

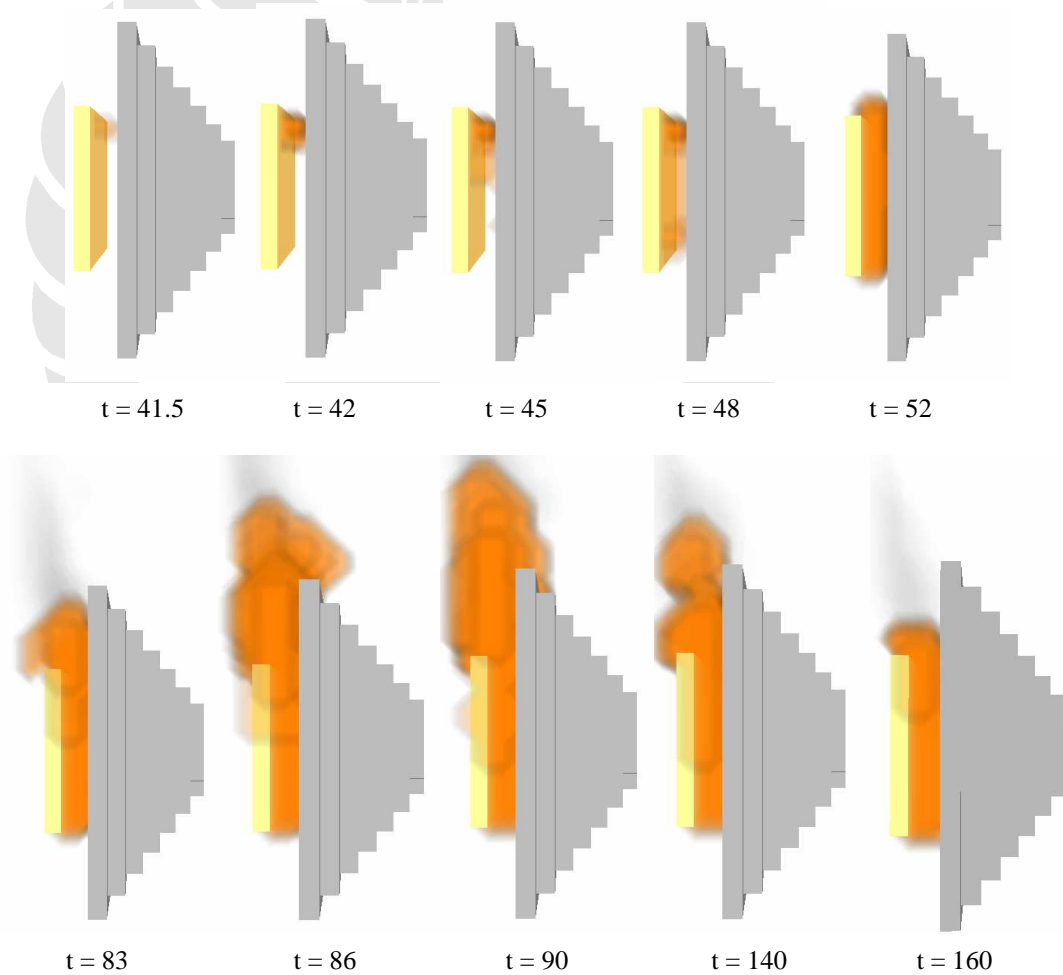
BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Hasil yang didapat dari pemodelan pembakaran sampel kayu menggunakan FDS5 secara umum terdiri dari beberapa bagian, yaitu :

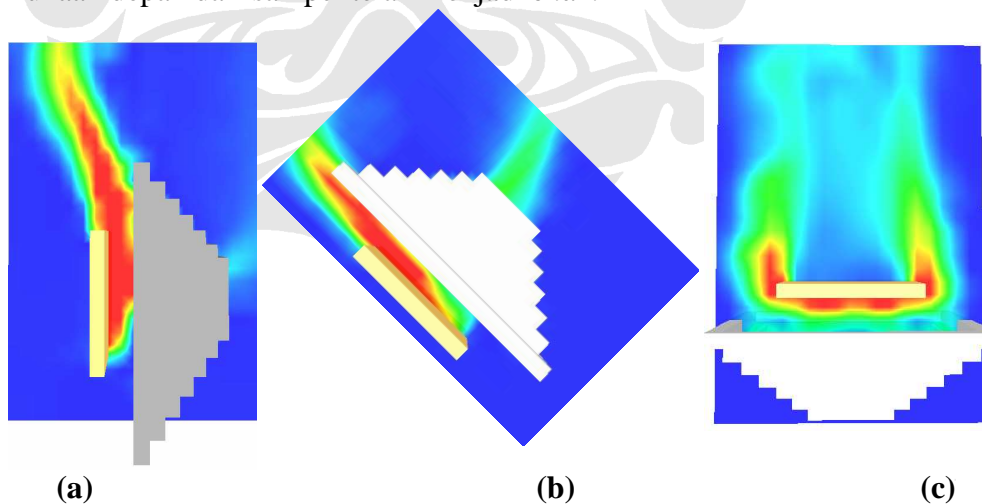
- Pengamatan visual
- Analisa waktu penyalaan (*Time to Ignition*)
- Kecepatan penyebaran api

IV.1 PENGAMATAN VISUAL



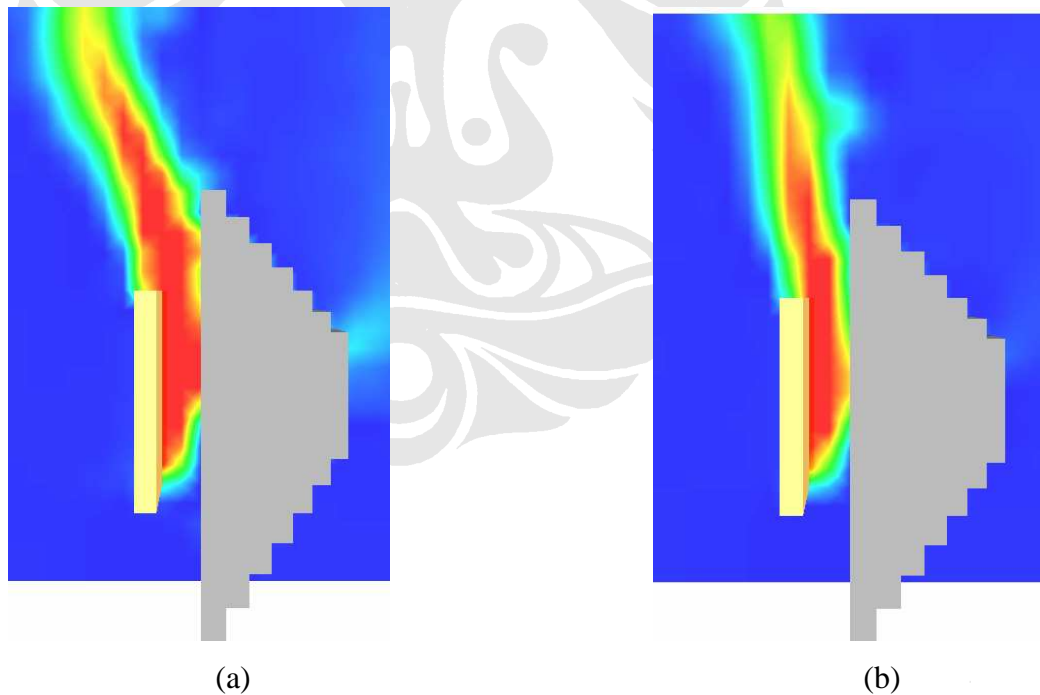
Gambar 4.1 Visualisasi dari penyalaan dan penyebaran api sepanjang waktu

Pada tahap awal, sampel kayu menerima sejumlah panas dari heater yang telah diset pada temperatur tertentu. Dalam experimental, tahap ini merupakan tahap dimana sampel kayu akan mengeluarkan uap air (*moisture*) yang dikandungnya. Namun hal ini tidak terjadi pada simulasi karena dalam input file yang digunakan, *moisture fraction* dari material diset ke angka nol, yang artinya sampel kayu dianggap kayu kering tanpa adanya *moisture content*. Dalam simulasi, tahap ini merupakan pemanasan dimana sampel menerima sejumlah flux kalor dari heater. Tahap berikutnya pada bagian atas sampel mulai muncul api. Beberapa detik kemudian api mulai menyebar ke bagian tengah dan bawah dari sampel. Melalui pemodelan dapat dilihat bahwa bagian atas dari sampel menerima pengaruh konveksi dari heater yang lebih besar dibanding pada bagian tengah dan bawah. Hal inilah yang mengakibatkan bagian atas dari sampel terbakar lebih dulu. Pada gambar dapat dilihat bahwa ukuran api semakin membesar setelah penyebaran api mulai merata di bagian permukaan sampel. Tahap ini terjadi selama kurang lebih 100 detik, kemudian api mulai mengecil. Ini diakibatkan karena pada permukaan yang terbakar timbul *char*. Api yang tadinya besar mulai terhalang oleh *char* yang timbul, mengakibatkan lidah api mengecil. Hal ini berlangsung sampai tahap akhir pembakaran serta semua bagian permukaan depan dari sampel telah menjadi *char*.



Gambar 4.2 Visualisasi penyebaran temperatur pada berbagai orientasi permukaan. (a) vertikal, 90° ;
(b) miring, 45° ; dan (c) horizontal, 180°

Gambar di atas merupakan *slice file* temperatur dari 3 macam sudut orientasi yang berbeda. Terdapat fenomena menarik yang dapat dilihat dari gambar di atas. Tampak bahwa api mengalami kemiringan / *tilted* , hal ini dapat dilihat secara jelas pada gambar (a). Miringnya api tersebut diakibatkan oleh pengaruh konveksi dari heater. Gas panas yang muncul dari heater mendorong api untuk menjauhi heater, menyebabkan api miring menjauhi heater. Udara yang membawa gas panas memiliki massa yang lebih ringan dan densitasnya turun. Karena lebih ringan dibanding udara sekitar, udara panas tersebut terbang ke atas karena pengaruh gaya *buoyancy*. Inilah yang mendorong api sehingga api tampak miring / *tilted*. Perilaku api mungkin berbeda jika heater secara tiba-tiba dimatikan setelah muncul api dari sampel kayu. Untuk memastikan pernyataan tersebut penulis melakukan skenario kedua dimana pada detik ke 150 heater secara mendadak dimatikan. Perbedaan perilaku api dapat dilihat dari kedua gambar dibawah ini :



Gambar 4.3 Perbedaan perilaku api yang dipengaruhi pemanas. Pemanas dalam kondisi (a) menyala; (b) mati

Dari kedua gambar tersebut terlihat perbedaan perilaku api. Gambar di kiri ialah ketika heater masih dinyalakan, yakni pada detik ke 149 sedangkan gambar di kanan ketika heater dimatikan, yakni pada detik ke 151. Pada gambar (a) tampak api mengalami kemiringan yang besar sedangkan pada gambar (b) tampak kemiringan api sudah berkurang. Hal ini membuktikan bahwa panas dari heater memberikan pengaruh yang nyata pada perilaku api.

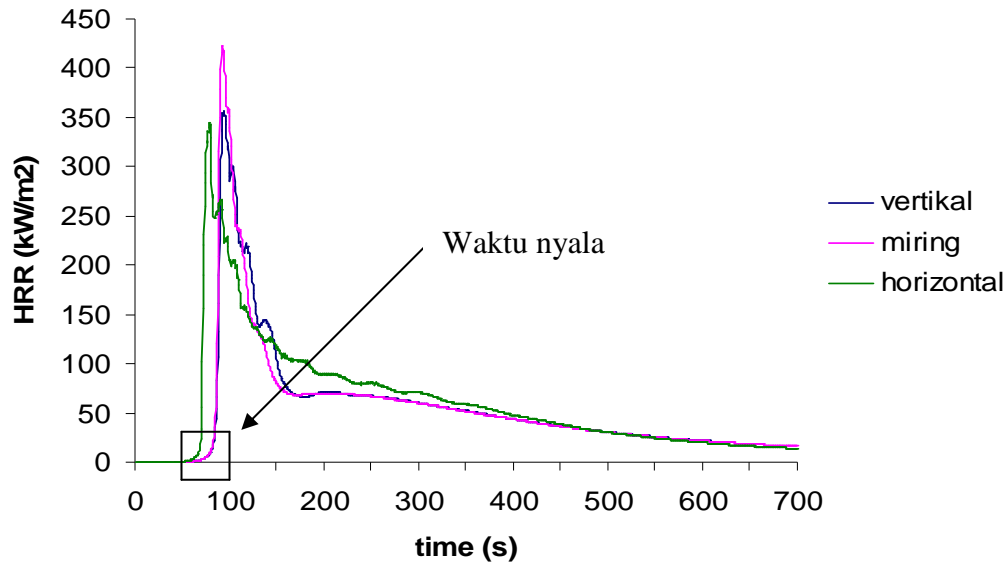
IV.2 ANALISA WAKTU PENYALAN (*TIME TO IGNITION*)

Waktu penyalaan ialah waktu dimana temperatur telah melewati ambang batas temperatur penyalaan. Pengukuran nilai dari time to ignition (t_{ig}) dalam penelitian ini dilakukan dengan cara memperhatikan karakteristik dari laju produksi kalor (*Heat release rate* / HRR) yang terjadi. Sesuai dengan apa yang telah dijelaskan dalam dasar teori, suatu material yang mengalami reaksi eksotermik, atau dalam keadaan terbakar, pasti memiliki nilai kalor yang dilepaskan material tersebut per satuan waktu, yang direpresentasikan dalam nilai HRR. Dengan demikian bila kita memiliki kurva HRR dari material yang sedang terbakar, dapat diketahui waktu penyalaannya dari kurva tersebut, yakni ketika nilai dari HRR mulai naik. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari pemodelan, didapatkan hasil pola laju pelepasan kalor untuk berbagai orientasi, temperatur heater dan jarak heater-sampel. Berikut ini akan dibahas pengaruh dari masing-masing variabel tersebut terhadap kurva laju pelepasan kalor dimana t_{ig} akan ditentukan dari kurva tersebut.

IV.2.1 Pengaruh Orientasi terhadap Waktu Penyalaan

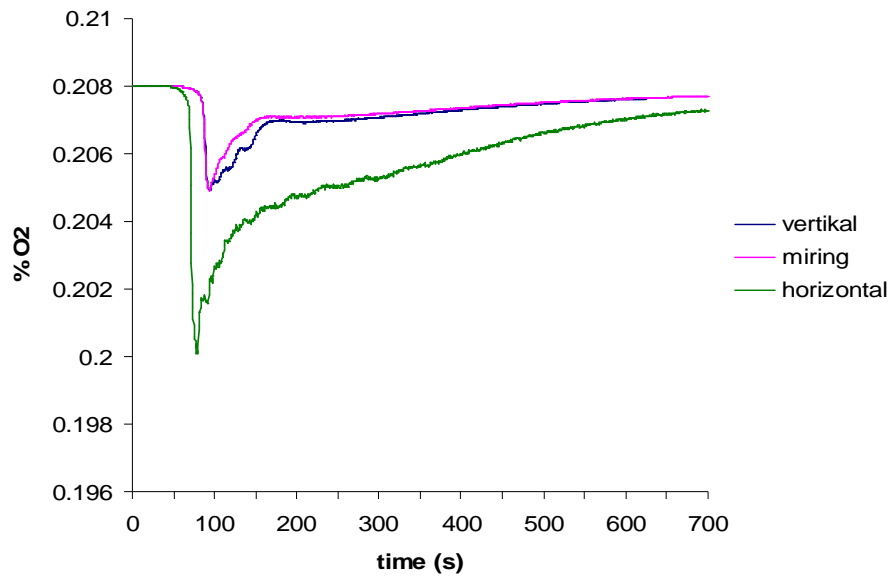
Grafik di bawah merupakan grafik Laju Pelepasan Kalor/ *Heat Release Rate* (HRR) dalam kW/m^2 . Sumbu x menyatakan waktu dalam detik sedangkan sumbu y menyatakan besarnya HRR dalam kW/m^2 . Perbedaan warna dalam kurva mengindikasikan variabel orientasi permukaan yang digunakan, sesuai legenda pada

grafik tersebut. Data yang digunakan untuk grafik tersebut ialah dengan temperatur heater 600°C dan jarak sampel-heater 3cm.



Gambar 4.4 Grafik laju pelepasan kalor untuk berbagai orientasi dengan heater 600°C dan jarak 3cm

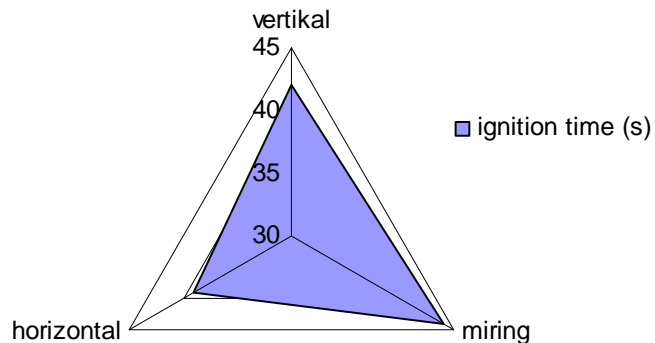
Dilihat dari grafik HRR terlihat pola umum yakni pola mendatar selama beberapa puluh detik, naik dengan curam sampai puncak kurva, turun tajam lalu turun dengan landai hingga akhir kurva. Pola mendatar kurva laju produksi kalor pada ± 50 detik pertama bersifat stabil dan cenderung rendah. Pola ini menunjukkan lamanya waktu yang diperlukan untuk membuat sampel terbakar. Kemudian kurva naik sampai puncak beberapa detik berikutnya. Pada periode ini nyala api dari sampel terlihat relatif lebih besar. Proses pembakaran dengan nyala api yang besar tersebut membutuhkan konsumsi oksigen dalam jumlah tinggi, sehingga pada detik yang hampir sama ketika kurva HRR mencapai puncak maka kurva dari konsumsi oksigen mencapai titik terendah. Kemudian oksigen berangsur-angsur kembali ke tingkat konsentrasi awalnya, nyala api mengecil dan laju produksi kalor menurun. Grafik dari konsumsi oksigen untuk data di atas dapat dilihat berikut ini.



Gambar 4.5 Grafik konsumsi oksigen untuk berbagai orientasi dengan heater 600°C dan jarak 3cm

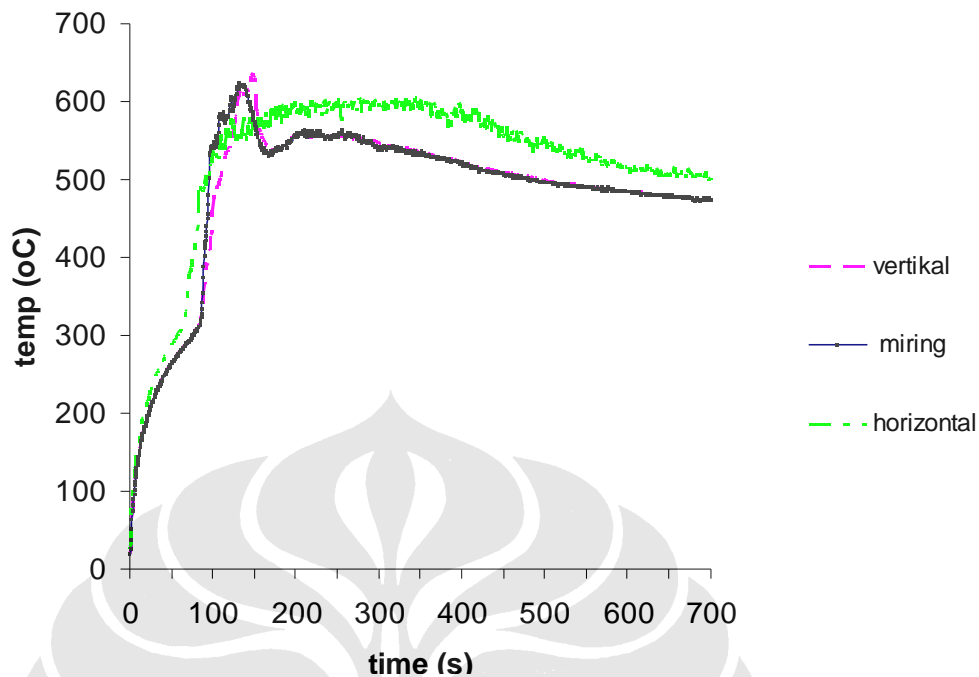
Dari ketiga kurva di grafik HRR, kurva untuk orientasi horizontal terlihat naik lebih dulu, seperti yang telah dibahas pada sub bab sebelumnya hal ini dikarenakan pengaruh konveksi dari heater lebih besar pada orientasi horizontal. HRR pada orientasi miring mencapai puncak yang paling tinggi dibanding kedua orientasi lainnya. HRR merupakan fungsi dari luas permukaan api, sehingga untuk api yang lebih besar maka HRRnya juga akan menunjukkan nilai terbesar pula. Dalam hal ini api dari orientasi miring dihalangi oleh heater yang ada di atas sampel, membuat api terbagi dua seperti yang terlihat di sub bab visualisasi. Karena apinya terganggu, maka luas permukaannya juga membesar dan membuat HRRnya membesar juga. Untuk grafik konsumsi oksigen, tampak bahwa titik terendah %O₂ dimiliki oleh orientasi horizontal. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Seluruh permukaan sampel pada orientasi horizontal terkena pengaruh konveksi yang hampir sama, sehingga waktu terbakarnya tiap titik di permukaan sampel juga hampir sama. Dengan demikian, oksigen yang dibutuhkan untuk proses pembakarannya juga semakin banyak, karena permukaan sampel terbakar hampir bersamaan. Sedangkan orientasi vertikal dan miring memiliki kurva konsumsi oksigen yang hampir sama.

Dari grafik HRR tersebut, dapat diketahui bahwa waktu penyalaan sampel untuk orientasi horizontal lebih rendah diikuti sampel dengan orientasi vertikal lalu miring. *Time to ignition* dari ketiga macam orientasi tersebut masing-masing kurang lebih sebesar 39 detik, 42 dan 44 detik. Nilai dari t_{ig} untuk horizontal relatif lebih cepat sedangkan untuk vertikal dan miring memiliki nilai t_{ig} yang hampir sama. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa terdapat korelasi antara t_{ig} dengan orientasi permukaan sampel. Untuk data t_{ig} dari seluruh skenario dapat dilihat di tabel pada bagian akhir sub bab ini.



Gambar 4.6 Grafik radar dari t_{ig} untuk temperatur heater 600°C dan jarak 3cm

Seperti yang telah diuraikan di atas bahwa sampel dengan orientasi horizontal terbakar lebih dulu karena pengaruh konveksi dari heater yang lebih besar dibanding dua orientasi lainnya. Hal ini perlu dibuktikan dengan menempelkan termokopel pada permukaan sampel untuk mengetahui temperatur permukaan sampel tersebut sepanjang waktu ketika sampel mulai diberi panas, sampel mulai terbakar, hingga sampel dalam kondisi tahap akhir pembakaran. Grafik berikut ini memberikan data temperatur permukaan pada posisi termokopel 1, yakni jarak termokopel 2 cm dari tepi sampel dan diletakkan di garis tengah sampel (lihat bab pemodelan).



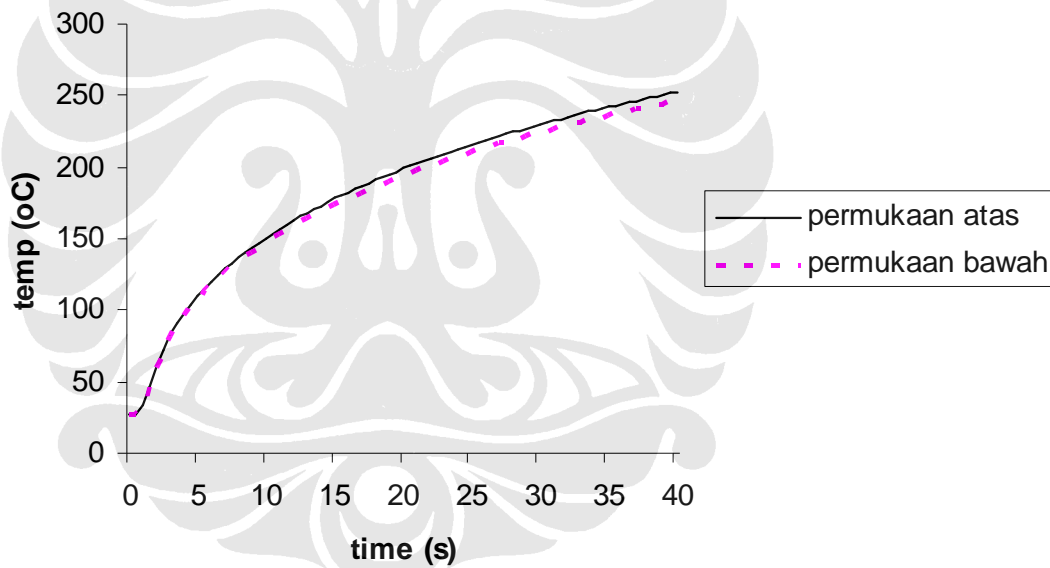
Gambar 4.7 Grafik perbandingan temperatur permukaan terhadap tiga variasi orientasi permukaan

Grafik di atas merupakan grafik perbandingan temperatur di permukaan sampel (termokopel 1) terhadap orientasi permukaan (*surface inclination*) dari sampel kayu. Sumbu x menyatakan waktu (dalam detik) sedangkan sumbu y menyatakan besarnya temperatur (dalam °C). Dalam grafik di atas, kurva yang dipakai ialah kurva temperatur untuk jarak sampel 3cm dan temperatur heater sebesar 600°C.

Pada grafik tersebut terlihat bahwa untuk ± 50 detik pertama pola penyebaran temperatur menunjukkan bentuk yang hampir sama. Setelah itu, temperatur permukaan dari sampel untuk orientasi 180° (horizontal) naik lebih tinggi dibanding lainnya, menandakan sampel terbakar lebih dulu. Hal ini disebabkan pengaruh konveksi dari heater lebih besar pada sudut orientasi 180° dibanding pada dua orientasi lainnya. Sedangkan untuk orientasi 90° (vertikal) dan 45° (miring) sampel terbakar pada waktu yang hampir bersamaan. Temperatur naik secara drastis pada detik ke ± 90 untuk vertikal dan miring, kemudian turun juga secara cepat akibat munculnya *char* pada bagian permukaan sampel yang terbakar. Pola yang berbeda tampak untuk orientasi horizontal. Terlihat bahwa kurva naik secara perlahan sampai detik ke ± 350 kemudian turun juga dengan perlahan / landai. Ini disebabkan karena

pada orientasi horizontal, temperatur pada permukaan sampel yang terbakar sulit untuk keluar ke udara bebas akibat terhalang oleh sampel itu sendiri, menyebabkan temperatur panas sedikit terakumulasi pada bagian tengah di permukaan sampel. Berbeda dengan vertikal dan miring, pada dua orientasi itu gas panas dari proses pembakaran dapat langsung terbawa ke atas karena pengaruh gaya *buoyancy*. Gas panas terbang ke atas karena udara yang membawa gas panas tersebut densitasnya lebih kecil, menyebabkan massa udara panas ini lebih ringan dibanding sekitarnya.

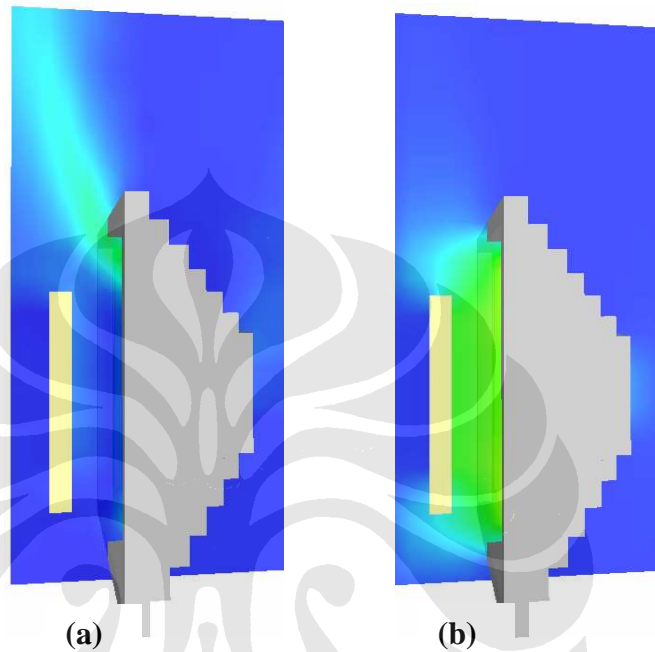
Dalam pemodelan, penulis menempatkan dua buah termokopel pada permukaan sampel. Dari dua termokopel tersebut dapat diketahui pengaruh konveksi dari heater yang sampai ke permukaan. Berikut ini merupakan dari temperatur permukaan untuk salah satu skenario.



Gambar 4.8 Perbandingan temperatur di bagian atas dan bagian bawah sampel. Data yang dipakai untuk orientasi vertikal, temperatur heater 600°C dan jarak 3cm.

Grafik di atas merupakan grafik untuk membandingkan temperatur di bagian atas dan bagian bawah sampel. Data yang digunakan untuk grafik di atas ialah untuk skenario orientasi vertikal, temperatur heater 600°C dan jarak 3cm. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa temperatur bagian atas dari sampel sedikit lebih besar dibanding pada bagian bawah. Hal tersebut dikarenakan pengaruh konveksi dari

heater lebih besar dibanding pada bagian bawah. Untuk dapat melihat pengaruh heater tersebut dapat dilihat pada gambar berikut ini.

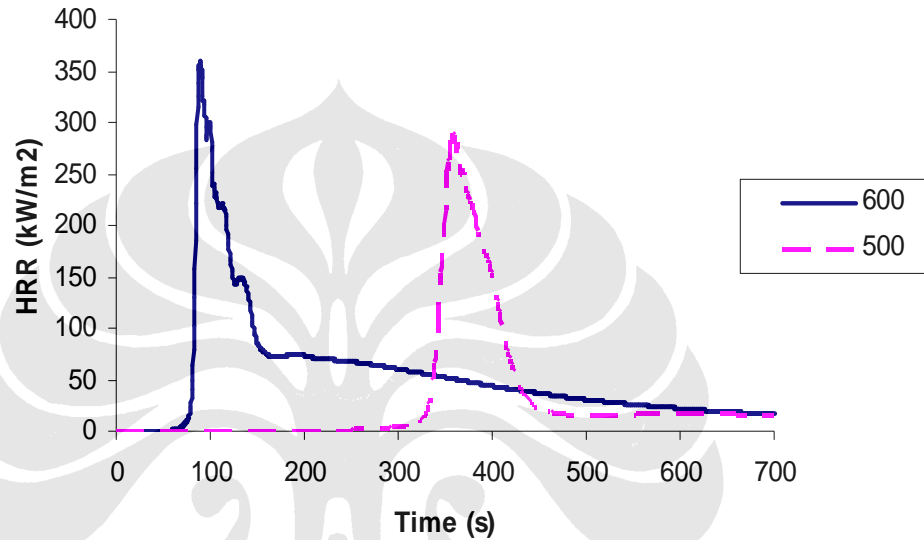


Gambar 4.9 Potongan (*slice*) file dari orientasi permukaan vertikal. (a) temperatur, (b) intensitas radiasi.

Seperti yang telah disinggung sebelumnya, gas panas dari heater akan terbang kearah yang berlawanan gravitasi karena udara yang membawa gas panas tersebut lebih ringan dibanding udara sekitarnya. Karena itulah temperatur bagian atas sampel sedikit lebih besar dibanding bagian bawahnya. Sedangkan untuk radiasi tampak bahwa intensitasnya kurang lebih sama untuk seluruh permukaan sampel. Dari gambar, kita dapat menduga bahwa ada jarak tertentu dimana pengaruh panas dari heater tidak berpengaruh lagi terhadap penyalan. Hal tersebut akan dibahas di sub bab IV.2.3 .

IV.2.2 Pengaruh Temperatur Heater terhadap Waktu Penyalan.

Variabel yang diubah-ubah dalam tahap ini ialah temperatur dari heater. Pada tahap ini ingin diketahui apakah temperatur dari heater mempengaruhi waktu penyalaan atau tidak. Berikut ini merupakan grafik laju pelepasan kalor untuk 2 macam temperatur heater yang digunakan.

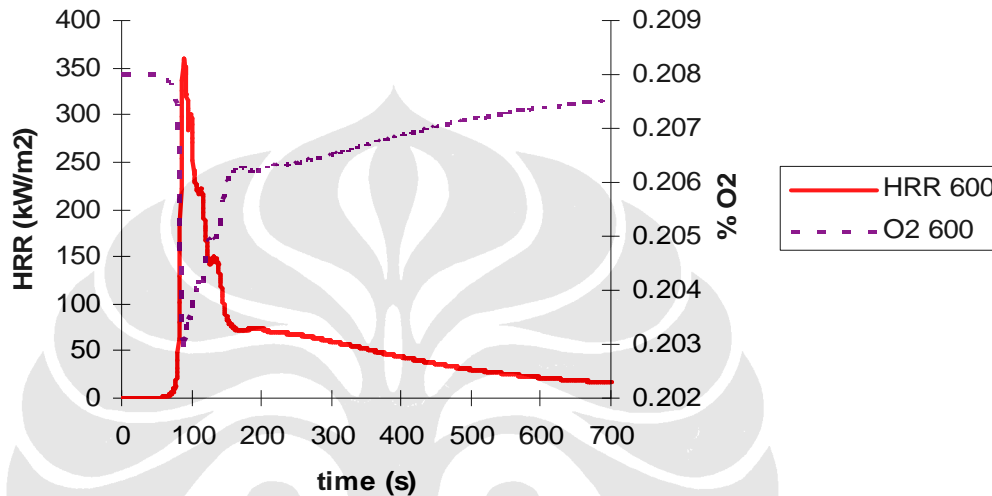


Gambar 4.10 Grafik perbandingan laju pelepasan kalor untuk 2 macam temperatur heater

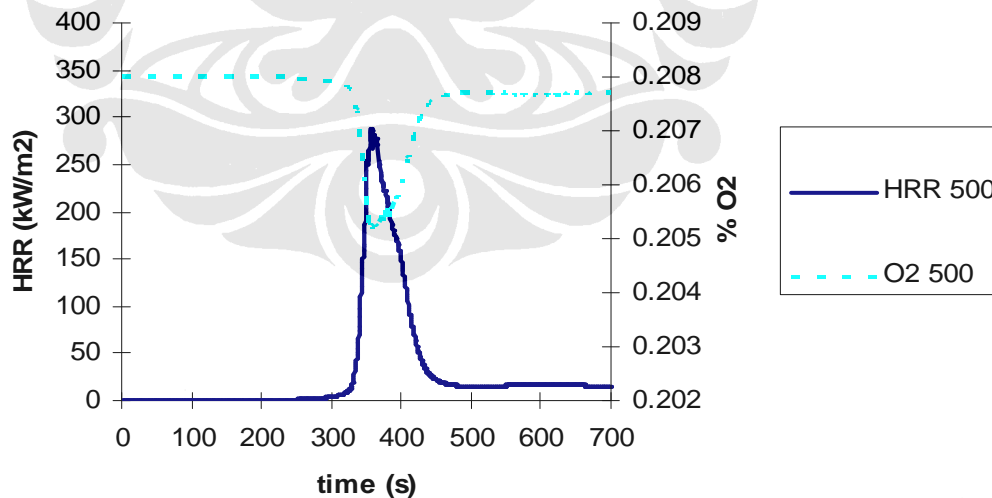
Grafik di atas merupakan grafik HRR (kW/m^2) dari dua macam temperatur heater, yakni. Sumbu x menyatakan waktu (dalam detik). Garis tebal berwarna merah dan biru menunjukkan besarnya HRR (kW/m^2), warna biru merupakan HRR untuk temperatur 600°C dan warna merah dan putus-putus untuk temperatur heater 500°C dan besarnya ditunjukkan oleh sumbu y. Data yang dipakai untuk grafik di atas ialah data untuk orientasi permukaan vertikal dan jarak sampel-heater 3cm.

Tampak dari grafik untuk temperatur heater 600°C sampel kayu terbakar lebih dahulu, ditandai dengan naiknya kurva HRR pada detik ke ± 42 dan mencapai puncaknya di detik ke 90. Pada detik tersebut nilai HRRnya sebesar 360 kW/m^2 . Sedangkan konsumsinya mencapai titik tersendah, yakni sebesar 20.29 %. Flux kalor yang sampai ke sampel sebelum sampel terbakar sebesar 21.5 kW/m^2 . Untuk temperatur heater 500°C , waktu untuk sampel terbakar membutuhkan waktu

lebih lama. Tercatat kurva HRR naik pada detik ke ± 250 , kemudian mencapai puncaknya pada detik ke 359, yakni nilai HRRnya sebesar 289 kW/m^2 . Sedangkan flux kalor yang sampai ke sampel sebelum sampel terbakar sebesar 13.2 kW/m^2 . Hubungan antara laju produksi kalor dan konsumsi oksigen dapat dilihat pada grafik berikut ini.



(a)



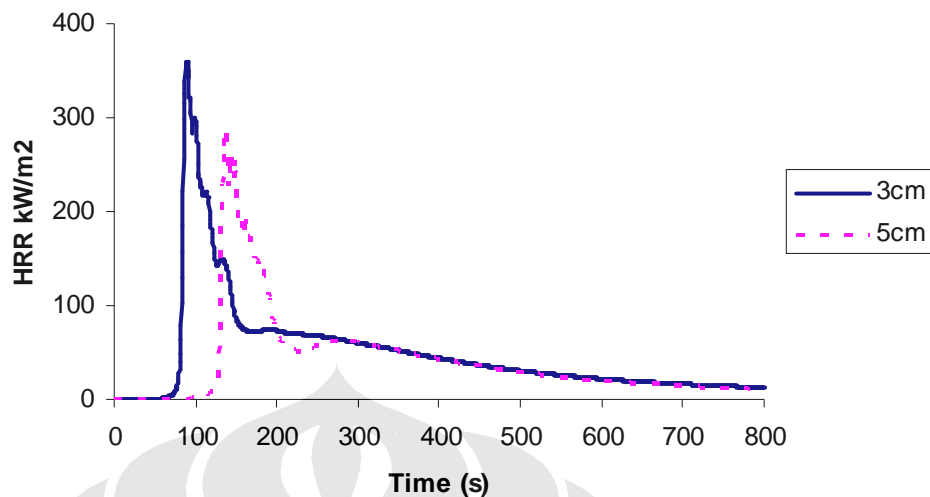
(b)

Gambar 4.11 Korelasi grafik HRR dengan konsumsi oksigen. (a) Heater 600°C ; (b) heater 500°C

Pola umum yang ditunjukkan oleh kurva HRR dan kurva konsumsi oksigen tampak berkebalikan. Sesuai yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Semakin besar ukuran api, nilai dari HRRnya juga semakin besar. Api yang besar tersebut membutuhkan oksigen sebagai oksidiser dalam proses pembakarannya, semakin besar apinya semakin banyak pula oksigen yang dikonsumsi. Inilah yang menyebabkan kedua kurva tersebut terlihat pola yang saling berkebalikan. Dari grafik-grafik di atas dapat disimpulkan bahwa terdapat korelasi antara temperatur heater atau flux kalor yang diberikan heater terhadap waktu penyalaan. Semakin besar flux kalor yang diberikan heater terhadap sampel semakin cepat waktu penyalaannya. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya [6]. Dalam penelitian ini hasil yang didapat dengan perubahan variabel temperatur heater untuk orientasi vertikal dan jarak 3cm ialah 45 detik untuk 600°C dan 158 detik untuk 500°C. Data selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.2 .

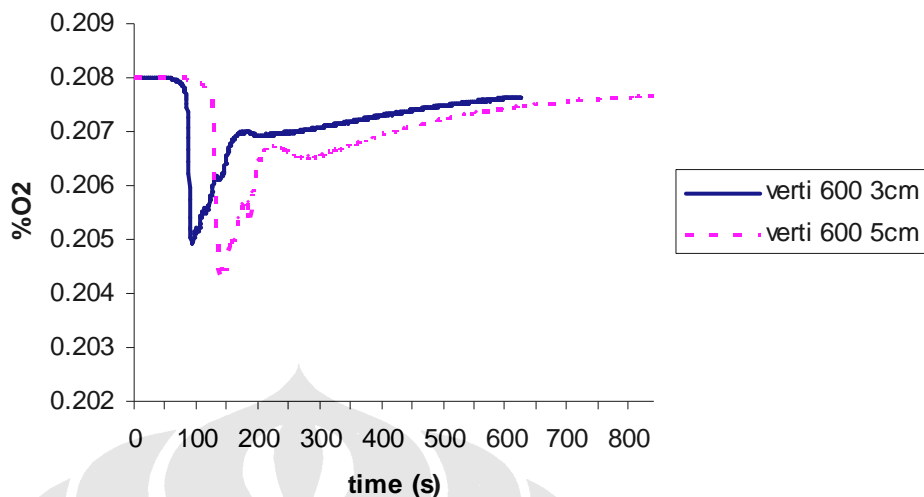
IV.2.3 Pengaruh Jarak Sampel-Heater terhadap Waktu Penyalaan

Pada sub bab ini penulis akan membahas waktu penyalaan dilihat dari perubahan variabel jarak sampel-heater. Jarak yang digunakan ialah 3cm dan 5cm. Berikut ini merupakan grafik laju pelepasan kalor untuk 2 macam jarak yang digunakan.



Gambar 4.12 Perbandingan laju pelepasan kalor untuk dua macam jarak sampel-heater yang digunakan.

Grafik di atas merupakan grafik HRR (kW/m^2) untuk dua macam jarak sampel-heater yang digunakan, yakni 3cm dan 5cm. Sumbu x menyatakan waktu (dalam detik). Garis tebal berwarna merah dan biru menunjukkan besarnya HRR (kW/m^2), untuk jarak 3cm ditunjukkan oleh garis biru sedangkan untuk jarak 5cm ditunjukkan oleh garis merah putus-putus. Besar dari HRR ditunjukkan pada sumbu y. Data yang dipakai untuk grafik di atas ialah data untuk orientasi vertikal dan temperatur heater sebesar 600°C . Sedangkan untuk grafik konsumsi oksigen dapat dilihat pada grafik berikut ini.

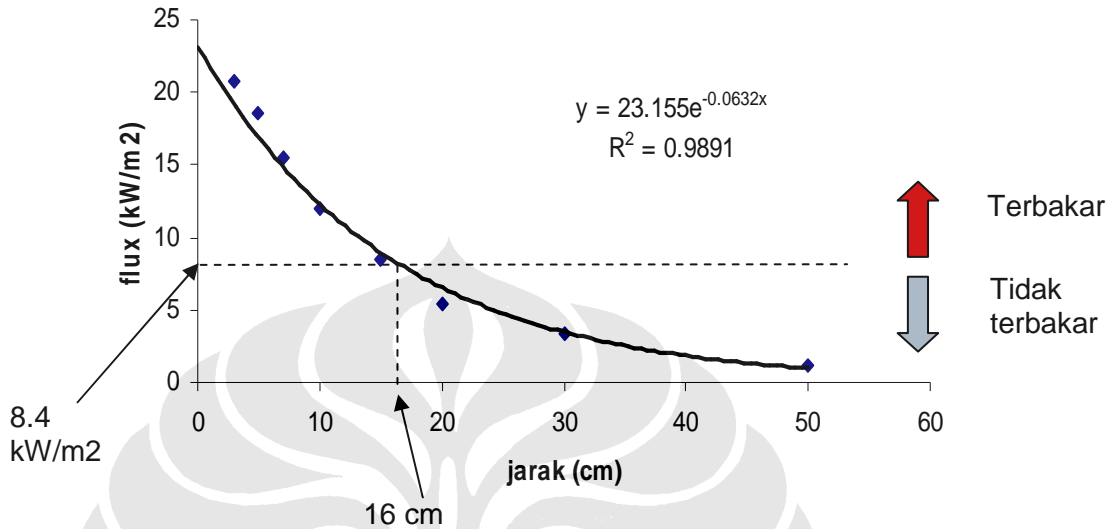


Gambar 4.13 Perbandingan konsumsi oksigen untuk dua macam jarak sampel-heater yang digunakan

Pola umum yang ditunjukkan oleh kurva HRR dan kurva konsumsi oksigen tampak berkebalikan. Sesuai yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Semakin besar ukuran api, nilai dari HRRnya juga semakin besar. Api yang besar tersebut membutuhkan oksigen sebagai oksidiser dalam proses pembakarannya, semakin besar apinya semakin banyak pula oksigen yang dikonsumsi. Inilah yang menyebabkan kedua kurva tersebut terlihat pola yang saling berkebalikan. Dari grafik, tampak bahwa untuk jarak 3cm kurva HRR naik dan kurva O_2 turun terlebih dahulu, menandakan sampel jarak 3cm terbakar lebih dahulu dibanding pada jarak 5cm. Flux kalor yang sampai di sampel untuk jarak 3cm sebesar 21.5 kW/m^2 , sedangkan untuk jarak 5cm sebesar 18.7 kW/m^2 . Perbedaan inilah yang menyebabkan waktu terbakar kedua sampel tersebut berbeda. Semakin besar flux kalor yang sampai ke sampel semakin cepat pula sampel terbakar. *Time to ignition* untuk jarak 3cm ialah 45 detik sedangkan untuk jarak 5cm sebesar 130 detik. Dengan demikian dapat disimpulkan terdapat korelasi antara waktu penyalaan terhadap jarak sampel-heater.

Setelah dapat dipastikan bahwa jarak sampel-heater mempengaruhi waktu penyalaan, perlu diketahui pada jarak berapa cm sampel tidak akan terbakar karena pengaruh konveksi dan radiasi tidak berpengaruh lagi ke penyalaan sampel pada jarak

tertentu. Penulis melakukan pemodelan untuk jarak 3cm, 5cm, 7cm, 10cm, 15cm, 20cm, 30cm, dan 50cm.



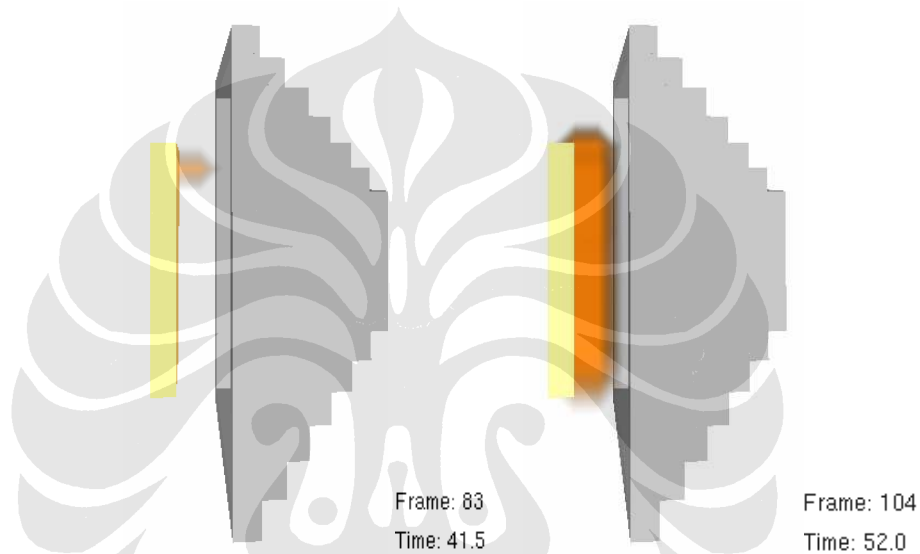
Gambar 4.14 Korelasi antara heat flux yang mengenai sampel dengan jarak sampel

Untuk mengetahui jarak terjauh sampel dapat terbakar perlu diketahui besarnya *critical heat flux* dari sampel tersebut. *Critical heat flux* merupakan flux minimal yang dapat diberikan pada sampel kayu sehingga mampu menyala pada waktu yang tak berhingga. Nilai dari *critical heat flux* untuk kayu lapis berbahan jati belanda yang digunakan pada penelitian ini sebesar 8.4 kW/m². Berdasarkan nilai tersebut, maka jika dikorelasikan terhadap grafik di atas diperoleh jarak terjauh dimana sampel dapat terbakar yakni sebesar 16 cm. Dengan demikian sampel pada jarak yang lebih jauh dibanding jarak tersebut tidak akan mengalami penyalaan (ignition). Hal tersebut dikarenakan flux kalor yang mengenai sampel yang terletak pada jarak >16 cm tidak melebihi *critical heat flux*nya.

IV.3 ANALISA PENYEBARAN API PADA SAMPEL

Pada sub bab ini penulis akan membahas mengenai penyebaran api pada sampel kayu. Metode untuk mendapatkan penyebaran api ini ialah dengan

memperhatikan mulainya kemunculan titik api pada bagian atas dari sampel lalu dicatat waktunya. Kemudian diperhatikan pula waktu saat munculnya api pada bagian bawah sampel. Setelah didapatkan waktu tersebut kemudian kecepatan penyebaran api dihitung berdasarkan persamaan (22). Nilai dari ΔS ialah sebesar panjang dari sampel kayu, yakni 100 mm. Sebagai contoh akan dibahas penyebaran api pada skenario orientasi vertikal, jarak sampel-heater 3cm dan temperatur heater 600°C.



Gambar 4.15 Visualisasi penyebaran api setelah penyalaan

Dari gambar tersebut didapat Δt sebesar 10.5 detik, sehingga kecepatan penyebaran api untuk skenario ini sebesar 100 mm / 10.5 sekon = 9.5 mm/s . Untuk orientasi 45° kecepatan penyebarannya sebesar 8.33 mm/s. Sedangkan untuk orientasi 180° kecepatan penyebarannya sebesar 12.5 mm/s. Tabel di bawah menampilkan data kecepatan penyebaran api untuk seluruh skenario yang disimulasikan pada penelitian ini.

Dari data yang tercantum pada tabel dapat dilihat bahwa untuk temperatur dan jarak heater yang sama, orientasi horizontal memiliki kecepatan penyebaran api yang paling tinggi. Hal ini dikarenakan penyebaran api pada sampel untuk orientasi horizontal dipengaruhi oleh faktor konveksi dan radiasi. Sedangkan untuk orientasi lainnya pengaruh konveksi sangat kecil sehingga penyebarannya lebih

dipengaruhi oleh faktor radiasinya saja. Data dari tabel ini merupakan data untuk penyebaran api ke bawah. Untuk penyebaran api ke atas nilai dari kecepatannya bisa menjadi lebih besar. Seperti yang dibahas pada dasar teori, penyebaran api ke atas merupakan *concurrent* dimana arah perambatan api searah dengan perambatan udara panas. Udara panas tersebut memberikan kontribusi panas ke daerah yang belum terbakar sehingga mempercepat penyebaran api ke daerah tersebut. Berbeda dengan penyebaran api ke bawah (*counter-current*), udara panas mengalir ke arah yang berlawanan dengan penyebaran api, menyebabkan kecepatan penyebaran api lebih kecil dibanding pada yang *concurrent*.

Tabel 4.1 Kecepatan penyebaran api seluruh skenario

Heater (°C)	Jarak sampel-heater (cm)	Orientasi	Kecepatan penyebaran api (mm/s)
600	3	45°	8.33
		90°	9.5
		180°	12.5
	5	45°	6.25
		90°	5.55
		180°	11.11
500	3	45°	2.43
		90°	2.77
		180°	9.52
	5	45°	2.27
		90°	2.35
		180°	8.33

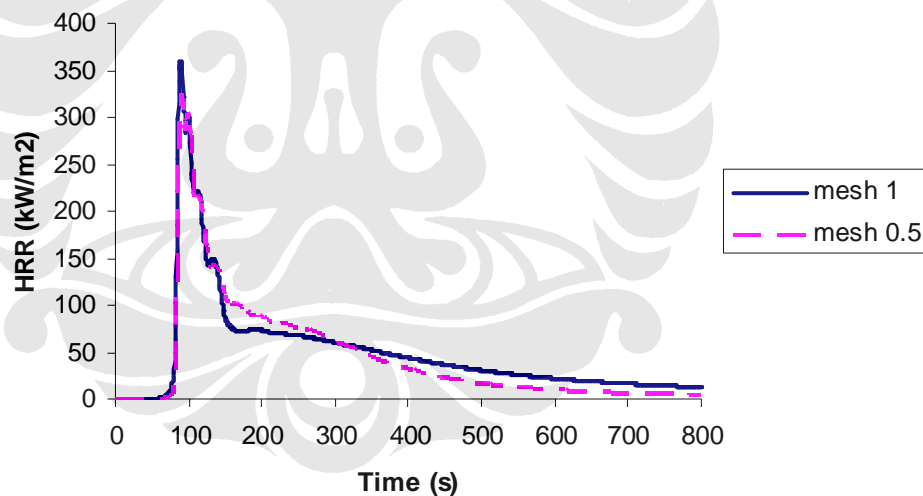
Tabel 4.2 Waktu penyalaan untuk seluruh skenario

Orientasi	Jarak cm	Heater °C	flux kW/m ²	t _{ig} detik
				FDS
vertikal	3cm	600	21.5	42
		500	13.2	158
	5cm	600	18.7	67
		500	11.6	260
miring	3cm	600	21.4	44
		500	13.1	160
	5cm	600	19	65
		500	11.7	244
horizontal	3cm	600	23.1	39
		500	14.6	145
	5cm	600	19.5	61
		500	12.2	230

BAB V VALIDASI

V.1 VALIDASI MESH

Hasil yang diperoleh melalui pemodelan dengan menggunakan FDS dapat dipengaruhi oleh ukuran mesh yang digunakan. Untuk memastikan bahwa data yang didapat tidak dipengaruhi secara signifikan oleh ukuran mesh maka penulis melakukan validasi mesh. Validasi mesh dilakukan dengan membandingkan data dari dua mesh yang digunakan. Data yang diperoleh dan dianalisa pada bab sebelumnya didapat dengan menggunakan ukuran mesh 1 cm^3 . Pada sub bab ini penulis akan membandingkan data tersebut dengan data yang diperoleh menggunakan mesh berukuran lebih kecil, yaitu 0.5 cm^3 . Skenario yang akan dibandingkan yaitu pada orientasi vertikal dengan jarak sampel-heater 3 cm dan temperatur heater 600°C .

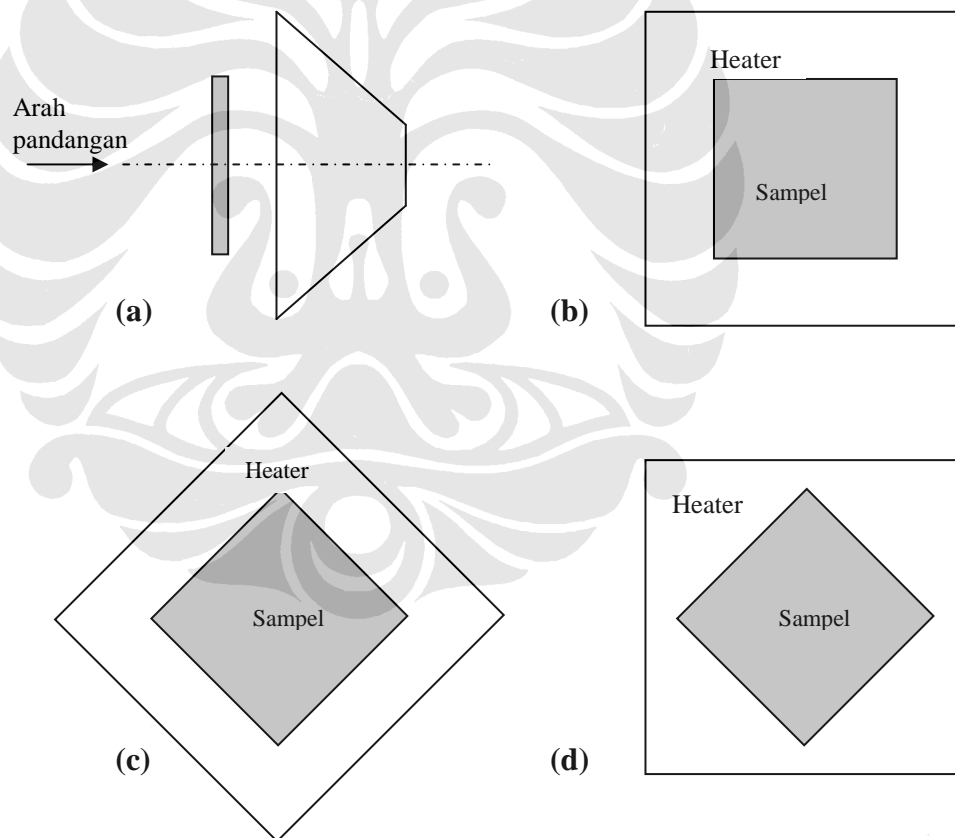


Gambar 5.1 Grafik perbandingan untuk 2 jenis mesh yang digunakan. Mesh 1 berukuran 0.5 cm^3 , sedangkan mesh 2 berukuran 1 cm^3 .

Dari dua kurva di atas menunjukkan bahwa nilai yang dihasilkan FDS untuk dua jenis mesh yang berbeda tidak terlalu jauh berbeda. Dengan pemikiran bahwa mesh berukuran 0.5 cm^3 membutuhkan waktu eksekusi yang lebih lama tanpa memberikan hasil yang berbeda secara signifikan, maka penulis memilih menggunakan mesh berukuran 1 cm^3 .

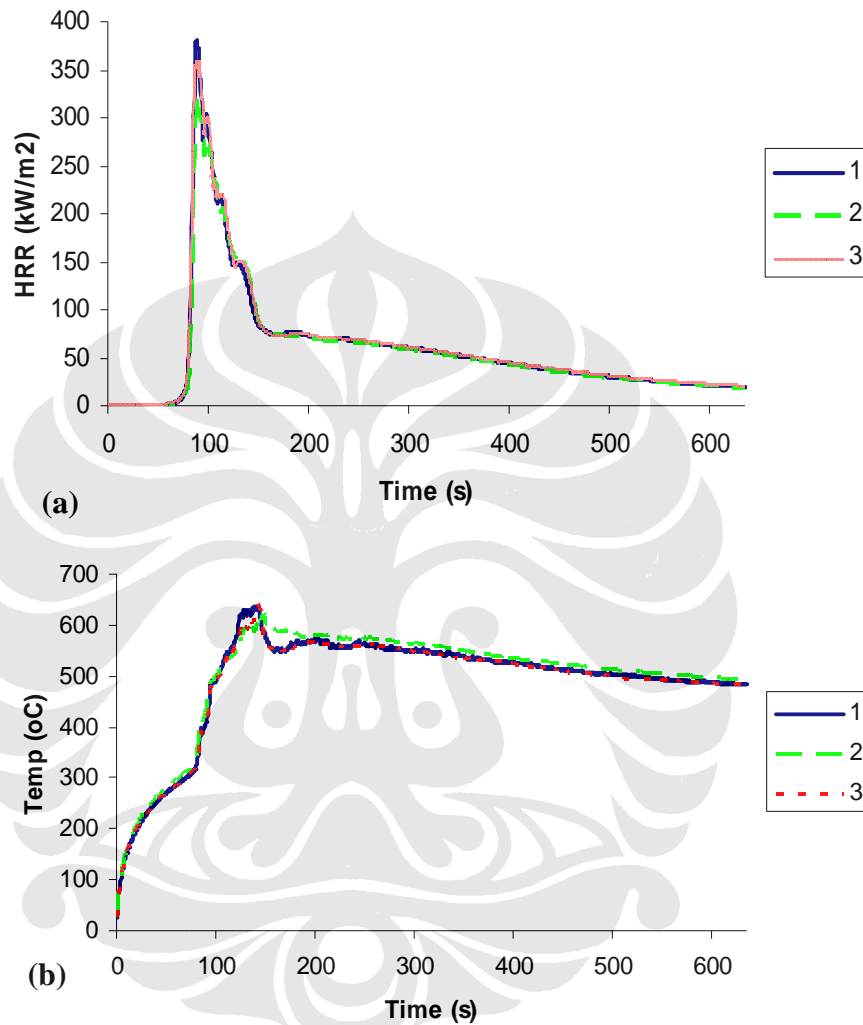
V.2 PENGARUH GEOMETRI HEATER

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya pada bab pemodelan bahwa bentuk fisik dari heater pada kenyataannya berbentuk *conical* / kerucut yang terpancung di bagian atas. Karena keterbatasan FDS dimana ia tidak dapat menggambarkan kurva ataupun garis miring, maka kemiringan dari heater dibuat dengan membentuk anak tangga. Untuk mengetahui apakah hal tersebut berpengaruh terhadap hasil yang diperoleh maka penulis melakukan skenario tambahan. Skenario pertama yaitu heater dan sampel diputar 45° (lihat gambar), skenario kedua yaitu sampel diputar 45° (lihat gambar), dan skenario ketiga merupakan skenario yang normal. Yang akan dibandingkan ialah untuk orientasi vertikal dengan jarak sampel-heater 3cm dan temperatur heater 600°C .



Gambar 5.2 . Berbagai skenario untuk mengetahui pengaruh geometri heater , (a) Skenario normal, (b) tampak samping skenario 3 / normal, (c) skenario 1, sampel dan heater diputar 45° , (d) skenario 2, sampel diputar 45° .

Hasil yang didapat untuk ketiga skenario tersebut ditampilkan pada grafik-grafik berikut ini.



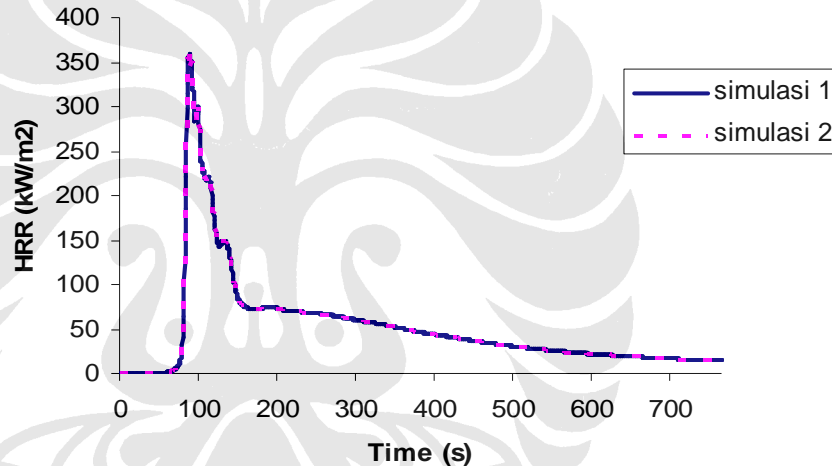
Gambar 5.3 Grafik hasil perbandingan untuk mengetahui pengaruh geometri heater, (a) HRR; (b) temperatur.

Keempat grafik di atas menunjukkan hasil yang hampir sama untuk ketiga skenario yang disimulasikan. Terlihat bahwa tiga grafik yang ada hampir tumpang tindih, menandakan bahwa hasil yang diperoleh memiliki nilai yang hampir sama. Perbedaan yang cukup terlihat ialah pada skenario 2 grafik temperatur, namun perbedaan tersebut tidak terlalu besar. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa

geometri heater yang dibuat dengan kemiringan anak tangga tidak mempengaruhi hasil secara signifikan.

V.3 REPEATABILITY

Pada sub bab ini penulis akan melakukan uji *repeatability* terhadap hasil yang dikeluarkan oleh FDS. FDS memiliki *repeatability* yang baik apabila hasil yang didapat untuk skenario yang sama tanpa ada perubahan apapun memiliki nilai yang sama atau hampir sama. Untuk mengujinya, penulis melakukan *running / eksekusi* dua kali terhadap skenario dengan orientasi vertikal dengan jarak sampel-heater 3cm dan temperatur heater 600°C. Berikut ini merupakan grafik dari hasil yang didapat.



Gambar 5.4 Grafik hasil perbandingan *repeatability* untuk laju pelepasan kalor dengan 2 kali simulasi

Gambar di atas merupakan grafik perbandingan untuk mengetahui *repeatability* dari FDS. Kurva berwarna merah merupakan simulasi pertama dan kurva hitam merupakan simulasi kedua. Kedua simulasi ini ialah untuk skenario orientasi vertikal dengan jarak sampel-heater 3cm dan temperatur heater 600°C. Keduanya di eksekusi tanpa ada perubahan apapun dalam *input filenya*. Penulis hanya menampilkan dua grafik ini sebagai contoh saja.

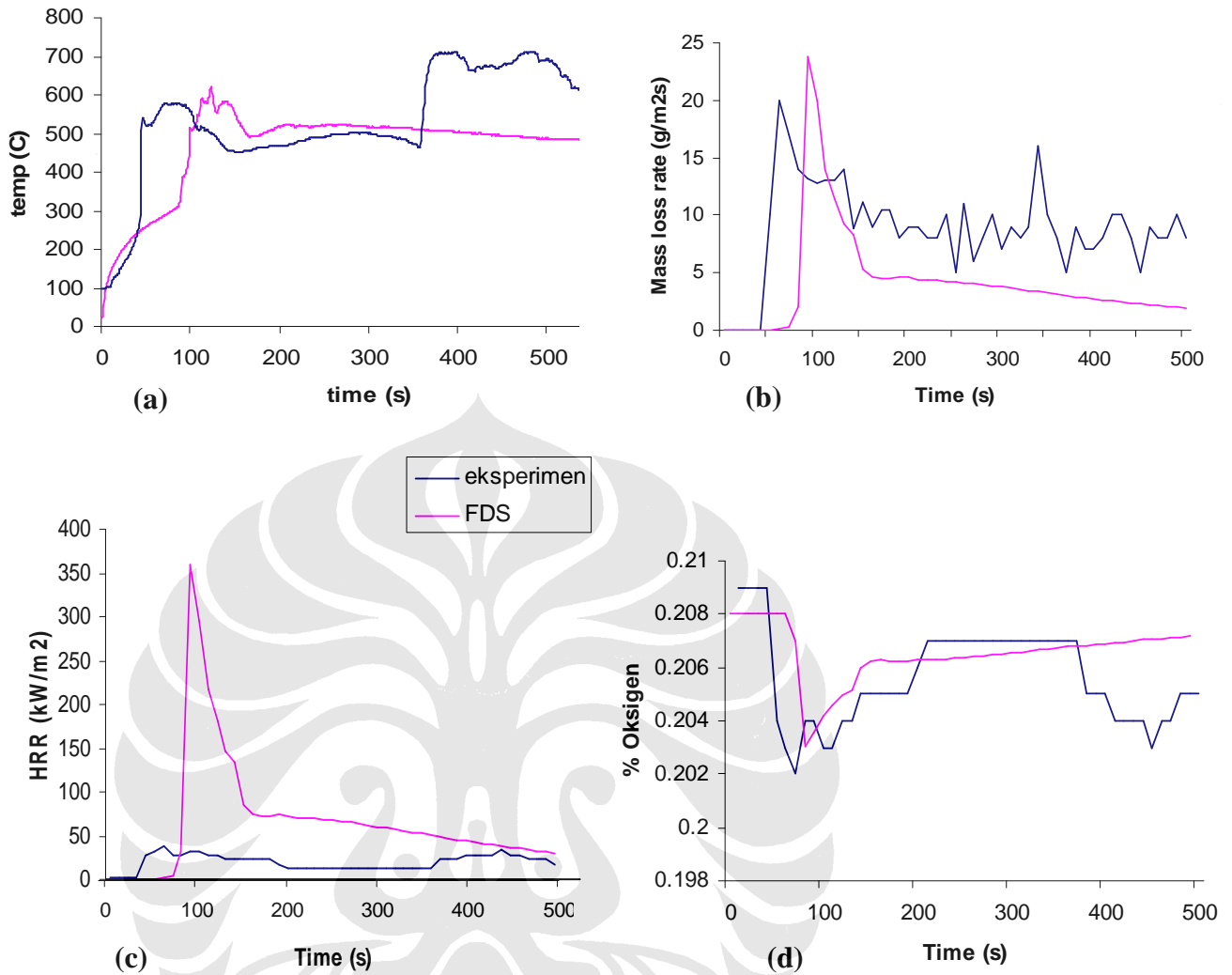
Dari dua grafik di atas dapat dilihat bahwa kedua kurva pada masing-masing grafik saling tumpang-tindih. Hal ini menandakan pada simulasi pertama hasil yang didapat sangat mirip dengan hasil yang didapat pada simulasi kedua. Dengan

demikian dapat disimpulkan bahwa repeatability dari FDS sangat baik, artinya hasil yang didapat tidak akan berbeda jika dilakukan eksekusi berkali-kali dengan syarat *input filenya* tidak diubah-ubah.

V.4 PERBANDINGAN DENGAN DATA EXPERIMENTAL

Pada sub bab ini penulis akan membandingkan hasil yang diperoleh dari FDS dengan hasil yang diperoleh melalui experimental. Penulis berterima kasih kepada Saudara Tri Hartanto yang telah memberi data experimentalnya sehingga penulis dapat melakukan validasi dari hasil yang telah didapat melalui pemodelan. Skenario yang akan dibandingkan hasilnya ialah pada skenario untuk orientasi vertikal, jarak sampel-heater 3cm dan temperatur heater sebesar 600°C. Perbandingan data tersebut ditampilkan pada grafik-grafik dibawah ini.

Grafik di bawah merupakan grafik perbandingan antara hasil yang diperoleh melalui pemodelan dengan hasil eksperimental. Garis biru merupakan grafik eksperimen sedangkan garis merah merupakan grafik FDS. Sumbu x menyatakan waktu (detik) dan sumbu y masing-masing menyatakan temperatur dalam °C (a), mass loss rate dalam g/m²s (b), heat release rate dalam kW/m² (c) dan persentase oksigen (d). Data yang dipakai untuk grafik di atas ialah data untuk orientasi vertikal, jarak sampel-heater 3cm dan temperatur heater 600°C.



Gambar 5.5 . Grafik perbandingan terhadap hasil dari eksperimen , (a) temperatur, (b) mass loss rate, (c) HRR, dan (d) konsumsi oksigen.

Dari keempat grafik perbandingan tersebut terlihat kesamaan pola grafik antara eksperimen dengan FDS. Untuk grafik *mass loss rate* dan konsumsi oksigen terlihat sudah cukup mendekati data eksperimen. Perbedaan yang ada ialah grafik *mass loss rate* untuk eksperimen naik lebih dahulu dan grafik konsumsi oksigen untuk eksperimen turun lebih dahulu dibanding pada FDS. Hal tersebut menandakan sampel pada eksperimental terbakar lebih dahulu sekitar ± 20 detik. Perbedaan terlihat cukup besar pada grafik temperatur permukaan, begitu pula dengan grafik *heat release rate* walaupun pola yang muncul antara eksperimen dan FDS terlihat pola

yang sama. Perbedaan ini dapat disebabkan karena *thermal properties* yang dimasukkan pada input file tidak sepenuhnya merepresentasikan *thermal properties* kayu jati yang sesungguhnya. Pembakaran pada kayu merupakan hal yang sangat kompleks karena kayu merupakan material *inhomogenous*, banyak dari sifat-sifatnya bergantung pada arah seratnya. Ini menandakan keterbatasan FDS dimana ia tidak dapat membedakan arah serat dari kayu. FDS juga mempunyai keterbatasan dimana ia menganggap tidak ada porositas pada bahan bakar padat, suatu hal yang tidak mungkin terjadi pada jenis kayu manapun. Tetapi FDS sudah cukup baik untuk mempelajari penyalaan dan penyebaran api pada benda padat yang merupakan tujuan utama dalam penulisan ini.

Untuk grafik temperatur, terlihat bahwa puncak pertama dari kedua grafik memiliki nilai yang hampir sama, yakni sekitar 600°C. Namun terdapat beda waktu antara munculnya puncak pertama pada FDS dengan eksperimental. Hal ini diakibatkan karena pada FDS volatile dari kayu terlepas secara langsung ke udara, sedangkan pada eksperimen volatile tersebut dapat terkumpul akibat terhalang oleh serat kayu itu sendiri. FDS tidak dapat memperlihatkan puncak kedua seperti yang terlihat pada grafik eksperimen. Ini disebabkan pada FDS char yang muncul hanya ada pada bagian permukaan, tidak sampai ke dalam kayu. Sedangkan pada eksperimen, char dapat berkembang sampai ke seluruh kayu, char yang muncul tersebut menghalangi volatile sehingga menumpuk di dalam kayu dan berakumulasi. Akumulasi tersebut pada akhirnya terlepas dan membuat nyala api yang lebih besar lagi.

Sedangkan untuk laju pelepasan kalor, Jukka *et al* [5] telah melakukan eksperimen dengan kayu cemara ketebalan 10 mm dan mendapat puncak dari laju pelepasan kalor sebesar 1.8 kW. Kayu *medium density fibreboard* (MDF) ketebalan 12 mm juga digunakan dan tercatat puncak tertinggi dari laju produksi kalor sebesar 2.6 kW. Keduanya menggunakan *cone calorimeter*. Data yang didapat oleh penulis pada kayu jati untuk laju pelepasan kalor ialah puncaknya pada nilai 3.5 kW. Data-data tersebut tidak dapat diperbandingkan karena menggunakan kayu dan ketebalan yang berbeda. Tetapi dapat diketahui bahwa laju pelepasan kalor untuk kayu dengan

ketebalan minimum 10 mm tidak kurang dari 0.5 kW. Dwithasari [7] telah melakukan eksperimen pembakaran sampel kayu kamper dan jati belanda dengan beberapa variasi ketebalan dan mendapat nilai puncak dari laju produksi kalor >0.8 kW. Dengan demikian, dari data hasil eksperimen yang telah dilakukan, perlu ditinjau kembali validasi dari *cone calorimeter* dan termokopel yang ada pada laboratorium pembakaran DTM FTUI.

