

BAB II

LANDASAN TEORI

II.1. DEFINISI DAN PROSES PEMBAKARAN

Api merupakan sebuah proses pembakaran, dimana terjadi sebuah reaksi kimia kompleks antara bahan bakar, oksigen dan sumber-sumber *ignition*. Dalam definisi lain [Drysdale, 2003] dikatakan bahwa, pembakaran merupakan proses yang melibatkan reaksi kimia antara material yang dapat terbakar (*combustible species*) dan oksigen yang terkandung diudara. Bahan bakar adalah segala zat yang melepaskan energi ketika dioksidasi.

Seluruh material yang dapat terbakar tersebut ketika diberikan suatu flux kalor dalam batasan tertentu akan melepaskan suatu substansi yang dapat terbakar. Substansi tersebut disebut *volatile*. Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu kayu melakukan pelepasan moisture ke udara sebelum proses tersebut terjadi. Selama pelepasan moisture tersebut massa dari kayu akan menurun dan penurunannya relatif konstan.

Selanjutnya, gas dan uap hasil dekomposisi termal tersebut akan bercampur dengan oksigen atau udara sebagai *oxidizer* untuk membentuk campuran yang dapat terbakar. *Oxidizer* adalah segala zat dimana didalamnya terdapat oksigen yang bereaksi dengan bahan bakar. Udara merupakan oxidizer alami, karena udara pada keadaan normal memiliki kandungan oksigen sebesar 21%.

Aliran atau semburan dari gas hidrokarbon yang telah bercampur dengan udara dapat dipicu dengan *igniter* agar membentuk api. Pada saat yang bersamaan dengan proses oksidasi campuran bahan bakar, terjadi pula proses perpindahan panas. Karena pembakaran melepaskan sejumlah panas, maka proses ini digolongkan ke dalam reaksi eksotermik, dimana terjadi perpindahan energi dari sistem ke lingkungan.

Pembakaran dan api melibatkan tiga elemen penting yaitu bahan bakar, oksigen, dan sumber pemicu. Segitiga api menghubungkan ketiga elemen untuk menciptakan api. Akan tetapi, konsep segitiga api ini juga digunakan untuk mencegah api atau mengontrol api tersebut setelah terjadi.

Pembakaran hanya akan terjadi apabila ketiga elemennya telah melampaui batasan-batasan tertentu, seperti:

- Bahan bakar harus memiliki tingkat konsentrasi yang diperlukan untuk pembakaran.
- Pemberian oksigen harus di atas tingkat minimum konsentrasi yang dibutuhkan.
- Pemicu dapat berupa panas atau tekanan yang cukup.

Ketika bahan bakar dipanaskan sampai temperatur *ignition*-nya, maka proses penyalaan akan berlangsung. Proses pembakaran akan terus terjadi selama bahan bakar tetap berada pada temperatur tersebut dan mendapatkan oksigen yang cukup. Temperatur *ignition* dari bahan bakar sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat termal dari bahan bakar tersebut. Juga dipengaruhi oleh waktu pemanasan, besarnya flux kalor dan kondisi lingkungan.

II.2 PERPINDAHAN KALOR

Pada dasarnya perpindahan kalor merupakan energi yang berpindah akibat adanya perbedaan temperatur. Terdapat tiga tipe perpindahan kalor, yakni konduksi, konveksi dan radiasi dimana ketiganya memiliki peranan masing-masing dalam proses terjadinya kebakaran. Konduksi menentukan besarnya laju kalor yang bergerak dalam suatu bahan padat. Tipe perpindahan kalor ini berkaitan dengan penyebaran panas dalam material yang terbakar dan juga ketahanan material tersebut terhadap api. Konveksi berhubungan dengan perpindahan panas dalam suatu fluida, baik gas maupun cairan, dan melibatkan pergerakan partikel dari fluida perantara tersebut. Pengaruh konveksi sangat besar saat kebakaran masih dalam tahap awal, dimana pada saat itu radiasinya masih rendah. Tipe perpindahan kalor yang terakhir,

radiasi, tidak membutuhkan perantara untuk memindahkan panas dari sumber panas ke penerimanya. Radiasi, yang menggunakan gelombang elektromagnetik dalam perpindahan panasnya, menentukan pertumbuhan dan penyebaran api dalam proses kebakaran. Radiasi tidak hanya berperan dalam penyebaran api dalam ruangan, namun juga antar bangunan dimana sejumlah energi panas dari satu bangunan terbakar ditransmisikan ke lingkungan sekitarnya, termasuk ke bangunan lain yang dekat dengan sumber api.

II.2.1 Radiasi

Radiasi panas adalah energi yang diemisikan oleh suatu benda pada temperatur tertentu. Radiasi yang diemisikan oleh suatu permukaan sebenarnya berasal dari energi panas zat yang terikat dalam permukaan tersebut dan tingkat dimana energi dilepaskan per unit area (W/m^2) disebut sebagai *Emissive Power*, E , dari permukaan tersebut. Dinyatakan dalam hukum *Stefan Boltzmann*,

$$E_b = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad (2.1)$$

dengan : T_s = temperatur absolut permukaan (K)

σ = konstanta *Stefan Boltzmann* ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$)

ε = merupakan sifat radiatif dari permukaan yang disebut dengan emisivitas. Nilainya bervariasi antara nol hingga satu, $0 < \varepsilon < 1$.

Flux kalor pada benda padat dapat dinyatakan dengan Hukum Fourier:

$$q''_y = -k \frac{dT}{dy} \quad (2.2)$$

$$q''_y = -k \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (2.3)$$

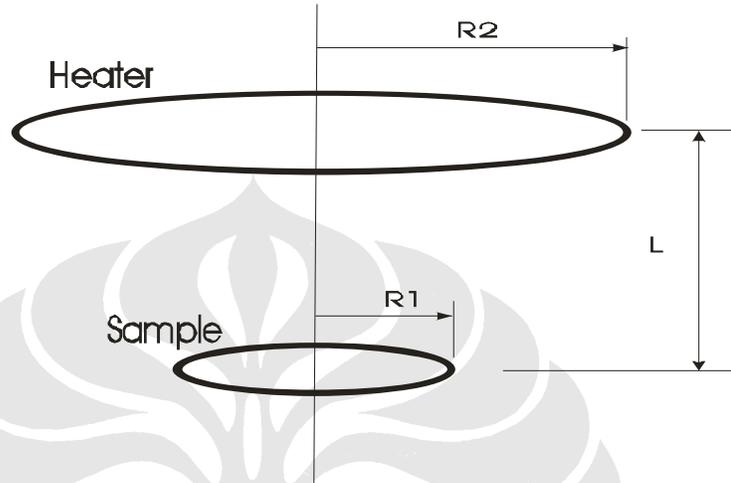
Apabila tingkat kalor akibat konduksi q_y (W) pada area A diinginkan maka persamaan flux kalor dikalikan dengan area :

$$q_y = q''_y \times A \quad (2.4)$$

Apabila di antara dua permukaan A_1 (heater) dan A_2 (sampel) terjadi pertukaran energi karena mempunyai suhu yang berbeda, maka faktor pandang (faktor bentuk radiasi) antara kedua permukaan tersebut diperlukan untuk mengetahui

besarnya energi radiasi yang meninggalkan permukaan satu dan mencapai permukaan dua.

Perpindahan kalor dari *conical heater* menuju sampel dalam orientasi horizontal ditunjukkan oleh gambar



Gambar 2.1 Faktor bentuk radiasi [Holman, 1992]

F_{1-2} didefinisikan sebagai fraksi energi yang meninggalkan permukaan satu dan mencapai permukaan dua. Sebaliknya, F_{2-1} adalah fraksi energi yang meninggalkan permukaan dua dan mencapai permukaan satu. Sehingga besar energi yang meninggalkan permukaan satu dan sampai ke permukaan dua ($\dot{Q}_{1,2}$) adalah :

$$\dot{Q}_{1,2} = E_{b1} A_1 F_{1-2} \quad (2.5)$$

Oleh karena semua permukaannya diasumsikan hitam, maka seluruh radiasi yang menyimpannya akan diserap. Dari sini diketahui besarnya pertukaran energi netto sebesar:

$$Q_{1-2} = (E_{b1} A_1 F_{1-2}) - (E_{b2} A_2 F_{2-1}) \quad (2.6)$$

Jika kedua permukaan itu mempunyai suhu yang sama, maka tidak terjadi pertukaran kalor, artinya $Q_{1-2} = 0$. dan juga :

$$E_{b1} = E_{b2} \quad (2.7)$$

$$A_1 F_{12} = A_2 F_{21} \quad (2.8)$$

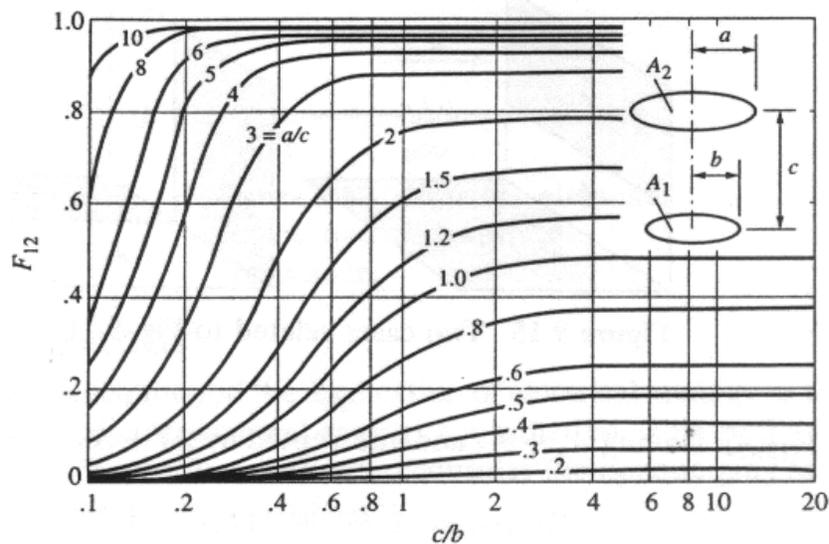
Sehingga :

$$Q_{1-2} = A_1 F_{1-2} (E_{b1} - E_{b2}) = A_2 F_{2-1} (E_{b1} - E_{b2}) \quad (2.9)$$

Oleh karena itu pertukaran kalor netto ialah hubungan resiprositas (*reciprocity relation*), dan secara umum berlaku untuk dua permukaan m dan n :

$$A_m F_{mn} = A_n F_{nm} \quad (2.10)$$

Nilai F_{1-2} dapat ditentukan dari grafik faktor bentuk radiasi antara dua piring konsentrik sejajar.



Gambar 2.2 Grafik faktor pandang [Holman, 1992]

II.2.2 Metode Numerik

II.2.2.1 Perpindahan Panas Secara Radiasi ke Benda Padat

Untuk mempelajari formulasi untuk penyelesaian numerik pertukaran kalor radiasi antara benda tak-hitam perlu didefinisikan dua istilah baru:

irradiasi, G : total radiasi yang menimpa suatu permukaan per satuan waktu per satuan luas.

radiositas, J : total radiasi yang meninggalkan suatu permukaan per satuan waktu per satuan luas.

Prosedur perhitungan untuk penyelesaian numerik perpindahan kalor radiasi antara permukaan-permukaan kelabu yang bersifat baur [Holman,1992] :

1. Tentukan F_{ij} dan ϵ_i untuk semua permukaan.
2. Tentukan E_{bi} untuk semua permukaan pada suhu yang telah ditentukan.
3. Rumuskan persamaan-persamaan node untuk J_i .
4. Selesaikan persamaan itu untuk J_i .
5. Hitung q_i dan T_i .

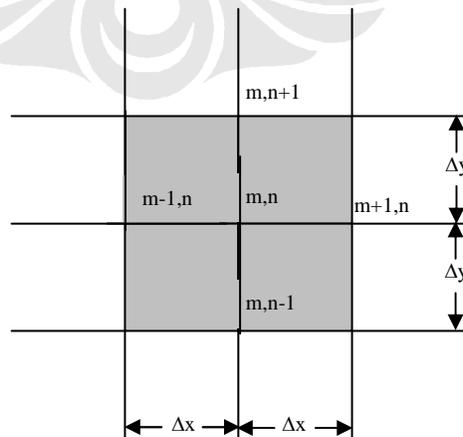
Persamaan node untuk J_i dan q_i :

$$J_i - (1 - \epsilon_i) \sum_j F_{ij} J_j = \epsilon_i E_{bi} \quad (2.11)$$

$$\frac{q_i}{A_i} = J_i - G_i = J_i - \sum_j F_{ij} J_j \quad (2.12)$$

$$\frac{q_i}{A_i} = \frac{\epsilon_i}{1 - \epsilon_i} (E_{bi} - J_i) \quad (2.13)$$

II.2.2.2 Temperatur Permukaan dan Temperatur Bagian Dalam Benda Padat



Gambar 2.3 Nomenklatur untuk penyelesaian numerik konduksi keadaan tak tunak dua dimensi

Untuk benda dua dimensi yang dibagi-bagi menjadi kotak-kotak kecil seperti gambar di atas, subskrip m menandakan posisi x , dan subskrip n menandakan posisi y . Koordinat ruang dibuat sedemikian rupa sehingga $\Delta x = \Delta y$. Dalam benda padat, persamaan yang mengatur aliran panas ialah

$$\frac{T_{m+1,n}^p + T_{m-1,n}^p - 2T_{m,n}^p}{(\Delta x)^2} + \frac{T_{m,n+1}^p + T_{m,n-1}^p - 2T_{m,n}^p}{(\Delta y)^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{T_{m,n}^{p+1} - T_{m,n}^p}{\Delta \tau} \quad (2.14)$$

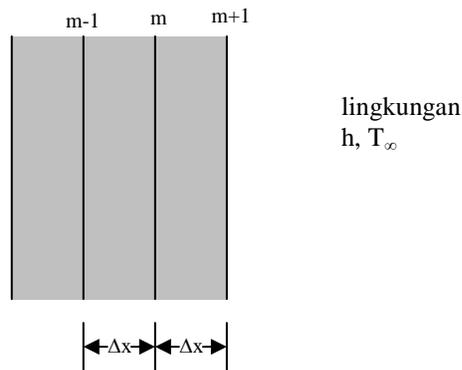
Dalam persamaan di atas, superskrip menunjukkan tambahan waktu (*time increment*). α merupakan difusivitas termal, sedangkan $\Delta \tau$ menunjukkan tambahan waktu. Persamaan untuk mencari $T_{m,n}^{p+1}$ untuk sistem dua dimensi ialah

$$T_{m,n}^{p+1} = \frac{\alpha \Delta \tau}{(\Delta x)^2} (T_{m+1,n}^p + T_{m-1,n}^p + T_{m,n+1}^p + T_{m,n-1}^p) + \left[1 - \frac{4\alpha \Delta \tau}{(\Delta x)^2} \right] T_{m,n}^p \quad (2.15)$$

Sedangkan jika sistemnya satu dimensi, maka persamaan di atas menjadi

$$T_m^{p+1} = \frac{\alpha \Delta \tau}{(\Delta x)^2} (T_{m+1}^p + T_{m-1}^p) + \left[1 - \frac{2\alpha \Delta \tau}{(\Delta x)^2} \right] T_m^p \quad (2.16)$$

Persamaan-persamaan beda yang diberikan di atas sangat berguna untuk menentukan suhu dalam benda padat sebagai fungsi ruang dan waktu. Pada batas benda padat biasanya terdapat tahanan konveksi terhadap aliran kalor, sehingga hubungan-hubungan di atas tidak berlaku lagi. Pada umumnya, setiap kondisi batas konveksi harus ditangani secara terpisah, tergantung dari bentuk geometri yang menjadi perhatian. Untuk kasus dalam skripsi ini diambil contoh dinding datar.

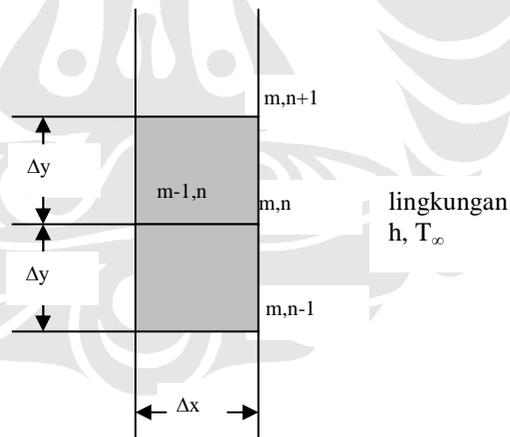


Gambar 2.4 Dinding datar satu dimensi

Temperatur di dinding paling luar, yakni yang berbatasan dengan lingkungan, T_{m+1} atau T_w (temperatur *wall*) diberikan oleh persamaan

$$T_{m+1} = \frac{T_m + (h\Delta x / k)T_\infty}{1 + (h\Delta x / k)} \quad (2.17)$$

Untuk dinding dua dimensi, perhatikan gambar di bawah ini



Gambar 2.5 Dinding dua dimensi dengan batas konveksi

Temperatur di dinding yang berbatasan dengan lingkungan, $T_{m,n}$ diberikan oleh persamaan

$$T_{m,n}^{p+1} = \frac{\alpha\Delta\tau}{(\Delta x)^2} \left[2T_{m-1,n}^p + T_{m,n+1}^p + T_{m,n-1}^p + 2\left(\frac{h\Delta x}{k}\right)T_{\infty}^p \right] + \left[1 - 4\frac{\alpha\Delta\tau}{(\Delta x)^2} - 2\frac{\alpha\Delta\tau}{(\Delta x)^2} \frac{h\Delta x}{k} \right] T_{m,n}^p$$

(2.18)

Persamaan-persamaan yang telah ditulis di atas merupakan persamaan temperatur untuk titik di bagian tengah benda padat. Sedangkan untuk titik di bagian sudut luar dengan batas konveksi persamaannya berubah menjadi

$$T_{m,n}^{p+1} = 2\frac{\alpha\Delta\tau}{(\Delta x)^2} \left[T_{m-1,n}^p + T_{m,n-1}^p + 2\left(\frac{h\Delta x}{k}\right)T_{\infty}^p \right] + \left[1 - 4\frac{\alpha\Delta\tau}{(\Delta x)^2} - 4\frac{\alpha\Delta\tau}{(\Delta x)^2} \frac{h\Delta x}{k} \right] T_{m,n}^p$$

(2.19)

II.3 LAJU PRODUKSI KALOR

Laju produksi kalor pada dasarnya adalah nilai kalor yang dilepaskan per satuan waktu pada suatu sample akibat adanya reaksi eksotermik setelah energi aktivasinya terlewati. Laju produksi kalor merupakan parameter yang penting untuk mendeskripsikan kebakaran. Ada tiga alasan untuk hal ini, yaitu :

1. Merupakan gaya penggerak untuk api.

Laju produksi kalor dapat digambarkan sebagai mesin penggerak kebakaran. Panas yang terjadi dapat menimbulkan panas yang lebih besar/banyak lagi. Hal ini tidak terjadi pada variabel kebakaran lainnya. Sebagai contoh karbon monoksida tidak menimbulkan lebih banyak lagi karbon monoksida.

2. Sebagian besar variabel lain berhubungan dengan laju produksi kalor.

Perkembangan dari sebagian besar produk hasil kebakaran yang tidak diinginkan cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya laju produksi kalor. Hasil pembakaran tersebut diantaranya asap, gas-gas berbahaya, atau temperatur ruangan.

3. Semakin tinggi laju produksi kalor mengindikasikan semakin tingginya ancaman kematian.

Beberapa variabel kebakaran tidak secara langsung berhubungan dengan ancaman hidup. Sebagai contoh jika suatu produk menunjukkan kemudahannya untuk mampu nyala (*ignitability*) tidaklah selalu berarti bahwa suatu kondisi kebakaran dianggap berbahaya. Keadaan tersebut dianggap hanya sebagai kecenderungan api yang mengganggu. Sebaliknya, tingginya laju produksi kalor dalam suatu kebakaran sangatlah berbahaya. Hal ini disebabkan karena tingginya laju produksi kalor dapat menyebabkan meningkatnya temperatur dan besarnya fluks kalor yang terjadi, hal yang demikian dapat mematikan bagi penghuni dalam suatu kondisi kebakaran.

Laju produksi kalor dapat diukur menggunakan cone calorimeter. Cone calorimeter merupakan alat uji skala laboratorium untuk mengukur laju produksi kalor (Heat Release Rate / HRR), waktu nyala (ignition time), laju pengurangan massa (mass loss rate) dan produksi asap dari produk-produk bangunan [ASTM E 1354, 1997].

Metode yang digunakan dalam pengukuran laju produksi kalor menggunakan cone calorimeter adalah teknik pengukuran konsumsi oksigen. Metode ini berdasarkan fakta bahwa kalor pembakaran dari bahan bakar secara umum adalah konstan jika dihubungkan dengan konsumsi oksigen. Teknik pengukuran laju produksi kalor berdasarkan konsumsi oksigen mengacu kepada prinsip dasar bahwa panas yang dilepaskan per unit oksigen yang dibutuhkan adalah kurang lebih sama untuk bahan bakar organik umum yang sering ditemui dalam kebakaran, dengan nilai sebesar 13.1 kJ/g O₂.

Apabila proses pembakaran terjadi secara sempurna (dalam hal ini produk pembakarannya hanya uap air dan karbondioksida), maka laju produksi kalor dapat dihitung dengan persamaan

$$\dot{Q}_c = (0.21 - \eta_{O_2}) \cdot V \cdot 10^3 \cdot \rho_{O_2} \cdot \Delta H_{C,OX} \quad (2.20)$$

dimana \dot{Q}_c adalah laju produksi kalor (kW), V merupakan aliran volumetric udara (m³/s), ρ_{O_2} massa jenis oksigen (kg/m³) pada temperatur dan tekanan normal, serta

η_{O_2} fraksi mol oksigen. Bila diketahui besarnya laju penurunan massa dari bahan bakar maka laju produksi kalor dapat dihitung dengan :

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_f \cdot \Delta H_c \quad (2.21)$$

Tabel 2.1 Kalor pembakaran dari beberapa bahan bakar pada 25° C (298K)

		$-\Delta H_c$ (kJ/mol)	$-\Delta H_c$ (kJ/g)	$-\Delta H_{c,air}$ (kJ/g(air))	$-\Delta H_{c,ox}$ (kJ/g(O ₂))
Carbon monoxide	CO	283	10.10	4.10	17.69
Methane	CH ₄	800	50.00	2.91	12.54
Ethane	C ₂ H ₆	1423	47.45	2.96	11.21
Ethene	C ₂ H ₄	1411	50.35	3.42	14.74
Ethyne	C ₂ H ₂	1253	48.20	3.65	15.73
Propane	C ₃ H ₈	2044	46.45	2.97	12.80
n-Butane	n-C ₄ H ₁₀	2650	45.69	2.97	12.80
n-Pentane	n-C ₅ H ₁₂	3259	45.27	2.97	12.80
n-Octane	n-C ₈ H ₁₈	5104	44.77	2.97	12.80
c-Hexane	c-C ₆ H ₁₂	3680	43.81	2.97	12.80
Benzene	C ₆ H ₆	3120	40.00	3.03	13.06
Methanol		635	19.83	3.07	13.22
Ethanol	C ₂ H ₅ OH	1232	26.78	2.99	12.88
Acetone		1786	30.79	3.25	14.00
D-Glucose	C ₆ H ₁₂ O ₆	2772	15.4	3.08	13.27
Cellulose		--	16.09	3.15	13.59
Polyethylene		--	43.28	2.93	12.65
Polypropylene		--	43.31	2.94	12.66
Polystyrene		--	39.85	3.01	12.97
Polyvinylchloride		--	16.43	2.98	12.84
Polymethylacrylate		-	24.89	3.01	12.98
Polyacrylonitrile		-	30.80	3.16	13.61
Polyoxymethylene		---	15.46	3.36	14.50
Polycarbonate		--	29.72	3.04	13.12
Nylon 6.6		--	29.58	2.94	12.67

An Introduction to Fire Dynamics 2nd Ed. page 19, Dougal Drysdale. 2003

II.4 PENYEBARAN API PADA BENDA PADAT

Tidak seperti kolam api, orientasi permukaan benda padat bisa diubah-ubah, yang tentunya dapat memberi pengaruh yang signifikan terhadap perilaku api. Secara umum, permukaan padat dapat terbakar dengan sudut orientasi berapapun, namun penyebaran api akan sangat cepat bila terbakar pada permukaan benda padat yang vertikal. Sesuai tabel di bawah, dapat dilihat bahwa semakin besar sudut orientasi semakin cepat pula kecepatan dari penyebaran api. Perlu diketahui bahwa sudut

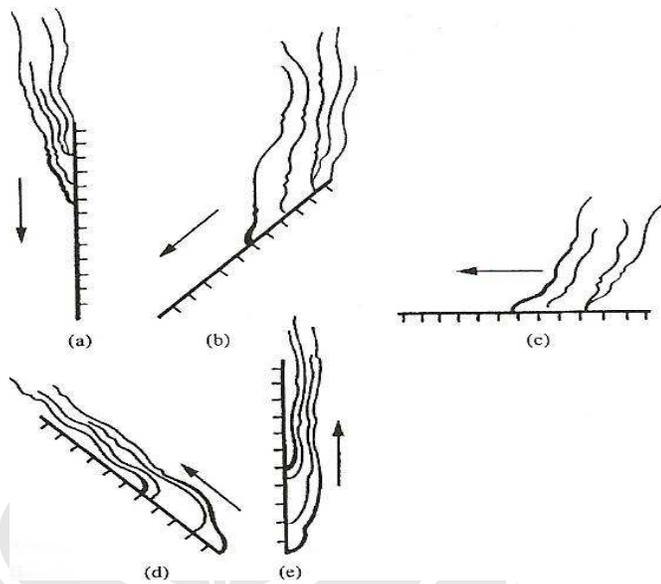
orientasi merupakan sudut yang terbentuk antara permukaan benda padat dengan garis horizontal, dimana sudut 0° berarti permukaan horizontal dan sudut 90° berarti permukaan vertikal.

Tabel 2.2 Kecepatan penyebaran api ke atas dari secarik kertas

Orientasi ($^\circ$)	Kecepatan penyebaran api (mm/s)
0 (horizontal)	3.6
22.5	6.3
45	11.2
75	29.2
90 (vertikal)	46 - 74

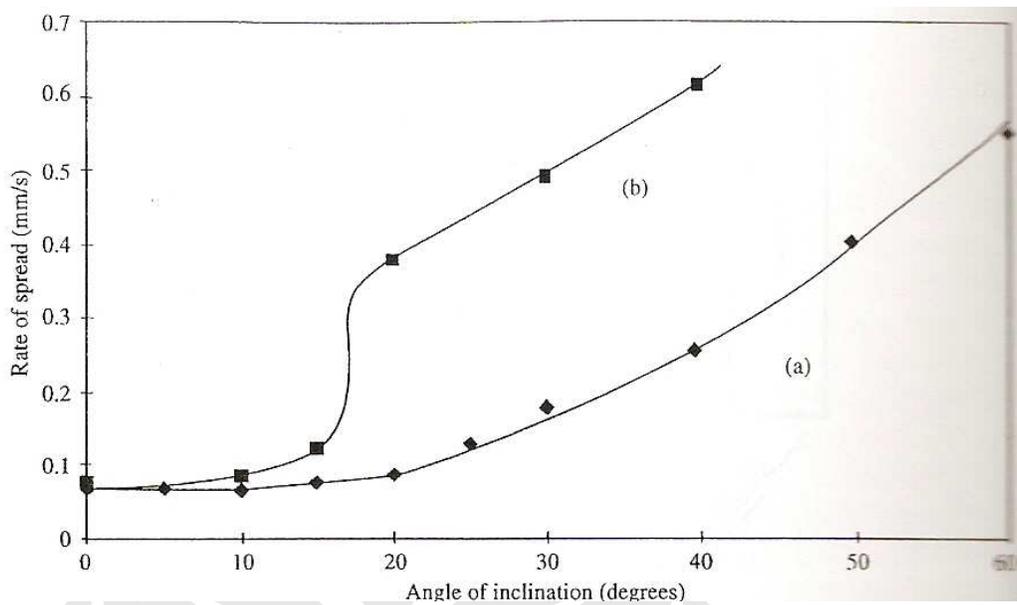
Sumber : Holman, *Perpindahan kalor*, 1992

Arah dari perambatan api juga menentukan kecepatan penyebaran api. Penyebaran api ke bawah akan lebih lambat dibanding penyebaran api ke atas. Alasannya dapat dijelaskan berdasarkan interaksi fisik yang terjadi antara lidah api dengan bahan bakar yang belum terbakar yang dapat berubah ketika orientasinya berubah. Untuk penyebaran api ke bawah dan horizontal, penyebarannya disebut *counter-current*, sedangkan penyebaran ke atas disebut *concurrent*. Istilah *counter-current* menjelaskan peristiwa dimana terdapat aliran udara yang arahnya berlawanan dengan arah perambatan api, sedangkan *concurrent* sebaliknya, yaitu ketika adanya aliran udara yang searah dengan penyebaran api. Penyebaran api pada *concurrent* lebih cepat dibanding pada *counter-current*. Hal ini disebabkan karena pada *concurrent* lidah api dan udara panas mengalir ke arah yang sama, memberikan kontribusi panas ke daerah yang belum terbakar dan menyebabkan api mudah menjalar ke daerah tersebut.

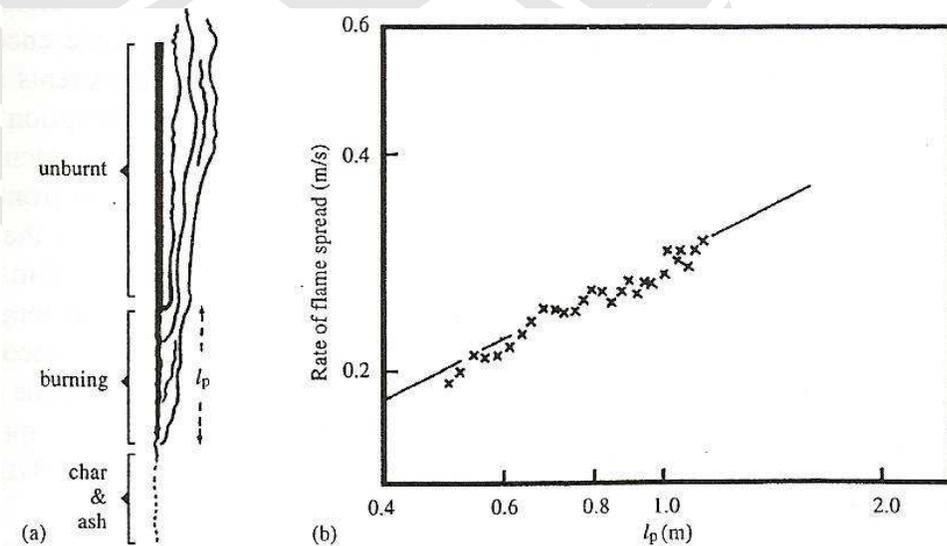


Gambar 2.6 Interaksi antara api yang menyebar dengan permukaan dari benda padat yang dapat terbakar (*combustible solid*) untuk berbagai sudut orientasi : (a) -90° ; (b) -45° (c) 0° ; (d) $+45^\circ$; (e) $+90^\circ$. (a), (b), dan (c) adalah penyebaran *counter-current* sedangkan (d), dan (e) penyebaran *concurrent* [8].

Untuk bahan bakar padat yang tebal (*thick*), peningkatan kecepatan penyebaran ke atas (*upward spread*) dapat dilihat hanya ketika orientasi dari permukaan diperbesar menjadi 15° - 20° . Kecepatan dari penyebaran api akan membesar secara signifikan jika aliran udara dari sisi samping dihalangi. Hal ini disadari setelah kejadian kebakaran dari eskalator kayu yang terjadi di stasiun bawah tanah di London tahun 1988. Fenomena ini disebut sebagai *trench effect*.

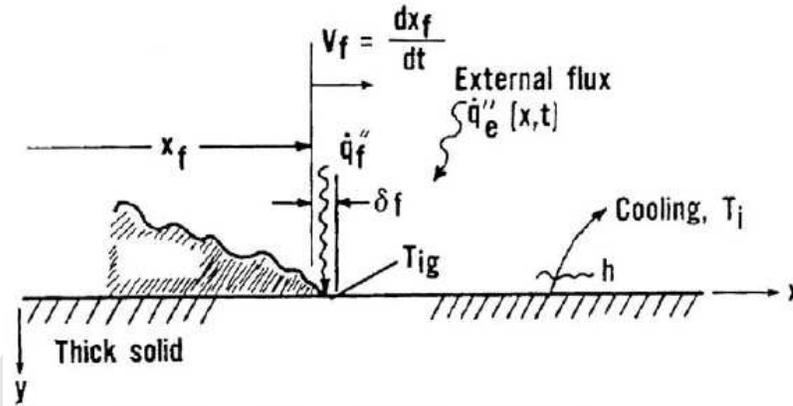


Gambar 2.7 Perbandingan kecepatan api pada permukaan yang dimiringkan. Sampel PMMA lebar 60mm. (a) tanpa pelindung tepi dan (b) dengan pelindung tepi [8].



Gambar 2.8 Penyebaran ke atas dari sepotong kain yang diposisikan vertikal (a) bagian-bagian dari sampel yang terbakar; (b) peningkatan kecepatan penyebaran sebanding dengan peningkatan panjang daerah *pyrolysis* (l_p). Sampel adalah kain katun sutra dengan lebar 0.457m panjang 1.524m dan densitasnya 103 g/m²[8].

Dari gambar di atas dapat terlihat bahwa kecepatan penyebaran api sebanding dengan panjang daerah *pyrolysis* (l_p), yaitu daerah dimana volatile dilepaskan. Model penyebaran api dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.9 Padatan yang sedang mengalami pembakaran [9]

Posisi dari flame front ditandai dengan x_f dimana temperatur permukaannya telah mencapai temperatur nyalanya (T_{ig}). Sampel dikenakan sumber panas external, \dot{q}_e'' dan api merambat ke arah kanan dengan kecepatan perambatan V_f . Kecepatan perambatan api, V_f didefinisikan sebagai

$$V_f = \frac{dx_f}{dt} \quad (2.22)$$

Jika nilai dari dx_f dan dt cukup besar dapat didekati dengan $\Delta x_f / \Delta t$. Dimana t ialah waktu ketika permukaan tersebut terbakar.

Telah cukup banyak *paper* yang membahas mengenai penyalaan atau penyebaran api pada benda padat. Diantaranya ialah Huynh (2003), Dwithasari (2004), Hietaniemi *et al* (2004), Soesanto (2006), dan Gratkowski (2006).

Huynh(2003) melakukan eksperimen untuk mendapatkan data kecepatan penyebaran api menggunakan Cone Calorimeter dengan berbagai jenis sampel kayu. Dwithasari (2004) melakukan eksperimen untuk mengetahui pengaruh ketebalan dan jenis material kayu terhadap laju produksi kalornya. Soesanto (2006) menunjukkan bahwa waktu penyalaan dapat dilihat berdasarkan kurva laju produksi kalornya, dan menyatakan bahwa waktu penyalaan untuk satu jenis kayu untuk berbagai ketebalan

tidak jauh berbeda. Ia juga menentukan besarnya flux kalor kritis pada sampel kayu Jati Belanda. Gratkowski (2006) menunjukkan bahwa kayu lapis berbahan dasar Maple mempunyai flux kalor kritis sebesar 7.5 kW/m^2 . Hietaniemi (2004) membandingkan hasil yang diperoleh dengan FDS dengan hasil dari eksperimental.

