

PREDIKSI TEMPERATUR KEBAKARAN RUANGAN BANGUNAN MENGUNAKAN MODEL BABRAUSKAS

The Use of Babrauskas Model for Prediction of Room Building Fire Temperature

Wahyu Sujatmiko

Pusat Litbang Litbang Perumahan dan Permukiman,
Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
Jl. Panyawungan Cileunyi Wetan, Kabupaten Bandung 40393
Surel: wahyu.s@puskim.pu.go.id

Diterima: 05 Januari 2017; Disetujui: 02 Februari 2017

Abstrak

Simulasi diperlukan untuk mengetahui pengaruh beban api terhadap susunan proteksi sistem pasif dan aktif bangunan. Masukan dari simulasi adalah beban api. Permasalahannya adalah data beban api yang umumnya berupa data dalam bentuk kg-kayu tidak dapat dipergunakan untuk masukan simulasi. Pada tulisan ini coba disampaikan upaya konversi beban api ke dalam kurva api menggunakan model api Babrauskas untuk melihat prospek penerapan di lapangan. Selanjutnya untuk validasi dilakukan komparasi hasil simulasi dengan data sekunder hasil eksperimen. Simulasi menggunakan perangkat lunak Fire Dynamic Simulator. Hasil komparasi memperlihatkan bahwa pada titik-titik interior bangunan (atau pada ruangan yang terbakar) dekat sumber api terjadi prediksi simulasi lebih tinggi sekitar 149°C sedangkan pada titik yang jauh dari pusat api prediksi simulasi lebih rendah 170°C. Adapun pada titik eksterior bangunan (atau pada fasad dinding luar di atas jendela ruangan yang terbakar) terjadi hasil prediksi simulasi lebih tinggi atau lebih rendah sampai maksimal 56°C. Dengan demikian konversi kg-kayu ke dalam kurva Babrauskas dapat dipergunakan dengan prediksi tingkat keparahan kebakaran secara umum mengingat keterbatasan alat ukur laju pelepasan panas ruangan di Indonesia, tetapi kurang tepat untuk prediksi yang membutuhkan perhitungan pendetilan.

Kata Kunci: Konversi beban api, kg-kayu, kurva api, model Babrauskas, Fire Dynamic Simulator

Abstract

Simulation is needed to determine the effect of fire load on the composition of active and passive systems of the building. Input from the simulation is the fire load. The problem is the fire load data that is generally in the form of kg-wood cannot be used for simulation input. In this paper an attempt was conducted to convert the fire load into fire curve, using Babrauskas fire model to see the prospects for implementation in the field. For validation, has made a comparison between the simulation with experimental results using secondary data. Simulation using Fire Dynamic Simulator software. The comparison showed that at the points on the interior of the building (or in the room on fire) occurs near the source of the fire happened is higher than predictive simulation about 149°C, while at a distant point from the center of the fire is lower than 170°C. While in the building exterior point (or at facade outside wall above the windows of the room were burned) the condition is higher or lower to a maximum of 56°C. Thus, the conversion of kg-wood into Babrauskas curve can be used to forecast the severity of fires in general to address the limited availability of measuring equipment for the heat-release rate-fires in Indonesia. However, predictions with Babrauskas approach is not appropriate for a design that requires more detailed calculations.

Keywords: Fire load conversion, kg-wood, fire curves, Babrauskas model, Fire Dynamic Simulator

PENDAHULUAN

Eksperimen terskala dan simulasi kebakaran diperlukan untuk saling melengkapi dalam mengetahui pengaruh beban api terhadap keparahan kebakaran ruangan oleh susunan sistem pasif dan

aktif bangunan. Kerrison, L dkk (1995) telah memulai menjembatani kedua aspek tersebut dengan membuat upaya validasi antara simulasi dengan eksperimental. Selanjutnya sejumlah eksperimen dan simulasi, baik bersama-sama

maupun terpisah terus dilakukan untuk mengetahui pengaruh beban api dalam penyebaran kebakaran tersebut, terutama dampaknya pada bangunan bertingkat seperti Rusunami. Secara eksperimental Permana (1998) memperlihatkan adanya pengaruh susunan bukaan terhadap penyebaran panas ke luar bangunan. Eksperimen selanjutnya oleh Kartawiharja (2000) memperlihatkan pengaruh kanopi dalam menahan penyebaran panas di luar ruangan yang terbakar. Untuk simulasi, komputasi numerik dari Chen dkk (2001) menunjukkan hasil bahwa susunan dan luas jendela pada bangunan bertingkat berpengaruh pada penyebaran asap dan panas. Penelitian lain secara eksperimental dengan dukungan komparasi dari formula teoritis dinamika kebakaran dilakukan oleh Chen (2012) dalam mengkaji pengaruh radiasi dari ruangan yang terbakar terhadap target dinding di depan jendela.

Pemodelan dan simulasi diperlukan agar variasi percobaan yang lebih banyak yang tidak dilakukan secara eksperimental dapat dilakukan sehingga dapat ditarik kesimpulan hasil yang lebih mantap. Untuk itu pada tulisan ini akan dilakukan upaya pemodelan dan simulasi terhadap eksperimen yang telah dilakukan Permana (1998). Permana melakukan eksperimen kebakaran terskala dengan beban api yang mewakili beban api rumah susun di Indonesia menurut hasil riset. Pusat Litbang Permukiman (Nugraha, dkk., 1995). Dengan beban api yang sama akan coba dilakukan pemodelan dan simulasi kebakaran. Di Indonesia pada umumnya untuk menilai potensi bahaya suatu unit hunian bangunan dilakukan kajian beban api. Beban api tersebut pada umumnya dikonversi ke nilai kesetaraan nilai kandungan kalor per kg kayu. Permasalahannya adalah nilai kg-kayu tersebut tidak dapat dilakukan sebagai masukan langsung simulasi kebakaran dengan komputer. Masukan untuk simulasi kebakaran membutuhkan model beban api. Perlu dilakukan upaya konversi dari nilai kg-kayu menjadi nilai kurva laju pelepasan panas yang setara.

Pengukuran kurva laju pelepasan panas di Indonesia dalam skala *room calorimeter* masih belum ada akibat keterbatasan peralatan laboratorium. Pada simulasi ini akan dilakukan pendekatan metode Babrauskas untuk formulasi kurva beban api sebagai masukan simulasi. Pada makalah ini disampaikan hasil komparasi besar temperatur kebakaran ruangan antara hasil eksperimen terskala dengan pemodelan menggunakan kurva api Brabauskas dengan data sekunder yang digunakan untuk validasi adalah eksperimen terskala yang dilakukan Permana pada tahun 1998 (tesis Permana, Arsitektur ITB) di Lab Api Pusat Litbang Permukiman PU. Model dengan pendekatan metode Babrauskas ini diharapkan dapat menjadi metode konversi cepat

dari kg-kayu ke kurva api untuk kondisi Indonesia saat ini dimana belum ada laboratorium api yang memiliki *room calorimeter*.

METODE

Pemodelan Beban Api

Untuk upaya konversi dari kg kayu ke kurva laju pelepasan panas, terdapat banyak pendekatan, salah satunya adalah metode Babrauskas yang dikenal sebagai kurva api segitiga untuk pemodelan api perabot (Janssens 2000). Janssens menyebutkan bahwa model ini barangkali kurang akurat, tapi dapat memberikan pendekatan generik. Model ini utamanya ditujukan untuk prediksi beban api perabot pada hunian rumah tinggal, seperti tempat tidur, kursi, sofa, dll. Formulasinya adalah:

a. *Pertama menghitung puncak kurva api dengan persamaan:*

$$\dot{Q}_{max} = 210 \cdot FF \cdot PF \cdot CM \cdot SF \cdot FC \dots\dots\dots (1)$$

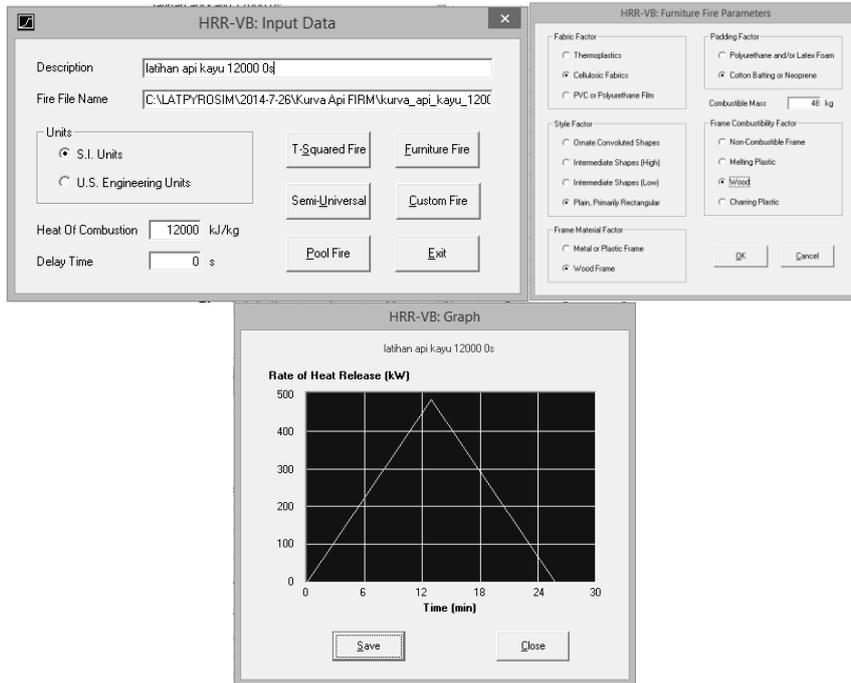
Dengan FF = faktor serat, 1,0 untuk serat termoplastik, 0,4 untuk serat selulosik, 0,25 untuk PVC atau lapisan penutup poliuretan. PF adalah faktor bahan pengisi, 1,0 untuk busa poliuretan dan sejenis, 0,4 untuk kapas dan sejenis. CM = massa bahan kombustibel, SF adalah faktor bentuk, dengan 1,5 bergelombang berhias, 1,2-1,3 bentuk sedang, dan 1,0 untuk bentuk persegi. FC = faktor kombustibiliti rangka, dengan 1,66 rangka non kombustibel, 0,58 rangka plastik yang meleleh, 0,30 kayu, dan 0,18 plastik yang menjadi arang.

b. *Kedua menghitung lebar bidang dasar segitiga atau lama waktu terbakar diestimasi dengan persamaan:*

$$t_b = \frac{FM \cdot CM \cdot \Delta h_e}{\dot{Q}_{max}} \dots\dots\dots (2)$$

dengan t_b = lama waktu nyala (detik), FM = faktor rangka material, 1,8 untuk logam atau plastik dan 1,3 untuk kayu. Δh_e = panas pembakaran efektif kayu.

Dengan formulasi tersebut pemodelan beban api eksperimen Permana dilakukan sebagai berikut: a. Pengisian beban api. Beban api Permana (1998) dan juga Kartawiharja (2000) menggunakan bahan bakar kayu tumpukan (*wood crib*) 48 kg yang mencerminkan beban api rumah susun di Indonesia 12 kg/m². Selanjutnya beban api tersebut coba dikonversikan ke formula Babrauskas dengan masukan FF = 0,4, PF = 0,4, SF = 1, FC = 0,3, dan massa kombustibel CM = 48 kg kayu, dengan menggunakan perangkat lunak FIRM dari M Janssens (2000) sebagaimana tertera pada Gambar 1.



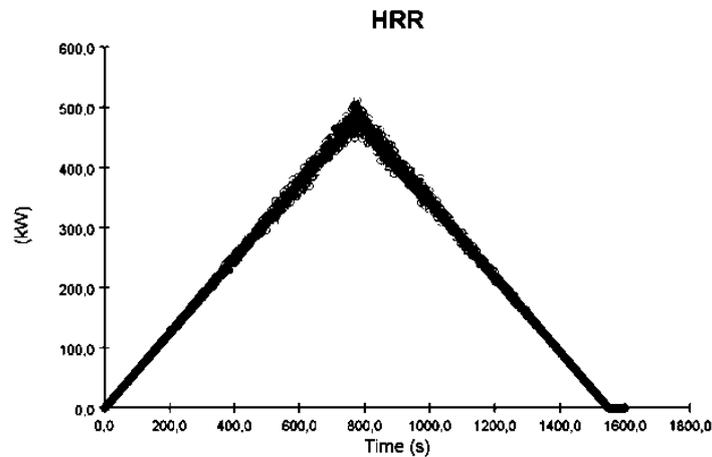
Gambar 1 Tampilan Masukan dan Hasil Kurva Api dari Upaya Konversi Beban Api Kg Kayu Ke Dalam Formula Babrauskas dengan Perangkat Lunak FIRM.

Hasil tersebut diterjemahkan dalam sebuah *script* untuk masukan perangkat lunak simulasi *Fire Dynamic Simulator* (FDS) dengan penetapan unsur-unsur yang mencakup:

- a). Obyek dasar api: &SURF ID= 'BURNER API 483', COLOR= 'RED', HRRPUA= 1935.2, RAMP_Q= 'BURNER API483_RAMP_Q'/'
- b). Kurva api: &RAMP ID= 'BURNER API483_RAMP_Q', T= 0.0, F= 0.0/&RAMP ID= 'BURNER API483_RAMP_Q', T= 774.0, F= 1.0/&RAMP ID= 'BURNER API483_RAMP_Q', T= 1548.0, F=0.0/

dan c). Peletakan api: &VENT SURF_ID= 'BURNER API 483', XB= 1.75,2.25,1.80,2.30,0.0,0.0/Vent BURNER Api483.

Keluaran kurva api hasil simulasi *FDS* disampaikan pada Gambar 2. Kurva tersebut merupakan kurva beban api terskala dari eksperimen Permana (1998) untuk suatu luas ruangan yang mencerminkan beban api 12 kg/m², dengan luas lantai bangunan eksperimen terskala 4 m² maka digunakan kayu 48 kg.

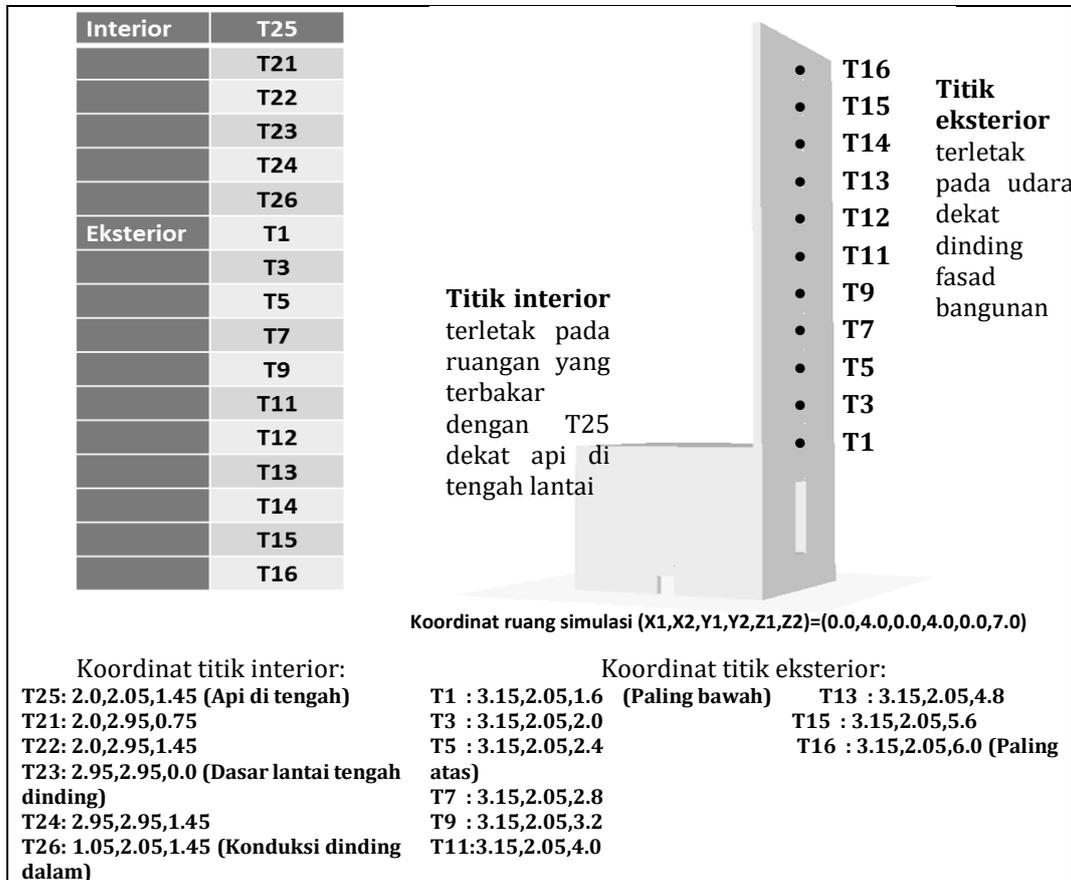


Gambar 2 Hasil Kurva Api Dalam Keluaran Simulasi Perangkat Lunak FDS

Pemodelan Eksperimen Permana

Model kurva api Babrauskas tersebut selanjutnya dipergunakan untuk mensimulasikan eksperimen

Permana dengan perangkat lunak FDS. Geometri model Permana dan letak titik ukur disampaikan pada Gambar 3.



Gambar 3 Titik-titik Ukur yang Dianalisis Komparasi Antara Simulasi dan Pengukuran Mengacu Data Ukur
Sumber: Permana (1998)

Metode Uji Komparasi Hasil Simulasi

Untuk pengamatan komparasi dinamika pertumbuhan kebakaran dari waktu ke waktu antara simulasi dengan eksperimen Permana maka dilakukan uji komparasi statistik yang akan dijelaskan berikut ini. Dilakukan pengamatan pada sejumlah titik interior dan eksterior bangunan dengan 3 variasi bukaan, yakni ukuran (dalam cm) dengan luasan sama 30x80, 49x49, dan 80x30. Pada makalah ini dikaji komparasi temperatur antara hasil eksperimen dengan hasil simulasi. Uji komparasi dilakukan dengan menggunakan uji *One-Way Analysis of Variance (ANOVA)* menggunakan formula dalam *spreadsheet ANOVA SINGLE FACTOR (One-way ANOVA)* MS Excel (Quirk, 2014).

Uji ANOVA dilakukan untuk melihat perbedaan dari rata-rata dari tiga atau lebih kelompok data. Dilakukan hipotesa nol dan hipotesa riset pada ketiga kasus ban di atas. Hipotesa nol menyatakan bahwa rata-rata populasi ketiga kelompok adalah sama, sedangkan hipotesa riset menyatakan bahwa

rata-rata populasi ketiga grup tidak sama dan karena itu terdapat perbedaan signifikan dari ketiga kelompok. Aturan keputusan dari uji F ANOVA adalah: jika $F < F\text{-crit}$ maka hipotesa nol diterima atau jika $F > F\text{-crit}$ maka tolak hipotesa nol dan terima hipotesa riset. Berdasarkan hasil uji ANOVA tersebut ditarik kesimpulan: karena $F > F\text{ crit}$ maka perbedaan A, B, dan C signifikan. Apabila sebaliknya maka tidak signifikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Pengukuran dan Simulasi

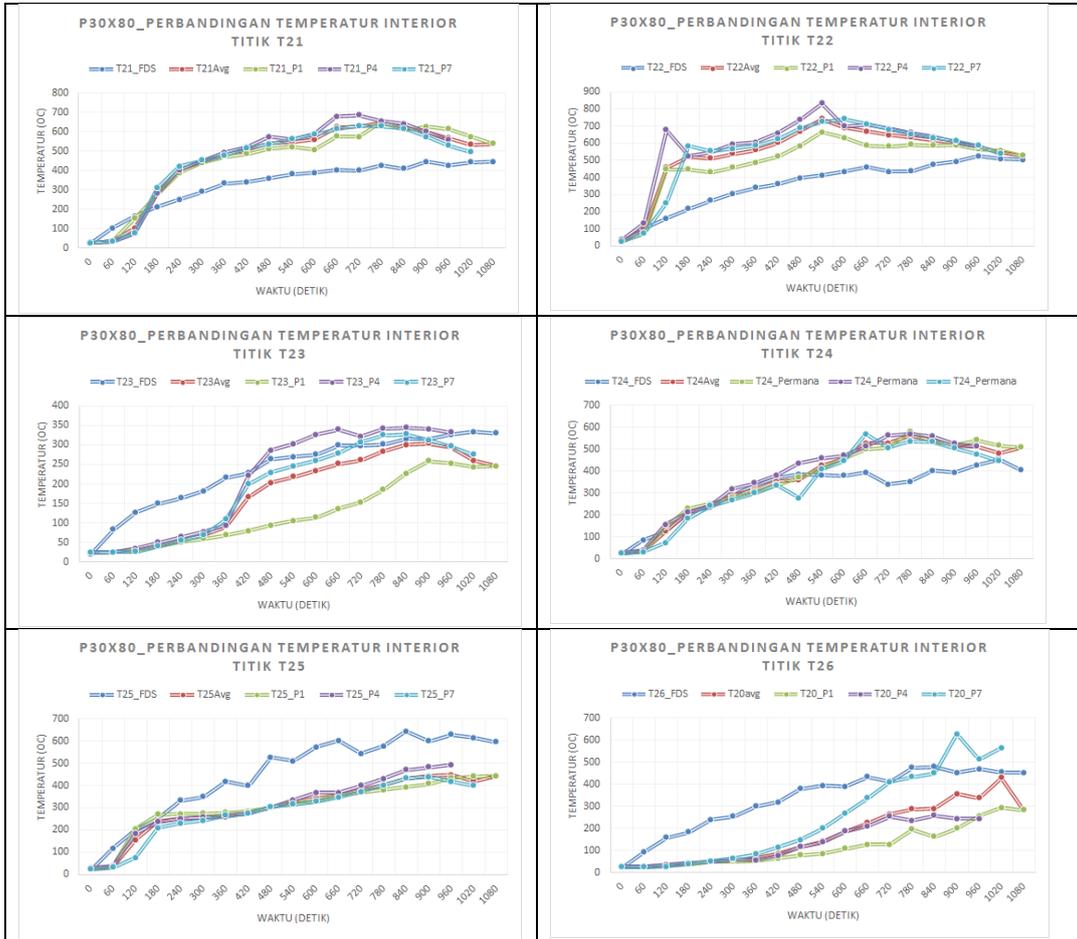
Pada Permana (1998) di peroleh data sekian titik dan pada simulasi juga sekian titik. Pertimbangan peringkasan halaman penyajian dilakukan penyampaikan titik-titik data sebagai berikut beserta denah lokasi disampaikan pada Gambar 3.

Hasil Komparasi

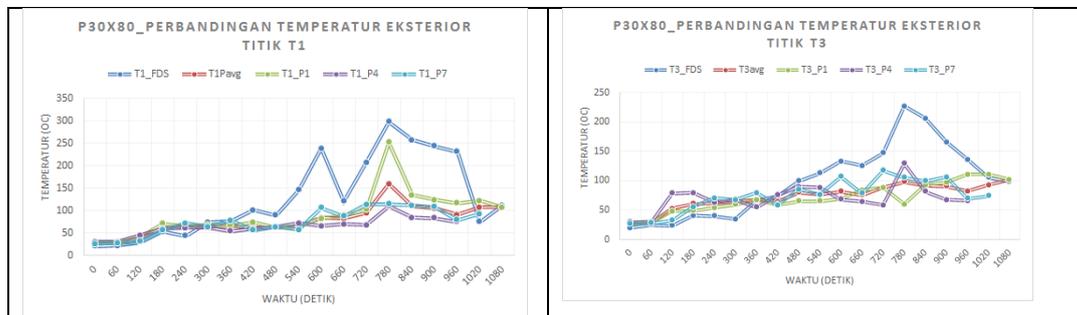
a. Hasil pada percobaan dengan bukaan ukuran 30 cm x80 cm (P30x80)

terskala, baik untuk titik interior (Gambar 4) maupun eksterior (Gambar 5)

Berikut disampaikan tampilan grafik hasil komparasi terhadap simulasi dan eksperimen



Gambar 4 Perbandingan Temperatur Interior Percobaan Bukaan 30x80



Gambar 5 Perbandingan Temperatur Eksterior Percobaan Bukaan 30x80



Gambar 5 (Lanjutan) Perbandingan Temperatur Eksterior Percobaan Bukaan 30x80

Selanjutnya berikut disampaikan hasil uji komparasi untuk bukaan 30x80 dengan data disampaikan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Untuk titik interior atau titik yang berada di dalam ruangan yang terbakar, perbedaan pertumbuhan signifikan terjadi pada titik 25 (di langit-langit di atas pusat api) dengan hasil rata-rata simulasi lebih tinggi 141,7°C, selanjutnya titik T21 dan T22. Titik T21 dan T22 ini juga berada di atas api tapi di dinding tepi (hasil simulasi masing-masing lebih rendah 129,8°C dan 178,6°C). Ada pun titik lainnya (T23, T24, dan T26) perbedaan dinamika pertumbuhan tidak signifikan dengan besar perbedaan masing-masing 60°C, -53,8°C, dan 74,5°C. Untuk titik eksterior pada fasad bangunan, perbedaan signifikan terjadi pada titik paling bawah

dekat bukaan (titik T1, rata-rata simulasi lebih tinggi 50°C) dan titik sebelah atas (T13, T15, dan T16 dengan rata-rata simulasi lebih rendah masing-masing 11,6°C, 12,4°C dan 10,7°C).

Dengan demikian dari data tersebut dapat disampaikan disini bahwa untuk titik dekat api baik posisi interior maupun eksterior terjadi rata-rata simulasi lebih tinggi, sedangkan agak jauh dari api lebih rendah.

Besar temperatur pada masing-masing kelompok disampaikan Tabel 2.

Tabel 1 Hasil Komparasi Dinamika Pertumbuhan Kebakaran untuk Bukaannya 30x80

No	Variasi	Lokasi	Titik	Grup	Hasil Statistik		Keterangan Kondisi Perbedaan
					F	F crit	
1	P30x80	Interior	T25	P1, P4, P7	0,18	3,18	Tidak signifikan
				AvgP147, FDS	7,4	4,11	Signifikan
2			T21	P1, P4, P7	0,01	3,18	Tidak signifikan
				AvgP147, FDS	5,79	4,1	Signifikan
3			T22	P1, P4, P7	1,02	3,18	Tidak signifikan
				AvgP147, FDS	11	4,11	Signifikan
4		T23	P1, P4, P7	2,52	3,18	Tidak signifikan	
			AvgP147, FDS	3,42	4,1	Tidak signifikan	
5		T24	P1, P4, P7	0,17	3,18	Tidak signifikan	
			AvgP147, FDS	1,2	4,1	Tidak signifikan	
6		T26	P1, P4, P7	4,22	3,18	Signifikan	
			AvgP147, FDS	13,37	4,1	Signifikan	
7		Eksterior	T1	P1, P4, P7	2,24	3,18	Tidak signifikan
				AvgP147, FDS	5,26	4,1	Signifikan
8			T3	P1, P4, P7	0,16	3,18	Tidak signifikan
				AvgP147, FDS	3,04	4,1	Tidak signifikan
9			T5	P1, P4, P7	0,33	3,18	Tidak signifikan
	AvgP147, FDS			0,6	4,1	Tidak signifikan	
10	T7		P1, P4, P7	1,12	3,18	Tidak signifikan	
			AvgP147, FDS	1,24	4,11	Tidak signifikan	
11	T9		P1, P4, P7	2,09	3,18	Tidak signifikan	
			AvgP147, FDS	0,3	4,1	Tidak signifikan	
12	T11		P1, P4, P7	1,65	3,18	Tidak signifikan	
			AvgP147, FDS	1,43	4,1	Tidak signifikan	
13	T12		P1, P4, P7	15,59	3,18	Signifikan	
			AvgP147, FDS	0,11	4,11	Tidak signifikan	
14	T13		P1, P4, P7	1,9	3,18	Tidak signifikan	
			AvgP147, FDS	5,88	4,1	Signifikan	
15	T14	P1, P4, P7	8,89	3,18	Signifikan		
		AvgP147, FDS	3,58	4,1	Tidak signifikan		
16	T15	P1, P4, P7	2,5	3,18	Tidak signifikan		
		AvgP147, FDS	9,9	4,1	Signifikan		
17	T16	P1, P4, P7	2,55	3,18	Tidak signifikan		
		AvgP147, FDS	8,9	4,11	Signifikan		

Tabel 2 Hasil Rata-rata Temperatur dan Selisih untuk Variasi Bukaannya 30x80

Lokasi	Titik	Besar Temperatur Rata-rata (°C)					Selisih Temperatur (°C)	
		P1	P4	P7	AvgP147	FDS	FDS -AvgP147	
Interior	T25	306,4	304,2	283,4	305,2	446,9	141,7	
	T21	451,0	460,1	449,0	457,5	327,8	-129,8	
	T22	492,2	584,1	546,6	539,0	360,5	-178,6	
	T23	125,6	207,4	189,0	176,6	236,6	60,0	
	T24	370,3	371,7	341,4	368,3	314,6	-53,8	
	T26	117,9	132,2	242,8	172,8	247,3	74,5	
Eksterior	T1	89,1	63,9	74,3	77,8	127,9	50,0	
	T3	70,3	70,1	74,2	73,0	98,9	25,9	
	T5	73,0	68,8	75,7	74,2	83,8	9,6	
	T7	62,7	54,8	61,5	61,2	72,6	11,3	
	T9	58,1	57,3	68,3	62,2	67,1	4,9	
	T11	62,1	53,0	61,2	60,1	52,5	-7,6	
	T12	32,3	70,9	37,3	45,8	47,7	1,9	
	T13	58,0	49,4	56,3	55,6	44,0	-11,6	
	T14	41,7	60,7	46,7	49,6	41,6	-8,0	
	T15	54,9	46,3	52,5	52,2	39,7	-12,4	
	T16	51,9	44,1	49,1	49,2	38,5	-10,7	

b. Hasil pada percobaan dengan bukaan ukuran 49 cm x49 cm (P49x49)

Untuk menghemat halaman grafik tidak ditampilkan, tetapi langsung ditampilkan hasil uji statistik pada Tabel 3 dan hasil selisih disampaikan pada Tabel 4. Selanjutnya berikut disampaikan hasil uji komparasi untuk bukaan 49x49. Untuk titik interior atau titik yang berada di dalam ruangan yang terbakar, perbedaan pertumbuhan signifikan terjadi pada titik 25 (di langit-langit di atas pusat api) dengan hasil rata-rata simulasi lebih tinggi 141,6°C, selanjutnya titik T21, T22, dan T26. Titik T21 dan T22 ini juga berada di atas api tapi di dinding tepi (hasil simulasi masing-masing lebih rendah 132,7°C dan 178, °C).

Ada pun titik lainnya (T26) lebih tinggi 118,7. Ada pun titik lainnya T23 dan T24 perbedaan dinamika pertumbuhan tidak signifikan dengan besar perbedaan masing-masing 36,7 °C dan -63,8 °C. Untuk titik eksterior pada fasad bangunan, perbedaan signifikan terjadi pada titik paling bawah dekat bukaan (titik T1, rata-rata simulasi lebih tinggi °C) dan titik sebelah atas (T9, T11, T13, T14, T15, dan T16 dengan rata-rata simulasi lebih rendah masing-masing 18,8°C, 19,3 °C, 18,9°C, 12,2°C, 17,3°C, dan 14,4°C).

Dengan demikian dari data di atas dapat disampaikan di sini bahwa agak serupa dengan bukaan 30x80 untuk titik dekat api baik posisi interior maupun eksterior terjadi rata-rata simulasi lebih tinggi, sedang agak jauh dari api lebih rendah.

Tabel 3 Hasil Komparasi Dinamika Pertumbuhan Kebakaran untuk Bukaan 49x49

No	Variasi	Lokasi	Titik	Grup	Hasil Statistik		Keterangan Kondisi Perbedaan
					F	F crit	
1	P49x49	Interior	T25	P3, P6, P8	0,11	3,18	Tidak signifikan
				AvgP368, FDS	7,34	4,11	Signifikan
2			T21	P3, P6, P8	0,02	3,18	Tidak signifikan
				AvgP368, FDS	5,72	4,11	Signifikan
3			T22	P3, P6, P8	0,04	3,18	Tidak signifikan
				AvgP368, FDS	12,62	4,11	Signifikan
4			T23	P3, P6, P8	0	3,18	Tidak signifikan
				AvgP368, FDS	1,05	4,11	Tidak signifikan
5			T24	P3, P6, P8	0,29	3,19	Tidak signifikan
				AvgP368, FDS	1,72	4,11	Tidak signifikan
6			T26	P3, P6, P8	0,3	3,18	Tidak signifikan
				AvgP368, FDS	5,98	4,15	Signifikan
7		Eksterior	T1	P3, P6, P8	0,48	3,18	Tidak signifikan
				AvgP368, FDS	3,64	4,11	Tidak signifikan
8			T3	P3, P6, P8	0,14	3,18	Tidak signifikan
				AvgP368, FDS	0	4,11	Tidak signifikan
9			T5	P3, P6, P8	0,2	3,18	Tidak signifikan
				AvgP368, FDS	3,36	4,11	Tidak signifikan
10			T7	P3, P6, P8	0,31	3,18	Tidak signifikan
				AvgP368, FDS	1,41	4,11	Tidak signifikan
11			T9	P3, P6, P8	1,25	3,18	Tidak signifikan
				AvgP368, FDS	5,29	4,11	Signifikan
12			T11	P3, P6, P8	0,97	3,18	Tidak signifikan
				AvgP368, FDS	10,19	4,11	Signifikan
13			T12	P3, P6, P8	7,45	3,21	Signifikan
				AvgP368, FDS	1,65	4,11	Tidak signifikan
14			T13	P3, P6, P8	0,76	3,18	Tidak signifikan
				AvgP368, FDS	13,99	4,11	Signifikan
15			T14	P3, P6, P8	3,54	3,19	Signifikan
				AvgP368, FDS	4,99	4,11	Signifikan
16			T15	P3, P6, P8	1,27	3,19	Tidak signifikan
				AvgP368, FDS	15,85	4,11	Signifikan
17			T16	P3, P6, P8	0,56	3,18	Tidak signifikan
				AvgP368, FDS	13,68	4,11	Signifikan

Tabel 4 Hasil Rata-rata Temperatur untuk Variasi Bukaannya 49x49

Lokasi	Besar Temperatur Rata-rata (°C)					Selisih Temperatur (°C)	
	Titik	P3	P6	P8	AvgP368	FDS	FDS-AvgP147
Interior	T25	303,9	295,0	283,1	305,6	447,3	141,6
	T21	450,4	465,0	461,8	467,6	334,9	-132,7
	T22	577,1	570,3	557,5	570,9	369,2	-201,7
	T23	194,1	192,1	195,3	204,2	240,9	36,7
	T24	410,1	370,0	374,6	374,6	310,8	-63,8
Eksterior	T26	150,7	166,4	184,8	186,7	305,4	118,7
	T1	89,1	83,2	77,5	84,0	121,2	37,2
	T3	90,7	84,9	86,8	88,1	88,2	0,1
	T5	89,1	83,6	90,2	87,9	68,7	-19,2
	T7	70,1	66,8	72,2	70,7	60,9	-9,8
	T9	75,2	68,6	82,3	76,3	57,5	-18,8
	T11	67,3	61,9	70,9	67,7	48,4	-19,3
	T12	70,0	58,6	34,2	53,0	44,6	-8,4
	T13	61,5	57,1	63,7	61,6	42,7	-18,9
	T14	63,6	60,2	47,1	55,8	43,6	-12,2
	T15	56,1	53,5	60,4	57,1	39,9	-17,3
T16	53,0	50,5	54,6	53,4	38,9	-14,4	

c. Hasil pada percobaan dengan bukaan ukuran 80 cm x 30 cm (P80x30)

Untuk menghemat halaman grafik tidak ditampilkan, tetapi langsung ditampilkan hasil uji statistik pada Tabel 5 dan hasil selisih disampaikan pada Tabel 6.

Selanjutnya berikut disampaikan hasil uji komparasi untuk bukaan 80x30. Untuk titik interior atau titik yang berada di dalam ruangan yang terbakar, perbedaan pertumbuhan signifikan terjadi pada titik 25 (di langit-langit di atas pusat api) dengan hasil rata-rata simulasi lebih tinggi 116,3°C, selanjutnya titik T22 yang juga berada di atas api tapi di dinding tepi (hasil simulasi masing-masing lebih rendah 157,6°C). Titik 21 juga memiliki karakter yang sama, lebih rendah 123,9°C. Ada pun titik-titik lainnya

(T23, T24, dan T26) tidak signifikan perbedaan dinamika pertumbuhan tidak signifikan dengan besar perbedaan masing-masing 37,7°C, -20,9°C, dan 53,0°C. Untuk titik eksterior pada fasad bangunan, perbedaan signifikan terjadi pada titik-titik yang agak menyebar (T3, T5, T9, T11, T13, T15, dan T16 dengan rata-rata simulasi lebih rendah masing-masing 51,3°C, 56,3°C, 45,2°C, 44,7°C, 36,7°C, 30,8°C dan 27,3°C).

Dengan demikian dari data tersebut kiranya dapat disampaikan bahwa serupa dengan pada bukaan 30x80 dan 49x49 untuk titik dekat api baik posisi interior maupun eksterior terjadi rata-rata simulasi lebih tinggi, sedang agak jauh dari api lebih rendah.

Tabel 5 Hasil Komparasi Dinamika Pertumbuhan Kebakaran untuk Bukaannya 80x30

No	Variasi	Lokasi	Titik	Grup	Hasil Statistik		Keterangan Kondisi Perbedaan
					F	F crit	
1	P80x30	Interior	T25	P2, P5, P9 AvgP259, FDS	0,05	3,19	Tidak signifikan
					4,34	4,2	Signifikan
2			T21	P2, P5, P9 AvgP259, FDS	0,2	3,2	Tidak signifikan
					3,13	4,15	Tidak signifikan
3			T22	P2, P5, P9 AvgP259, FDS	1,75	3,2	Tidak signifikan
					5,28	4,2	Signifikan
4			T23	P2, P5, P9 AvgP259, FDS	2,67	3,2	Tidak signifikan
					1,69	4,15	Tidak signifikan
5			T24	P2, P5, P9 AvgP259, FDS	0,29	3,19	Tidak signifikan
					0,01	4,15	Tidak signifikan
6			T26	P2, P5, P9 AvgP259, FDS	0,01	3,19	Tidak signifikan
					1,34	4,15	Tidak signifikan

Tabel 5 (Lanjutan) Hasil Komparasi Dinamika Pertumbuhan Kebakaran untuk Bukaannya 80x30

No	Variasi	Lokasi	Titik	Grup	Hasil Statistik		Keterangan Kondisi Perbedaan
					F	F crit	
7		Eksterior	T1	P2, P5, P9	0,68	3,19	Tidak signifikan
				AvgP259, FDS	0,25	4,15	Tidak signifikan
8		Eksterior	T3	P2, P5, P9	0,87	3,19	Tidak signifikan
				AvgP259, FDS	7,4	4,15	Signifikan
9		Eksterior	T5	P2, P5, P9	0,48	3,21	Tidak signifikan
				AvgP259, FDS	12,79	4,15	Signifikan
10		Eksterior	T7	P2, P5, P9	0,52	3,2	Tidak signifikan
				AvgP259, FDS	7,7	4,15	Signifikan
11		Eksterior	T9	P2, P5, P9	1,53	3,2	Tidak signifikan
				AvgP259, FDS	13,79	4,2	Signifikan
12		Eksterior	T11	P2, P5, P9	0,78	3,2	Tidak signifikan
				AvgP259, FDS	16,57	4,15	Signifikan
13		Eksterior	T12	P2, P5, P9	2,86	3,35	Tidak signifikan
				AvgP259, FDS	4,01	4,17	Tidak signifikan
14		Eksterior	T13	P2, P5, P9	0,91	3,19	Tidak signifikan
				AvgP259, FDS	17,51	4,15	Signifikan
15		Eksterior	T14	P2, P5, P9	0,48	3,23	Tidak signifikan
				AvgP259, FDS	0,23	4,15	Tidak signifikan
16		Eksterior	T15	P2, P5, P9	1,18	3,19	Tidak signifikan
				AvgP259, FDS	17,9	4,15	Signifikan
17		Eksterior	T16	P2, P5, P9	1,59	3,19	Tidak signifikan
				AvgP259, FDS	18,4	4,15	Signifikan

Tabel 6 Hasil Rata-Rata Temperatur untuk Variasi Bukaannya 80x30

Lokasi	Titik	Besar Temperatur Rata-rata (°C)					Selisih Temperatur (°C)	
		P2	P5	P9	AvgP259	FDS	FDS-AvgP147	
Interior	T25	258,7	272,2	268,9	266,6	382,9	116,3	
	T21	406,8	455,3	439,3	433,8	309,9	-123,9	
	T22	421,3	562,4	521,6	501,7	343,8	-157,9	
	T23	126,0	190,0	236,5	184,2	221,9	37,7	
	T24	302,1	346,3	308,8	319,1	298,2	-20,9	
	T26	251,1	246,0	258,3	251,8	304,8	53,0	
Eksterior	T1	116,6	138,0	131,8	128,8	109,7	-19,1	
	T3	122,2	148,3	138,9	136,5	85,2	-51,3	
	T5	118,1	137,3	139,8	135,1	78,8	-56,3	
	T7	118,9	103,1	100,8	107,5	65,9	-41,6	
	T9	89,4	113,8	112,7	106,5	61,3	-45,2	
	T11	107,6	91,1	90,9	96,5	51,8	-44,7	
	T12	42,8	40,8	30,6	37,4	48,2	10,8	
	T13	91,1	78,0	76,7	81,9	45,2	-36,7	
	T14	51,4	44,9	46,6	47,6	43,8	-3,9	
	T15	81,0	68,5	68,5	72,7	41,8	-30,8	
	T16	75,0	62,7	62,6	66,8	39,5	-27,3	

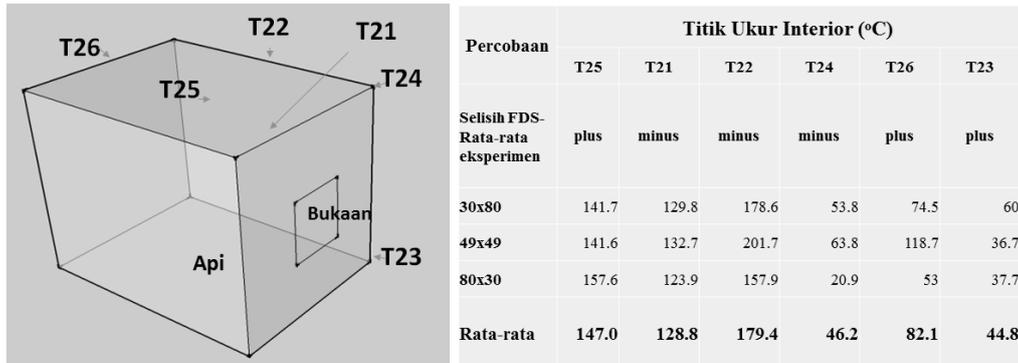
Dari ketiga eksperimen tersebut, untuk titik interior dekat api tepat di langit-langit di atas api) yakni titik T25 hasil simulasi pada ketiga kasus bukaan (30x80, 49x49, 80x30) selalu lebih tinggi, yakni masing-masing 141,7°C, 141,6°C, dan 157,6°C (rata-rata 147°C). Untuk titik di tepi dinding dengan ketinggian

setengah tinggi ruangan (T21) dan langit-langit (T22) selalu dihasilkan temperatur lebih rendah (yakni untuk T21 masing-masing 129,8°C, 132,7°C, dan 123,9°C (rata-rata 128.8), T22 178,6°C, 201,7°C, dan 157,9°C (rata-rata 179,4). Titik titik lain T24 pada dinding di atas bukaan beda tidak signifikan

(masing-masing lebih rendah 53,8, 63,8, dan 20,9 (rata-rata 46,2).

Adapun titik konduksi (T26) beda dinamika tidak signifikan, meski hasil simulasi selalu lebih tinggi, yakni 74,5°C, 118,7°C, dan 53,0°C (rata-rata 82,1).

Ada pun untuk titik di atas lantai pada pojok dinding di bawah bukaan (T23) lebih tinggi 60 °C, 36,7 °C, dan 37,7°C (rata-rata 44,8). Ringkasan posisi dan rata-rata disampaikan pada Gambar 6.



Gambar 6 Posisi Peletakan Titik Ukur dan Hasil Selisih Temperatur pada Titik Interior

Tabel 7 Hasil Selisih Temperatur Eksterior Antara Simulasi Dengan Eksperimen

Titik Ukur Eksterior	Selisih Temperatur (°C) pada percobaan		
	30x80	49x49	80x30
T1	50,0	37,2	-19,1
T3	25,9	0,1	-51,3
T5	9,6	-19,2	-56,3
T7	11,3	-9,8	-41,6
T9	4,9	-18,8	-45,2
T11	-7,6	-19,3	-44,7
T12	1,9	-8,4	10,8
T13	-11,6	-18,9	-36,7
T14	-8,0	-12,2	-3,9
T15	-12,4	-17,3	-30,8
T16	-10,7	-14,4	-27,3

Untuk kondisi titik ukur eksterior, data selisih keseluruhan disampaikan pada Tabel 7. Terlihat selisih prediksi temperatur hasil simulasi dapat lebih atau kurang dipengaruhi oleh bentuk bukaan. Sesuai kajian literatur (Permana 1998, Chen 2000) bentuk bukaan mempengaruhi kondisi keluaran api. Namun secara keseluruhan, apabila dilihat hasil akhir beda temperatur, terlihat selisih maksimum (lebih kecil atau lebih besar antara simulasi dengan eksperimen) terlihat lebih rendah dibandingkan untuk kondisi pada kebakaran di ruang dalam.

Secara umum dapat disampaikan di sini bahwa pendekatan Babrauskas dapat dipergunakan untuk masukan konversi kurva api untuk simulasi dengan rentang keakuratan yang lebar. Barangkali karena

tidak dapat mendekati perilaku kurva api yang nyata dari kayu, namun dapat dipergunakan untuk pertimbangan praktis prediksi umum keparahan kebakaran. Hal ini untuk mengatasi kondisi Indonesia yang belum memiliki laboratorium uji kurva pelepasan panas skala ruangan.

KESIMPULAN

Kesimpulan

Konversi beban api dengan formulasi Babrauskas dapat digunakan sebagai pendekatan untuk masukan simulasi FDS memberikan hasil rentang lebar untuk kondisi titik ukur interior (mencapai selisih kurang dan lebih 170°C) dan agak lebih

rendah pada titik interior (maksimum kurang lebih 56°C). Dengan demikian prediksi tingkat keparahan dari kg kayu ke dalam kurva api Babrauskas dapat dipergunakan sebagai tinjauan umum proteksi untuk mengatasi ketiadaan alat uji kurva api ukuran ruangan di Indonesia. Namun untuk perhitungan perancangan detil, seperti penempatan alat detektor dan lain-lain, mengingat rentang yang lebar tersebut, perlu penggunaan kurva api yang lebih mendekati kondisi nyata.

Saran

Untuk pemantapan terhadap kemungkinan penerapan perlu dilakukan eksperimen dengan beragam variasi beban api dan ukuran geometri bangunan untuk melihat tingkat korelasi dari pendekatan Babrauskas tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Ir. Permana, MT. atas data eksperimen yang dipergunakan sebagai validasi terhadap hasil pemodelan dan simulasi ini.

DAFTAR PUSTAKA

Chen Weizhen Lu, Kwok Kit Yuen, Zheng Fang, Dahong, Siu Ming Lo. 2001. "A Numerical Study of the Effect of Window Configuration on the External Heat and Smoke Spread in Building Fire." *Numerical Heat Transfer: Part A: Applications* 40 (8): 821-39. Taylor & Francis

Kartawiharja, G. 2000. "Kajian Pengaruh Kanopi pada Selubung Bangunan terhadap Pola Pertumbuhan dan Penyebaran Kebakaran pada Bangunan Bertingkat". Tesis Magister Arsitektur ITB.

Cheng, Hao, and George V. Hadjisophocleous. 2012. "Experimental Study and Modelling of Radiation from Compartment Fires to Adjacent Buildings". *Fire Safety Journal* (53):43-62. Elsevier Science Limited

Janssens, Marc L. 2000. "An Introduction to Mathematical Fire Modeling". USA. : Technomic Publishing.

Kerrison, L., E. R. Galea, N. Hoffmann, and M. K. Patel. 1994. "A Comparison of a FLOW3D based Fire Field Model with Experimental Room Fire Data". *Fire Safety Journal* (23): 387-411. Elsevier Science Limited.

McGrattan, Kevin B., S. Hostikka, J. Floyd, dan R. McDermott. 2015. "Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide (Version 5), Vol 3: Validation - NIST Special Publication 1018-5". NIST.

McGrattan, Kevin B., S. Hostikka, J. Floyd, Howard Baum, R. Rehm, W. Mell, dan R. McDermott. 2015. *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide (Version 5), Vol 1: Mathematical Model - NIST Special Publication 1018-5*, NIST.

Nugraha B. R. (Ketua Tim). 1995. "Penelitian Beban Api pada Bangunan Bertingkat di Indonesia – Studi Kasus pada Rumah Susun". Laporan Akhir APBN Tahun Anggaran 1994/1995. Pusat Litbang Permukiman-Balitbang PU.

Permana. 1998. "Kajian Pengaruh Bukaannya Terhadap Pertumbuhan Kebakaran Ruangan dengan Percobaan Terskala". Tesis Magister Arsitektur ITB.

Quirk, Thomas J. 2014. "Excel 2010 for Engineering Statistics, a Guide to Solving Practical Problems".