecelakaan pada beberapa kasus agar peristiwa serupa tidak terulang kembali. Pada penelitian ini telah dilakukan analisis kecelakaan pada kecelakaan mutakhir di pabrik tahu sepanjang tahun 2003 hingga 2005; yaitu kecelakaan pabrik tahu di Denpasar (Juni 2004), Taman (Januari 2005), Wonosegoro (Juni 2005), dan Ponorogo (Februari 2007). Analisis dilakukan dengan pengumpulan laporan kronologi kecelakaan, pengukuran magnitude kecelakaan, analisis kegagalan steam boiler dan penelusuran root causes dan contributing causes setiap kecelakaan yang menjadi obyek penelitian. Dari hasil analisis telah disusun rekomendasi mengenai sistem dan piranti keamanan standar pada steam boiler di pabrik tahu, dan sistem keamanan menyeluruh pabrik tahu yang menggunakan steam boiler. Rekomendasi ini diharapkan bisa diteruskan kepada semua pihak yang terkait dengan operasi dan pembinaan industri tahu sehingga pencegahan kecelakaan bisa dilakukan oleh banyak pihak secara terstruktur.

Kata kunci: *system keselamatan, piranti keselamatan, boiler, pabrik tahu.*

1. LATAR BELAKANG

Penggunaan steam sebagai pemanas pada proses pemasakan kedelai di industri tahu telah terbukti mampu menekan biaya bahan bakar hingga 60%. Tidak heran, dari hari ke hari semakin banyak pengusaha tahu yang beralih menggunakan steam sebagai media pemanas pada pemasakan kedelai di pabrik mereka. Akan tetapi banyaknya peristiwa meledaknya steam boiler pada pabrik tahu yang tidak jarang hingga menelan korban jiwa (

Tabel 0) mengindikasikan dengan kuat bahwa standar keselamatan (*safety standard*) maupun piranti keselamatan (*safety measure*) steam boiler di kebanyakan pabrik tahu masih sangat rendah.

Tabel 0. Daftar Ledakan Steam Boiler pada beberapa pabrik di Indonesia*

Lokasi	Waktu Kejadian	Korban Tewas	Keterangan
Wonosegoro, Boyolali	Mei 2005	3 orang	Pabrik Tahu
Taman, Sidoarjo	Januari 2005	2 orang	Pabrik Tahu
Denpasar, Bali	Juni 2004	1 orang	Pabrik Tahu
Seyegan, Kulonprogo	2003	Tidak ada	Pabrik Tahu
Rungkut, Surabaya	Juli 2002	1 orang	Unilever
Kaliwates, Jember	Mei 2001	4 orang	Pabrik kerupuk
Gamping, Sleman	1986	1 orang	Pabrik Tahu

**Dari berbagai sumber media massa cetak (Koran Suara Merdeka, Jawa Pos, Radar Bali, Kedaulatan Rakyat)*

Dari Tabel 1 tersebut juga bisa dilihat bahwa tahun sejak 2001 selalu terjadi ledakan steam boiler, dan ledakan di pabrik tahu adalah yang paling sering terjadi dan paling banyak menelan korban jiwa. Bahkan sebenarnya ledakan steam boiler di pabrik kerupuk Kaliwates, Jember pada 2001 yang menelan 4 korban jiwa, steam boiler yang digunakan juga memiliki kesamaan dengan steam boiler yang biasa dipakai para pengusaha tahu.

Data yang ditampilkan di atas adalah peristiwa kecelakaan steam boiler yang terekspose oleh media massa. Menurut penuturan salah seorang responden kepada penulis pada penelitian pendahuluan di Wonorejo, Boyolali, sebenarnya kasus meledaknya steam boiler di pabrik tahu sangat sering terjadi, hanya saja tidak sampai menimbulkan korban jiwa. Pada tahun 2005 saja, kejadian serupa sebenarnya juga terjadi di pabrik tahu yang berlokasi di Sumber, Surakarta dan Karanganyar. Sedangkan ledakan steam boiler di Wonorejo terekspose ke media massa karena banyaknya korban jiwa yang ada (3 orang meninggal dunia), dan salah satunya adalah seorang tokoh masyarakat, yaitu ketua PMI Jawa Tengah yang kebetulan sedang berada di lokasi kejadian.

Upaya - upaya pencegahan terhadap terulangnya kejadian serupa oleh pihak-pihak terkait, terutama dalam hal ini adalah instansi pembina industri tahu yakni dinas perindustrian Pemda setempat, telah banyak dilakukan. Upaya-upaya tersebut antara lain adalah dengan pendataan dan pemeriksaan berkala steam boiler yang digunakan di pabrik-pabrik tahu. Akan tetapi tingginya frekuensi ledakan seperti terlihat pada Tabel 1 tersebut menunjukkan bahwa perlu adanya usaha-usaha yang lebih keras dari berbagai pihak untuk mencegah terulangnya musibah serupa di masa-masa yang akan datang. Hal ini perlu mendapat perhatian serius, karena disamping untuk mencegah hilangnya nyawa manusia dengan sia-sia, kecelakaan yang sering terjadi ini bisa menjadi preseden buruk bagi upaya diseminasi dan pemasyarakatan ipteks dalam rangka pembinaan dan pengembangan industri kecil dan menengah yang selama ini menjadi prioritas pemerintah.

Pada penelitian ini penyusunan rekomendasi standar sistem keselamatan steam boiler di pabrik tahu akan didasarkan pada analisis kecelakaan pada beberapa kecelakaan steam boiler pada pabrik tahu. Analisis kecelakaan akan dilakukan dengan metode analisis yang tepat untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan pokok: bagaimana kecelakaan terjadi, apa yang menyebabkan kecelakaan terjadi, dan mengapa kecelakaan tersebut tidak bisa dihindari.

Obyek penelitian dipilih di empat tempat, yaitu pabrik tahu di Denpasar, pabrik tahu di Wonorejo, Boyolali, pabrik tahu di Sumber, Surakarta dan pabrik tahu di Taman, Sidoarjo. Diharapkan analisis kecelakaan pada 4 tempat tersebut akan memberikan hasil yang cukup untuk dijadikan rekomendasi bagi pabrik tahu yang lain.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Semua peralatan (*tools*) yang digunakan di dalam setiap usaha, termasuk di dalamnya adalah *steam boiler* di pabrik tahu, bertujuan untuk memudahkan usaha tersebut. Kemudahan tersebut bisa berupa hal-hal yang bersifat teknis, kenyamanan dalam bekerja, dan - yang paling penting - ekonomis. Kenyamanan dalam bekerja sebenarnya mencakup juga masalah *safety*, *operability* dan *control* dari *tools* tersebut. Hanya saja, dengan alasan ekonomis, tiga aspek tersebut sering kali diabaikan oleh pemilik perusahaan (*employer*). Hal ini disebabkan, pengadaan piranti *safety*, *operability* dan *control* pada suatu *tools* atau *system tools* membutuhkan biaya yang tidak sedikit, bahkan kadang-kadang biaya tersebut bisa sama atau lebih besar dari pada biaya peralatan itu sendiri.

Ketiadaan *safety system* maupun *safety measure* yang memadai inilah yang menjadi sebab utama kecelakaan di tempat kerja. Atau, bisa jadi sebenarnya *safety system* dan *safety measure* telah ada dan memadai, namun tidak berjalan sebagaimana mestinya. Dalam hal ini, perawatan dan pengujian berkala *safety measure* di tempat kerja berperan besar dalam pencegahan kecelakaan di tempat kerja. Penyebab yang lain adalah kesalahan manusia (*human error*). Bisa jadi sebenarnya standar maupun piranti keselamatan di tempat kerja telah ada dan memadai, namun karena kelalaian atau kurangnya kefahaman operator terhadap sistem yang ia hadapi berakibat pada kecelakaan kerja.

Analisis kecelakaan (*accident analysis*) pada suatu kecelakaan di tempat kerja menjawab pertanyaan-pertanyaan mendasar: bagaimana kecelakaan itu terjadi, apa yang menyebabkan kecelakaan itu terjadi dan mengapa kecelakaan tersebut tidak bisa dihindari. Tidak jarang analisis kecelakaan pada suatu kecelakaan di tempat kerja tidak menemukan satupun kesalahan, baik pada sistem dan piranti keselamatan yang ada (sistem keselamatan sudah memadai, piranti keselamatan berfungsi normal), maupun pada operatornya (operator tidak lalai dalam menjalankan alat). Pada kasus seperti ini akhirnya didapati bahwa sistem keselamatan yang selama ini umum dipakai dan dianggap telah memadai, ternyata tidak bisa mencegah terjadinya kecelakaan. Sistem keselamatan

baru yang lebih andal biasanya kemudian direkomendasikan untuk mencegah kecelakaan serupa terulang kembali di masa yang akan datang. (King, 1990)

Secara umum, metode analisis kecelakaan (*Accident Analysis Methods*) terbagi ke dalam 3 pendekatan analisis: Pendekatan Tradisional (*Traditional Approach*), Pendekatan Keamanan System (*System Safety Approach*) dan Pendekatan Kerangka Kecelakaan (*Accident Framework Approach*).

Analisis kecelakaan dengan pendekatan tradisional dilakukan dengan mengidentifikasi kronologi kecelakaan (*accident sequence*) dan pencarian tindakan - tindakan atau keadaan - keadaan yang tidak aman yang mengakibatkan terjadinya kecelakaan tersebut. Termasuk dalam pendekatan ini adalah metode - metode: Efek domino (*Sequence of Events*), *Known Precedent*, *Hartford EMP*, *Multilinear Events Sequencing*, *Technique of Operations Review (TOR)*, dan *Change Analysis*. Dari keenam metode tradisional tersebut, metode efek domino dan metode *change analysis* adalah dua metode yang paling banyak digunakan. Metode efek domino sangat populer karena kesederhanaannya. Sedangkan metode *change analysis* digunakan secara luas ketika perubahan (*change*) di dalam sistem dicurigai sebagai penyebab utama kecelakaan.

Pada *System Safety Approach*, kecelakaan dilihat sebagai suatu kegagalan suatu sistem yang tersusun oleh *personnel* (manusia), *equipment* (peralatan) dan *environment* (lingkungan). Termasuk dalam pendekatan ini adalah metode - metode: *fault tree analysis*, *failure mode effect analysis (FMEA)*, dan *preliminary hazard analysis (PHA)*. Metode - metode ini sebenarnya digunakan dalam *risk analysis*, yaitu analisis potensi bahaya pada tahapan perancangan pabrik atau pada pabrik yang sudah berjalan. Namun demikian metode metode ini juga lazim diterapkan pada *accident analysis*.

Elisabeth Pate-Cornell secara independen telah mengembangkan sebuah framework yang digunakan untuk menganalisa sebuah kecelakaan sebagai hubungan sebab akibat dari event - event dasar, keputusan - keputusan (*decisions*) dan tindakan - tindakan (*actions*), dan faktor - faktor organisasi. Ia telah berhasil menggunakan pendekatan ini untuk menganalisa Piper Alpha Accident. (M.E. Pate-Cornell, 1993).

Metode - metode analisis di atas adalah sebagian dari sekian banyak metode metode analisis yang tersedia. Untuk setiap analisis kecelakaan tertentu harus dipilih metode analisis yang tepat disesuaikan dengan tujuan analisis, skala efek kecelakaan yang dihasilkan serta kompleksitas kecelakaan yang terjadi.

Kecelakaan *steam boiler (steam boiler accident)* yang paling sering terjadi adalah berupa ledakan (*explosion*) dan kebocoran *steam*. Ledakan *boiler* terjadi karena adanya *overpressure*, yaitu kenaikan tekanan di dalam *boiler* hingga melebihi kekuatan dinding *boiler*. Sedangkan kebocoran *steam* terjadi karena adanya keretakan pipa (*tube rupture*). Semua kecelakaan tersebut bermula dari kegagalan operasi *steam boiler (steam boiler failure)*.

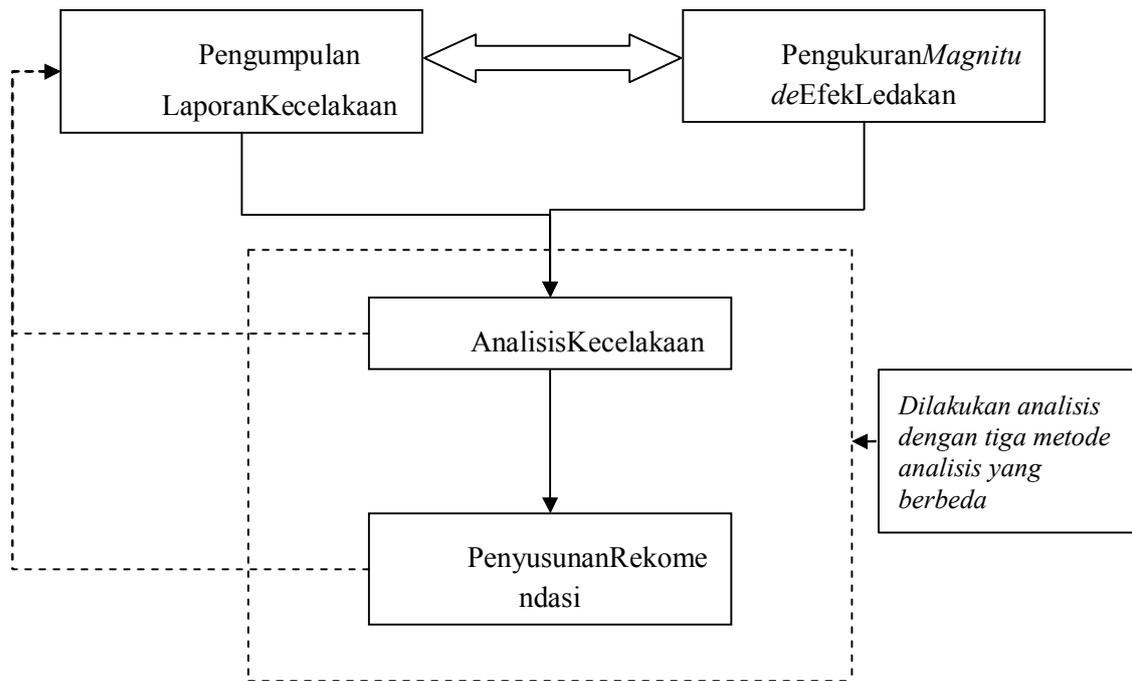
Seperti kebanyakan analisis kecelakaan, analisis kecelakaan *steam boiler* didasarkan pada data - data yang diperoleh di lokasi kecelakaan. Data utama adalah laporan kecelakaan yang dibuat oleh perusahaan. Pada beberapa kasus, laporan ini harus ditambah dengan pemeriksaan lebih lanjut, terutama jika akan digunakan metode analisis yang lebih komprehensif atau jika ternyata laporan kecelakaan yang disusun oleh perusahaan kurang memenuhi standar. (Acosta & Siu, 1990)

Analisis kecelakaan *steam boiler* biasanya dilaksanakan dengan metode - metode analisis kecelakaan yang lazim dipakai. Pemilihan metode analisis didasarkan pada kompleksitas sistem dan magnitude efek kecelakaan yang dihasilkan. Sejauh penelusuran pustaka yang dilakukan penulis, belum ada satupun analisis kecelakaan dilakukan pada peristiwa meledaknya *steam boiler* di pabrik tahu. Adapun penelitian penelitian mutakhir terhadap kecelakaan *steam boiler* difokuskan pada analisis dinamik *steam boiler*. Analisis dinamik mensimulasikan *event sequence* dari suatu *steam boiler* sebelum kecelakaan terjadi. Metode ini sangat berguna di dalam proses *risk analysis* terhadap suatu *steam boiler* yang ada dengan bantuan simulasi komputer. (Delvosalle, et. Al., 2005)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian telah dilaksanakan dengan tahapan tahapan seperti terlihat pada Gambar 1. Tahapan pengumpulan laporan kecelakaan dan pengukuran magnitude ledakan akan dilaksanakan dengan mewawancarai saksi saksi kecelakaan yang masih ada dan memeriksa bekas bekas ledakan yang

masih mungkin ditelusuri. Metode perhitungan efek suara, lemparan, getaran dan overpressure yang banyak dijumpai di literatur. Salah satu yang paling populer adalah metode scaled distance. (Crowl & Louvar, 1990)



Gambar 1 Diagram Blok Metodologi Penelitian

Analisis kecelakaan secara garis besar akan dibagi dalam dua frame, yaitu analisis sistem keamanan dan analisis kegagalan steam boiler. Analisis sistem keamanan akan memeriksa bagaimana sistem keamanan dirancang dan bekerja pada waktu kecelakaan terjadi. Sedangkan analisis kegagalan steam boiler akan memeriksa faktor utama penyebab kegagalan. Desain, fabrikasi, prosedur operasi standar dan treatment air umpan boiler akan diteliti satu persatu pada tahap ini, untuk kemudian ditentukan deviasi yang ada dibandingkan dengan lazimnya steam boiler. Dari dua analisis ini kemudian disusun *root causes, contributing causes* dan *logic diagram* kecelakaan yang terjadi.

Pada tahap analisis dan penyusunan rekomendasi, akan dilakukan analisis dengan dua pendekatan yang berbeda, yaitu dengan pendekatan tradisional dan pendekatan keamanan sistem. Pengguna dua/tiga metode yang berbeda ini disamping bertujuan untuk menunjukkan perbedaan rekomendasi yang dihasilkan dari analisis yang berbeda, juga untuk memperoleh rekomendasi yang selengkap-lengkapnyasehinggasegalasesikokecelakaanserupabisaterdeteksisemuanya.

Langkah-langkah tersebut diterapkan pada analisis kecelakaan boiler di Wonorego (Mei 2005), Ponorogo (Januari 2007), Taman (Januari 2005), dan Denpasar (Juni 2004).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Rangkuman hasil analisis kecelakaan di lokasi tersaji pada Tabel 2. Secara umum, kasus kecelakaan meledaknya boiler terjadi karena *overpressure* akibat adanya *blocked steam* tidak terdeteksi oleh operator. Ketiadaan pengetahuan dan ketrampilan yang memadai mengenai operasi boiler dan skenario kecelakaan mengakibatkan kerugian yang lebih besar, baik materi maupun nyawa pekerja.

Dalam kasus kecelakaan Wonorego, meskipun high pressure alarm sudah terpasang, akan tetapi suaranya kalah oleh bisingnya mesin diesel penggiling kedelai. Besarnya pipa distribusi steam jauh lebih besar dari kebutuhan justru berakibat fatal; sebab salah satu korban meninggal

adalah karena kejatuhan pipa distribusi *steam* yang roboh karena terkena *missile* boiler yang meledak; bukan karena tertimpa oleh *missile* boilernya sendiri.

Sementara dalam kasus kecelakaan Ponorogo, *initial design*-nya sudah salah kaprah. Kecelakaan boiler sudah diantisipasi akan tetapi cara antisipasinya dengan mempertebal dinding boiler dan memendam boiler di bawah tanah dengan tujuan agar kuat dan tidak meledak. Sayangnya, boiler tidak dilengkapi dengan *high pressure alarm*; sehingga ketika *steam* belum juga keluar justru apinya yang diperbesar. Ketika meledak, *overpressure*-nya jauh lebih tinggi dibanding jika boilernya terbuat dari baja yang lebih tipis. Akibatnya, magnitude ledakan menjadi sangat besar sehingga dampak ledakan sangat besar.

Tabel 2. Rangkuman data kecelakaan boiler pabrik tahu

<i>Safety issues</i>	Lokasi Kecelakaan Boiler			
	Wonorego	Ponorogo	Taman	Denpasar
<i>Boiler Design</i>	Bahan: Drum olibekas; Tidakada mechanical design	Bahan: stainless steel tebal; tidakada mechanical design	Proper design; dibelidari authorized manufacturer	Bahan: Drum olibekas; tidakada mechanical design
<i>Plant lay out Design</i>	Suara high pressure alarm kalah oleh suara mesin diesel penggilang kedelai	Boiler dipendam dalam tanah agar "tidak meledak"	Boiler berada di ruangan bersebelahan dengan rumah penduduk	Boiler beradasangat dekat dengan tempat memasak; luas area pabrik terlalu sempit
<i>Steam distribution</i>	Pipa terlalu besar; digantung di atas	OK	OK	OK
<i>Operability & Control System</i>	Manual	Manual	Semi otomatis	Manual
<i>Relief Valve</i>	Tidakada	Ada	Ada	Tidakada
<i>High Pressure Alarm</i>	Ada	Tidakada	Ada	Tidakada
<i>Proper Worker Training</i>	Tidakada	Tidakada	Tidakstandar	Tidakada
<i>Maintenance</i>	Tidakstandar	Tidakada	Ada	Tidakada
<i>Emergency response</i>	Tidakada	Tidakada	Tidakada	Tidakada
<i>Personal Protective Equipment</i>	Tidakada	Tidakada	Tidakada	Tidakada

Berbeda halnya dengan kasus kecelakaan Taman. Boiler sudah dibuat oleh *authorized manufacturer* dengan control semi otomatis. *Relief valve*-nya bahkan terpasang dua buah. *High pressure alarm* juga sudah terpasang. Akan tetapi *maintenance* dan inspeksi thd high pressure alarm-nya terabaikan. Sebenarnya, sebelum terjadi ledakan sudah ada tanda tandanya; boiler bergetar dengan hebat. Akan tetapi ketiadaan pengetahuan terhadap accident scenario dan ketiadaan emergency response dari operator mengakibatkan penanganan terhadap gejala ledakan tidak dilakukan dengan tepat. Operator panik dan kemudian meninggalkan boiler begitu saja tanpa mematikan tungku pemanas boiler-nya. Lay out pabrik yang tidak direncanakan dengan mempertimbangkan skenario kecelakaan mengakibatkan korban jiwa. Meskipun semua karyawan sudah dievakuasi menjauh dari boiler sebelum boiler meledak, tetapi *missile* boiler terlempar ke dinding perumahan penduduk dan penghuninya meninggal karena tertimpa atap rumah yang roboh.

Adapun kasus kecelakaan Denpasar adalah contoh kasus komplit dari semua daftar *safety issue*; mulai dari design boiler, design lay out, ketiadaan safety measure, ketiadaan *proper training*, *emergency response* dan *personal protective equipment*.

Dari analisis terhadap empat kecelakaan tersebut, penulis merumuskan rekomendasi sebagai berikut:

1. Pembuatan standar keselamatan boiler untuk pabrik tahu perlu disusun secara fleksibel; dengan mempertimbangkan pula boiler yang dibuat dari drum oli bekas. Standar itu ada meliputi standar bahan dan standar safety measure: relief valve dan high pressure alarm.
2. Perlu diadakan proper training mengenai safety awareness dan emergency response mengenai kecelakaan boiler kepada para operator boiler. Operator boiler bersertifikat training harus diwajibkan bagi ijin perusahaan tahu yang menggunakan boiler.
3. Plant lay out pabrik tahu harus mempertimbangkan skenario kecelakaan.
4. Emergency responses harus ada dan difahami dengan baik oleh operator dan semua karyawan pabrik tahu.
5. High pressure alarm harus cukup keras terdengar; tidak boleh kalah oleh bisingsnya suara mesin penggiling kedelai. Sangat disarankan agar mesin penggiling kedelai menggunakan motor listrik yang tidak bising, seperti di pabrik tahu Taman.
6. Jadwal shift operator harus dibuat dan dilaksanakan dengan tegas; masing masing maksimal dua jam per shift. Ini untuk menghindari kelalaian operator.
7. Inspeksi berkala harus dilaksanakan dengan disiplin, baik oleh pemilik pabrik maupun dinas perindustrian atau pihak yang berwenang memberikan ijin perusahaan.
8. Seluruh karyawan dan tamu pabrik harus menggunakan personal protective equipment yang standar (helm dan sepatu).

5. PENUTUP

Rekomendasi di atas didasarkan pada analisis kecelakaan di empat tempat: Wonorego, Ponorogo, Taman, dan Denpasar. Meskipun karakter dan tipe kecelakaan di empat tempat tersebut sebenarnya cukup merrepresentasikan boiler di pabrik tahu di tanah air, rekomendasi tersebut masih perlu ditambahi dengan analisis kecelakaan yang lain. Setelah disempurnakan dengan hasil analisis kecelakaan yang lain, rekomendasi tersebut harus disosialisasikan ke pihak pihak terkait dengan cara dan metode yang tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- C. Acosta and N. Siu (1993), Dynamic event trees in accident sequence analysis: application to steam generator tube rupture, *Reliability Engineering and System Safety*, Vol 41, pp 135-154
- Coulson, JM, Richardson, JF and Sinnott, RK (1983), "*Chemical Engineering*" Vol. 6, Pergamon Press, Oxford.
- Crowl DA and Louvar JF (1990), *Chemical Process Safety – Fundamentals with Applications*, Prentice Hall.
- Delvosalle C, et. al. (2005), Identification of reference accident scenario in SEVESO establishment, *Reliability Engineering and System Safety*, Vol 90, pp 238-246.
- King RW and Magid J (1990), *Industrial hazard and Safety Handbook*, Butterworth & Co., London.
- M. E. Pate-Cornell (1993), Learning from the Piper Alpha Accident : A Postmortem Analysis of Technical and Organisation Factors, *Risk Analysis*, Vol. 13, No. 2, pp 215-232.
- M. Elisabeth Pate-Cornell (1984), Fault Tree vs. Event Trees in Reliability Analysis, *Risk Analysis*, Vol 4, No 3, pp 177-186.
- M + M Protection Consultants (1987), "*A 30 year review of 100 of the largest property damage Losses in the Hydrocarbon – Chemical Industries*", Chicago.
- N. Siu (1994), Risk Assessment for dynamic systems : An overview, *Reliability Engineering and System Safety*, Vol 43, pp. 43-73.
- Salzano E and Cozzani V (2005), The analysis of domino accidents triggered by VCEs, *Reliability Engineering and System Safety*, Vol 90, pp. 271 – 284.
- Smith, R (2005), *Chemical Process Design and Integration*, John Wiley & Sons Ltd, West Sussex,.
- Ted S. Ferry (1988), *Modern Accident Investigation and Analysis*. 2nd ed. John Wiley & Sons Inc.