



**BADAN KEJURUAN TEKNIK INDUSTRI
PERSATUAN INSINYUR INDONESIA**

SERTIFIKAT

BKTI PII menyampaikan penghargaan dan ucapan terimakasih atas partisipasinya kepada

Sihar Tigor Benjamin Tambunan

Sebagai PEMAKALAH

**KONVENSI BKTI-PII 2015, KONFERENSI TEKNIK INDUSTRI
dan MATTHIAS AROEF AWARD**

**The First Annual Conference of
Indonesian Industrial Engineering 2015**

Gedung Kementerian Perindustrian Republik Indonesia

Jakarta, 18 November 2015

Ir. Indracahya Kusumasubrata, IPU

Ketua BKTI PII



BADAN KEJURUAN TEKNIK INDUSTRI PERSATUAN INSINYUR INDONESIA

Jl. Bandung No.1, Menteng – Jakarta Pusat 10310 Telp : 021-31904251-52, 31923259
Fax : 021 3190 4657 E-mail : sekretariat@bkti-pii.or.id, Website : www.bkti-pii.or.id

Jakarta, 9 November 2015

No. : 167-31/TIIEAC-MAA/BKTI-PII/X/2015
Hal : Konfirmasi Penentuan Presenter Papers Fair
Matthias Aroef Award

Kepada yth :
Bapak Sihar Tigor Benjamin Tambunan
Nomor Registrasi 31
Di tempat

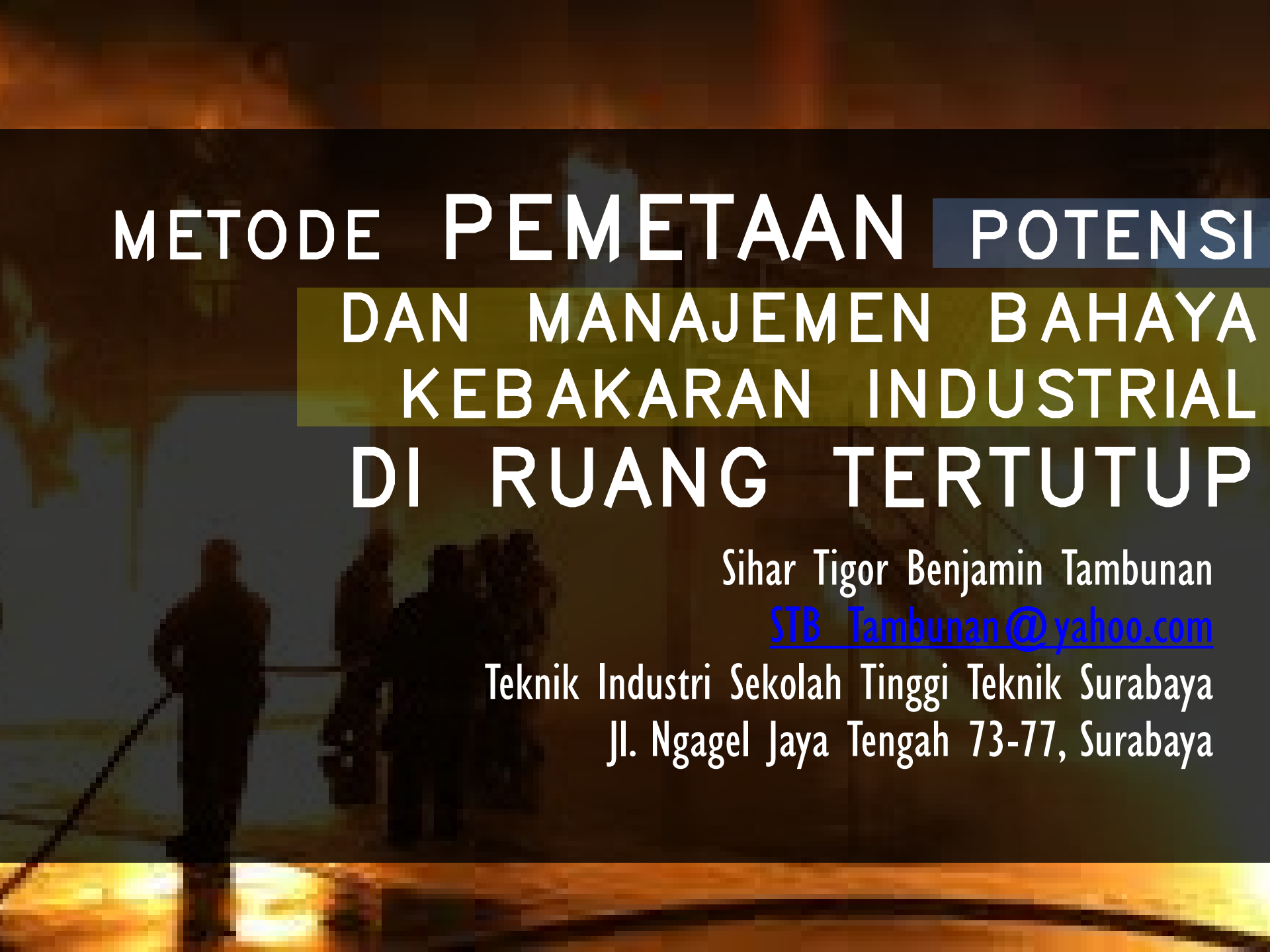
Dengan hormat,
Berdasarkan evaluasi Dewan Juri Papers Fair “Matthias Aroef Award” 2015, dengan ini kami sampaikan bahwa paper dengan *Metode Pemetaan Potensi dan Manajemen Bahaya Kebakaran Industrial di ruang Tertutup*, Pemakalah **Sihar Tigor Benjamin Tambunan**, dinyatakan **LULUS** seleksi dan dapat menyajikan presentasi bserkaitan dengan makalah yang telah disusun.

Berkaitan dengan hal tersebut, kami mohon agar dapat menyiapkan materi presentasi / Power Point (maximal 5 slide) untuk dapat dipresentasikan pada acara ***The Indonesian Industrial Engineering Annual Conference 2015*** tanggal 18 November 2015. Materi presentasi / Power Point dapat diserahkan kepada panitia sebelum tanggal 13 November 2015 untuk proses produksi selanjutnya.

Demikian kami sampaikan, atas perhatian dan kerjasamanya kami ucapkan terima kasih.

Hormat kami,
Badan Kejuruan Teknik Industri – PII

Dr.Ir. Tiena Gustina Amran, IPU
Ketua Dewan Juri



METODE PEMETAAN POTENSI DAN MANAJEMEN BAHAYA KEBAKARAN INDUSTRIAL DI RUANG TERTUTUP

Sihar Tigor Benjamin Tambunan

STB_Tambunan@yahoo.com

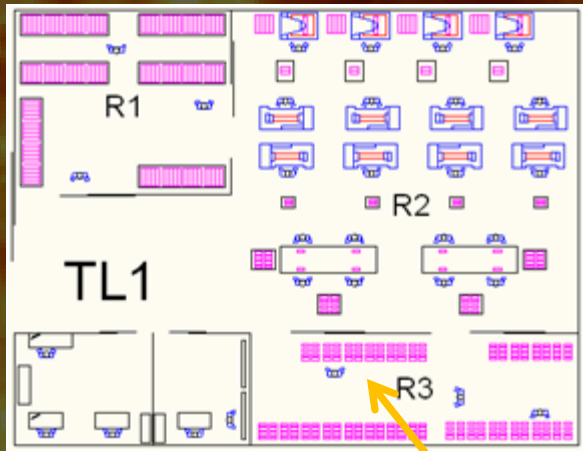
Teknik Industri Sekolah Tinggi Teknik Surabaya
Jl. Ngagel Jaya Tengah 73-77, Surabaya

Jenis Bahan, Faktor Penentu Kecepatan Terbakar, dan Suhu Nyala otomatis

Jenis Bahan	Padat tipis	Padat tebal	Cair	Gas
Faktor penentu kecepatan terbakar	Waktu terbakar (<i>ignition time</i>)	Waktu terbakar (<i>ignition time</i>)	Titik nyala dan titik bakar	Tingkat konsentrasi campuran terendah
Parameter	$t_{ig} = \rho L_0 c \frac{(T_{ig} - T_0)}{(\dot{q}''_r - \dot{q}''_{crit})}$	$t_{ig} = \frac{\pi}{4} k \rho c \frac{(T_{ig} - T_0)^2}{(\dot{q}''_r - \dot{q}''_{crit})^2}$	-	$L_m = \frac{100}{\sum_i \frac{P_i}{L_i}}$
	Di mana: t_{ig} = waktu bakar (detik) ρ = massa jenis bahan (kg/m ³) L_0 = ketebalan bahan (m) T_{ig} = suhu bakar (°C) T_0 = suhu mula-mula (°C) c = kalor jenis bahan (kJ/kg·C) \dot{q}''_r = Heat flux eksternal (kW/m ²) \dot{q}''_{crit} = Heat flux kritis untuk penyalaaan k = Konduktifitas termal (W/m·K).			Di mana: L_m = Tingkat konsentrasi campuran terendah (flammability limit) P_i = Volume fraction of

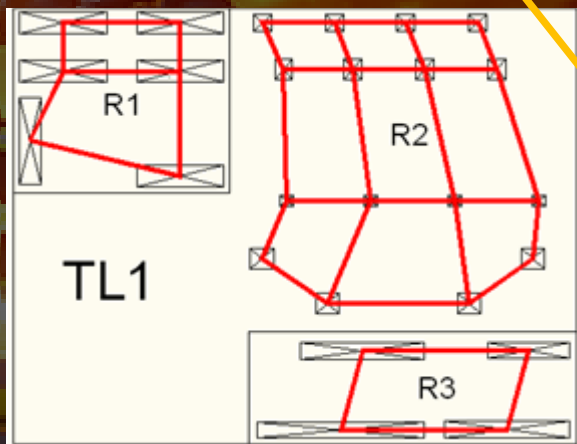
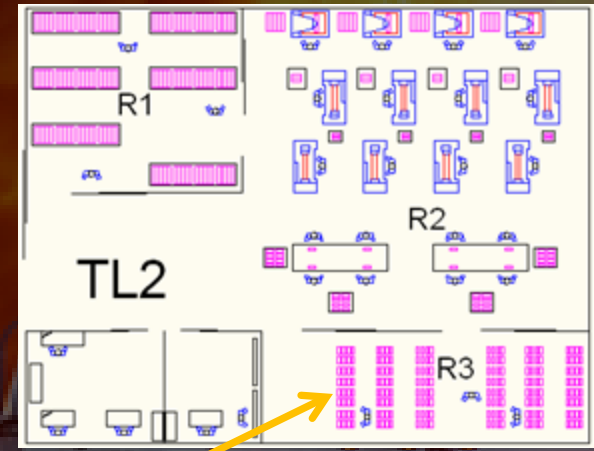
Bahan	Autoignition temp (°C)	Industri/ proses pengguna
Carbon disulfide, CS ₂	90	Pabrik serat rayon, pabrik bahan perekat,
Diethyl ether	160	Berbagai industri dan laboratorium kimia
Acetaldehyde	175	Pabrik asam asetat
Kertas	218 – 246	Industri percetakan, kemasan
Sulfur	243	Berbagai industri dan laboratorium kimia
Minyak tanah	295	Berbagai sektor industri
Kayu	300	Pabrik mebel, pintu kayu, dsb
Acetylene	305	Pengelasan
Arang	349	Proses memasak, penjernihan air, dsb
Ethanol	365	Kimia, farmasi, kosmetik, dsb

Pengaruh Tata Letak Bahan Bakar dan Profil Titik Api (Class A)



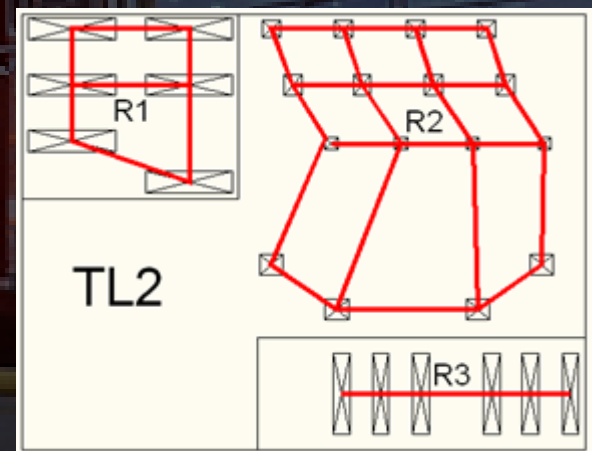
BAHAN BAKAR (fuel)

- Fasilitas dan perlengkapan
- Bahan baku
- Bahan dalam proses
- Produk akhir
- Limbah/ sisa bahan

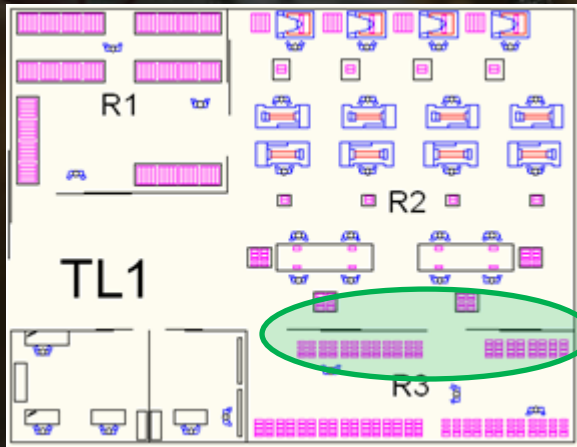


SUB FAKTOR TATA LETAK

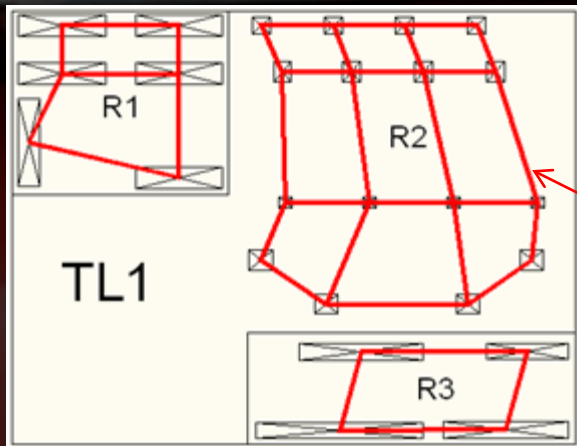
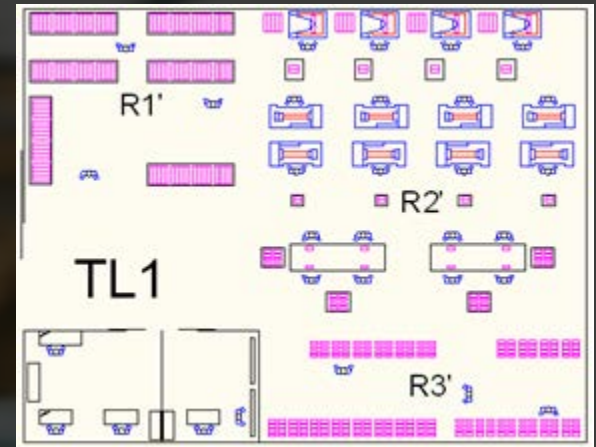
- Dimensi, orientasi, dan jumlah
- Aktifitas
- Jarak antar bahan bakar dan jarak antar aktifitas



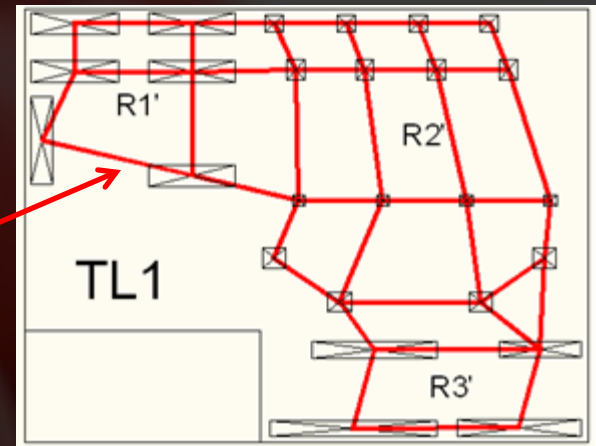
Pengaruh Hilangnya Sekat Terhadap Profil Titik Api (Class A)



Sekat Antar Ruang



Profil potensi titik api



Kesimpulan

- Pemetaan potensi kebakaran industrial dalam ruangan tertutup diperlukan untuk mengidentifikasi secara cermat potensi rantai titik api, area dan arah penyebaran api, dampak kebakaran, dan rencana penanggulangannya.
- Pemetaan potensi kebakaran dapat digunakan sebagai pertimbangan tata letak pabrik/ fasilitas produksi, atau sebaliknya.

METODE PEMETAAN POTENSI DAN MANAJEMEN BAHAYA KEBAKARAN INDUSTRIAL DI RUANG TERTUTUP

Sihar Tigor Benjamin Tambunan
STB_Tambunan@yahoo.com
Teknik Industri Sekolah Tinggi Teknik Surabaya
Jl. Ngagel Jaya Tengah 73-77, Surabaya

Abstrak

Kemungkinan terjadinya kebakaran industrial di ruang tertutup ditentukan oleh potensi terbentuknya segitiga api dalam kawasan pabrik. Dua komponen segitiga api yang perlu mendapat perhatian khusus adalah keberadaan bahan yang dapat terbakar (jumlah, jenis, karakteristik mampu nyala termasuk temperatur autoignition, dan orientasi peletakannya) dan sumber panas potensial di setiap lokasi, sedangkan jumlah oksigen dianggap tidak terbatas sehingga tidak dipertimbangkan.

Pemetaan potensi kebakaran direkomendasikan dilakukan untuk mengefektifkan tindakan pencegahan dan proteksi kebakaran (aktif dan pasif), termasuk untuk memaksimalkan kecepatan pemadaman dan meminimalkan kecepatan penyebaran api. Perubahan tata letak bahan yang dapat terbakar dan pemberian sekat antar ruang, secara teoritis dapat mengurangi panjang rantai titik api dan menahan kecepatan/ luasan penyebaran api.

Kata kunci: pemetaan, kebakaran industrial, segitiga api, autoignition

1. PENDAHULUAN

Kebakaran adalah salah satu jenis bahaya dengan resiko terjadi cukup besar dan menyebabkan kerugian sangat besar di berbagai sektor industri, khususnya industri manufaktur (Reese, 2008). Sampai saat ini, hubungan singkat arus pendek listrik paling sering dicurigai sebagai sumber percikan api dalam peristiwa kebakaran industrial. Tapi jelas bukan itu satu-satunya. Untuk kepentingan industrial yang bersifat praktis, diperlukan sebuah metode pemetaan dan manajemen potensi bahaya kebakaran yang sederhana dan *applicable* untuk meminimumkan resiko terjadinya kebakaran industrial. Analisis potensi bahaya kebakaran perlu dilakukan untuk memprediksi potensi karakteristik kebakaran di sebuah tempat berdasarkan sebuah skenario tertentu. Termasuk yang dipertimbangkan dalam skenario dimaksud adalah: dimensi dan bentuk ruangan, bahan konstruksi, konfigurasi ruangan, isi, bentuk, orientasi, dan jenis bahan (padat, cair, dan/ atau gas) dalam ruangan, sumber udara, posisi pintu, jumlah, lokasi, dan karakteristik penghuni ruangan, dan faktor-faktor lain yang dianggap terkait.

Model pemetaan diharapkan juga dapat menunjukkan rerangka penerapan prinsip-prinsip manajemen bahaya di tempat kerja (*Hazards Management Principles*) yang diperlukan untuk meminimalkan dan mengendalikan bahaya kebakaran industrial, sudah barang tentu tetap dalam perspektif keilmuan teknik industri (khususnya perancangan pabrik dan tata letak fasilitas).

2. TEORI SEGITIGA API

Menurut teori segitiga api, sebuah peristiwa kebakaran, diawali oleh bertemunya tiga elemen segitiga api, yaitu percikan api (*ignition*), bahan yang dapat terbakar (*fuel*), dan oksigen. Secara alami, penyebaran panas bisa terjadi secara konduksi, konveksi, dan radiasi. Kecepatan dan luas penyebaran api (*fire growth*) dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti *heat flux* dan karakteristik termal bahan yang dapat terbakar (Carlsson, 2005), jumlah bahan yang dapat terbakar, ventilasi, volume ruang/ kompartemen (Carlsson, 2005), tinggi langit-langit, lokasi titik api, dan kondisi udara seperti temperatur ruangan, kecepatan angin, dsb (Comhshaol et al, 2010).

Karakteristik bahan yang dapat terbakar yang berada dalam sebuah ruangan diperlukan untuk memperkirakan kecepatan proses dan rangkaian penyebaran api di dalam sebuah ruang. Contohnya, setiap jenis bahan padat memiliki kecepatan terbakar yang berbeda-beda. Parameternya cukup banyak. Salah satunya adalah ketebalan bahan (Tabel 1). Selain itu, pada dasarnya benda padat dapat terbakar dalam orientasi apapun. Tapi penyebaran api (*flame spread*) akan makin cepat jika orientasi benda padat adalah vertikal. Berbeda dengan bahan padat, bahan cair ditentukan oleh titik nyala dan titik bakar, sedangkan gas ditentukan tingkat konsentrasi campuran terendah. Keberadaan beberapa jenis bahan dalam sebuah ruangan akan mempengaruhi urutan dan kecepatan penyebaran api.

Tabel 1. Jenis Bahan dan Faktor Penentu Kecepatan Terbakar

Jenis Bahan	Padat tipis	Padat tebal	Cair	Gas
Faktor penentu kecepatan terbakar	Waktu terbakar (<i>ignition time</i>)	Waktu terbakar (<i>ignition time</i>)	Titik nyala dan titik bakar	Tingkat konsentrasi campuran terendah
Parameter	$t_{ig} = \rho L_0 c \frac{(T_{ig} - T_0)}{(\dot{q}''_r - \dot{q}''_{crit})}$	$t_{ig} = \frac{\pi}{4} k \rho c \frac{(T_{ig} - T_0)^2}{(\dot{q}''_r - \dot{q}''_{crit})^2}$	-	$L_m = \frac{100}{\sum_i \frac{P_i}{L_i}}$
	Di mana: t_{ig} = waktu bakar (detik) ρ = massa jenis bahan (kg/m ³) L_0 = ketebalan bahan (m) T_{ig} = suhu bakar (°C) T_0 = suhu mula-mula (°C) c = kalor jenis bahan (kJ/kg·C) \dot{q}''_r = Heat flux eksternal (kW/m ²) \dot{q}''_{crit} = Heat flux kritis untuk penyalaaan (kW/m ²) k = Konduktifitas termal (W/m·K).			Di mana: L_m = Tingkat konsentrasi campuran terendah (flammability limit) P_i = Volume fraction of gas i L_i = Lower flammable limit of gas i

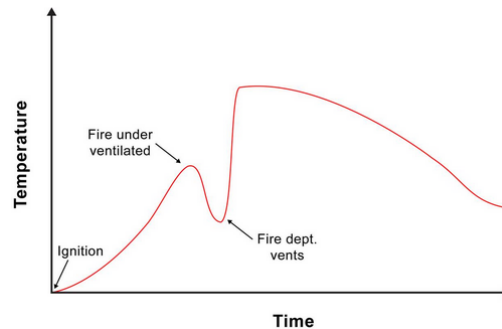
Dalam tahap investigasi kebakaran, yang paling banyak dikaji adalah identifikasi posisi titik api awal dan utama yang tidak lain adalah identifikasi pembentukan segitiga api yang utama. Dalam realitanya, karakteristik penyalaaan secara otomatis (*autoignition temperature/ kindling point*) sering terlupakan. Beberapa bahan (dalam fase gas) memiliki temperatur minimum yang memungkinkan untuk menyala secara otomatis tanpa percikan api (Tabel 2).

Tabel 2. Suhu Nyala Otomatis

Bahan	Autoignition temp (°C)	Industri/ proses pengguna
Carbon disulfide, CS₂	90	Pabrik serat rayon, pabrik bahan perekat,
Diethyl ether	160	Berbagai industri dan laboratorium kimia
Acetaldehyde	175	Pabrik asam asetat
Kertas	218 – 246	Industri percetakan, kemasan
Sulfur	243	Berbagai industri dan laboratorium kimia
Minyak tanah	295	Berbagai sektor industri
Kayu	300	Pabrik mebel, pintu kayu, dsb
Acetylene	305	Pengelasan
Arang	349	Proses memasak, penjernihan air, dsb
Ethanol	365	Kimia, farmasi, kosmetik, dsb

Bahan	Autoignition temp (°C)	Industri/ proses pengguna
Batu bara	454	Proses memasak/ pembakaran
Styrene	490	Pabrik plastik
Benzena	560	Pabrik plastik

Dalam peristiwa kebakaran di ruangan tertutup, penambahan api dapat mengalami perlambatan, bahkan mati, ketika jumlah oksigen berkurang. Tapi ketika api/ panas dalam ruangan berhasil menciptakan lubang yang memungkinkan oksigen mengalir ke dalam ruangan (*vent*), maka api akan kembali membesar (jika bahan bakar masih ada) ([Gambar 1](#)).



Gambar 1. Pengaruh Ventilasi Terhadap Perubahan Temperatur Ruang dalam Kebakaran

3. PRINSIP MANAJEMEN POTENSI BAHAYA KEBAKARAN

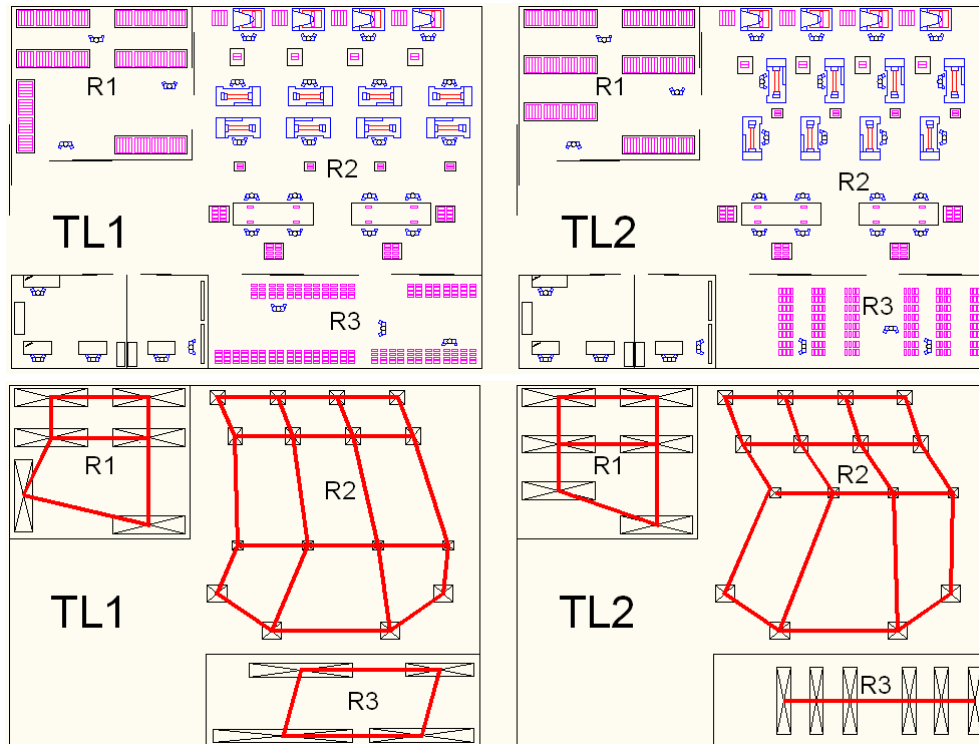
Pada dasarnya, model pemetaan dan manajemen potensi bahaya kebakaran industrial, didasari karakteristik pembentukan segitiga api dan penyebaran api (api tidak akan padam, selama bahan bakar masih tersedia dan berada dalam jangkauan api) dan penerapan hierarkhi prinsip-prinsip manajemen bahaya (*Hazards Management Principles*) di tempat kerja, yaitu prinsip substitusi (*engineering control*), prinsip separasi (fisik, jarak, dan waktu), prinsip ventilasi, prinsip pengendalian administratif (*administratif control*), dan prinsip alat pelindung diri (*personal protective equipment*).

4. MODEL PEMETAAN DAN MANAJEMEN

Pemetaan diutamakan untuk mengidentifikasi dua fase kebakaran (potensial), tahap awal kebakaran (*ignition*) dan penyebaran kebakaran (*fire growth*). Tahap kebakaran tetap (*steady burning*), dan padam (*decay*) diabaikan. Berikut ini adalah langkah-langkah pemetaannya potensi bahaya kebakaran industrial:

1. Penggambaran tata letak pabrik dan fasilitas.
2. Pendataan tingkat keamanan bangunan terhadap bahaya kebakaran (analisis struktural).
3. Pendataan sumber elemen segitiga api dalam setiap ruang.
 - a. Jenis, jumlah, dan posisi sumber-sumber pencetus percikan api.
 - b. Jenis, jumlah, dan posisi sumber-sumber bahan yang dapat terbakar.
 - c. Jenis, jumlah, dan posisi sumber-sumber oksigen (*optional*).
4. Pendataan kegiatan dalam ruangan.
5. Penentuan nilai potensi kebakaran di setiap ruangan.
6. Penentuan arah penyebaran kebakaran.
7. Rencana perlindungan bahaya kebakaran pasif dan aktif melalui penerapan hierarki prinsip-prinsip manajemen bahaya (HMP) pada sumber elemen segitiga api (langkah 3) dan kegiatan dalam ruangan (langkah 4) dengan skala prioritas sesuai hasil temuan langkah 5.

Penggambaran tata letak dan tingkat keamanan bangunan menjadi sumber data awal untuk mengidentifikasi potensi bahaya kebakaran tingkat departemental dan potensi penyebarannya. Penentuan posisi titik api menjadi langkah penting dalam analisis bahaya kebakaran (Hurley et al, XXXX). Dalam [Gambar 2](#) ditunjukkan peletakan rantai potensi titik api yang mengacu pada “titik berat” geometri bahan yang dapat terbakar di gudang bahan baku (R1), ruang produksi (R2), dan gudang barang jadi (R3) pada dua tata letak berbeda (TL1 dan TL2). Penentuan kecepatan proses penyalaan (*ignition*) di setiap titik menggunakan persamaan Mikkola and Wichman ([Tabel 1](#)).



Gambar 2. Pengaruh Tata Letak Bahan Bakar dan Profil Titik Api (Class A)

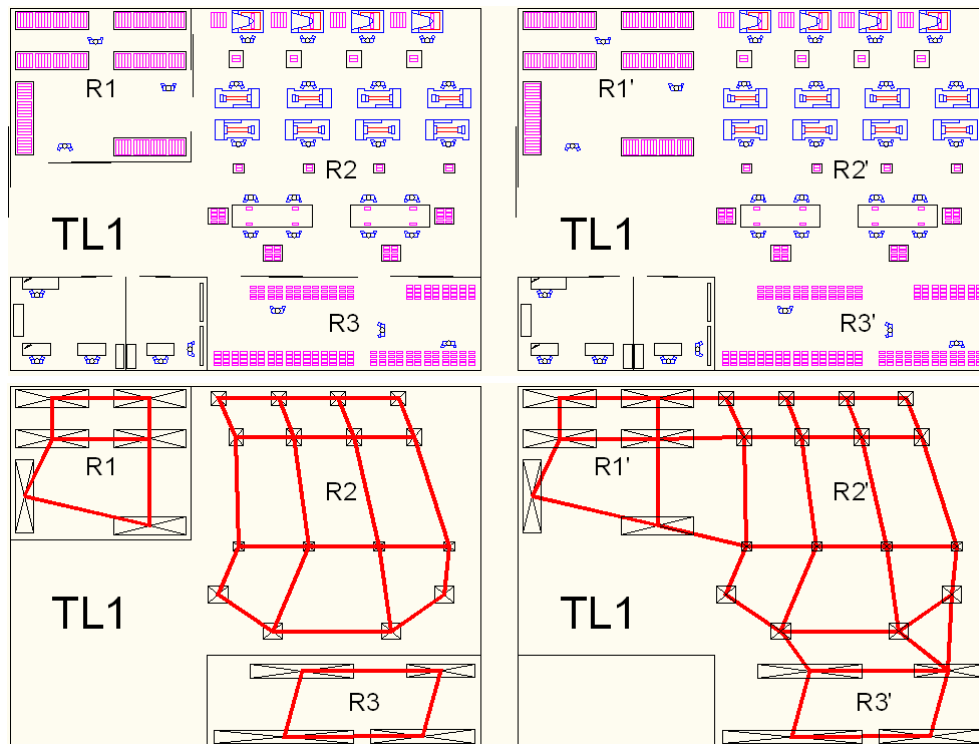
Meski secara visual, sudah terlihat adanya perbedaan yang signifikan pada profil rantai titik api, pertimbangan kuantitatif ([Tabel 3](#)) tetap diperlukan untuk melakukan tindakan proteksi lebih lanjut (terkait aspek penempatan dan kecukupan APAR, *sprinkler*, hidran, detektor asap/ api/ panas, dll).

Tabel 3. Perbandingan Panjang Rantai Titik Api dan Area Penyebaran

Tata Letak	Ruang	Panjang Rantai Titik Api	Area Penyebaran
TL1	R1	18,5	13,4
	R2	56,6	49,4
	R3	13,7	9,9
TL2	R1	17,3	11,9
	R2	56,7	48,5
	R3	6,3	0

Pemberian sekat antar ruang ([Gambar 2](#)) dan penghilangan sekat ([Gambar 3](#)) merupakan contoh dampak penggabungan prinsip-prinsip metodologi perancangan tata letak fasilitas dan manajemen pengendalian bahaya di tempat kerja, khususnya prinsip pertama, yaitu substitusi/ *engineering control* (pengurangan panas, pengurangan oksigen, dan pengurangan fuel) dan prinsip kedua, yaitu pemisahan

fisik (jumlah dan jenis bahan jendela, pintu, sekat antar ruangan menjadi faktor penentu lamanya pengembangan dan penyebaran api).



Gambar 3. Pengaruh Hilangnya Sekat Terhadap Profil Titik Api (Class A)

5. KESIMPULAN

Dari kajian di atas dapat diambil beberapa kesimpulan:

1. Pemetaan potensi kebakaran industrial dalam ruangan tertutup diperlukan untuk mengidentifikasi secara cermat potensi rantai titik api, area dan arah penyebaran api, dampak kebakaran, dan rencana penanggulangannya.
2. Pemetaan potensi kebakaran dapat digunakan sebagai pertimbangan tata letak pabrik/ fasilitas produksi, atau sebaliknya.

6. KEPUSTAKAAN

Comhshaol, Oidhreach agus Rialtas Aitiúil, Stiúrthóireacht Náisiúnta um Dóiteáin agus Bainistíocht Éigeandála, National Directorate for Fire and Emergency Management, *Guidance for Compartment Fire Behaviour Training*, 2010

Charles de Reese, *Occupational Safety and Health Management: A Practical Approach*, Edisi 2, CRC Press, 2008

F. Wald, L. Simoes da Silva, D.B. Moore, T. Lennon, M. Chladna, A. Santiago, M. Benes, L. Borges, *Experimental Behaviour of A Steel Structure Under Natural Fire*, Fire Safety Journal, 2006.

Jorgen Carlsson, *Flame Spread and Fire Growth, Modelling Capabilities in Various Room Configuration*, FOI Swedish Defence Research Agency, 2005.

Morgan J. Hurley et al, Richard W. Bukowski, *Fire Hazard Analysis Techniques, Information and Analysis for Fire Protection*.