

PEMODELAN PENYALAAN  
DAN PENYEBARAN API  
MENGUNAKAN FIRE DYNAMIC SIMULATOR

SKRIPSI

Oleh

GATOT RANGGA GUMILANG

04 04 02 032 Y



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
GENAP 2007/2008

PEMODELAN PENYALAAN  
DAN PENYEBARAN API  
MENGUNAKAN FIRE DYNAMIC SIMULATOR

SKRIPSI

Oleh

GATOT RANGGA GUMILANG

04 04 02 032 Y



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN  
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
GENAP 2007/2008

## PERNYATAAN

Penelitian ini merupakan bagian dari kegiatan penelitian jangka panjang mengenai “Penelitian Sifat Bakar Material dengan Kalorimeter Api” dengan peneliti utama / dosen pembimbing : Ir. Yulianto S. Nugroho, MSc. PhD. Penggunaan data dan informasi yang tercantum dalam skripsi ini untuk maksud publikasi ilmiah dan populer hanya dapat dilakukan oleh peneliti utama atau atas ijin tertulis dari peneliti utama.

Depok, 4 Agustus 2008

Dosen Pembimbing

Ir. Yulianto S. Nugroho, MSc. PhD.  
NIP 132 048 274

Gatot Rangga Gumilang  
NPM 040402032Y

## **PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

### **PEMODELAN PENYALAAAN DAN PENYEBARAN API MENGUNAKAN FIRE DYNAMIC SIMULATOR**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada program studi S1 Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 4 Agustus 2008

Gatot Rangga Gumilang

NPM. 04 04 02 032 Y

# PENGESAHAN

Skripsi dengan judul :

## **PEMODELAN PENYALAAAN DAN PENYEBARAN API MENGUNAKAN FIRE DYNAMIC SIMULATOR**

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada program studi S1 Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia dan disetujui untuk diajukan dalam sidang ujian skripsi.

Depok, 4 Agustus 2008

Dosen Pembimbing

Ir. Yulianto S. Nugroho., MSc. PhD.

NIP. 132 048 274

## KATA PENGANTAR / UCAPAN TERIMA KASIH

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

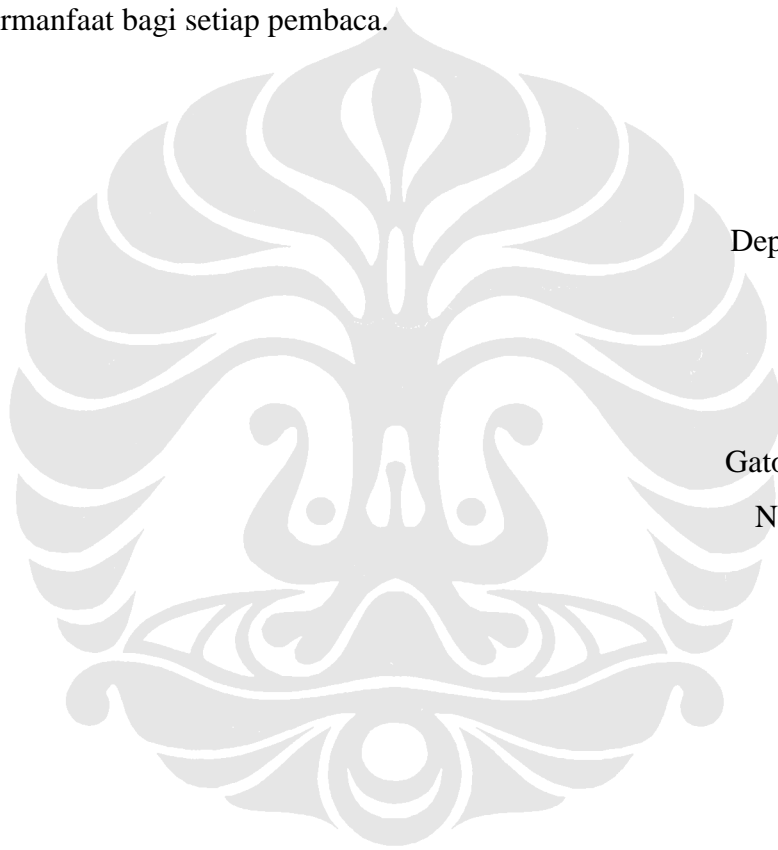
*Alhamdulillah Robbil 'alamin*, penulis panjatkan ke hadirat Allah 'Azza Wa Jalla, karena atas segala rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat dan salam semoga selalu tercurah kepada Rasulullah Muhammad *Shallallahu 'alaihi wa sallam* serta keluarganya, para sahabatnya dan yang mengikuti mereka dengan baik sampai hari kiamat.

Skripsi merupakan salah satu persyaratan di Departemen Teknik Mesin FTUI bagi mahasiswa yang ingin menyelesaikan studi S1-nya. Semua ini dapat terlaksana dengan baik berkat bantuan dari berbagai pihak yang telah menyediakan waktunya bagi penulis. Dalam pelaksanaan skripsi ini, penulis mendapat dukungan dan masukan yang tak ternilai dari banyak pihak. Dan dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ir. Yulianto S. Nugroho, MSc., PhD. sebagai dosen pembimbing atas kontribusinya dalam memberikan judul, bimbingan, dan diskusi.
2. Seluruh dosen pengajar di DTM FTUI yang telah memberikan bimbingan dan ilmunya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Ibu Euis, Mbak Yani dan seluruh staff di UPT BPP Biomaterial LIPI Cibinong atas bantuannya dalam penentuan komposisi sampel kayu.
4. Mas Syarief, Mas Udiyono, Mas Yasin, Bapak Naryono, Mbak Tina, dan seluruh staff DTM-FTUI.
5. Kedua orang tua, kakak dan adik penulis atas segala hal yang telah diberikan kepada penulis.
6. Sdr. Nurjanah SSi. yang senantiasa memberikan dukungan dan semangat.
7. Seluruh rekan Mesin khususnya angkatan 2004 dan seluruh rekan kerja di lantai 1 DTM FTUI.

8. Dan seluruh pihak yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan masukan, kritik, dan saran yang membangun dari setiap orang yang membaca skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi setiap pembaca.



Depok, 4 Agustus 2008

Gatot Rangga Gumilang  
NPM 040402032Y

# DAFTAR ISI

PERNYATAAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
PENGESAHAN	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR SIMBOL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	4
1.3 TUJUAN PENELITIAN	4
1.4 PEMBATAHAN MASALAH	4
1.5 METODOLOGI PENELITIAN	5
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	5
BAB II LANDASAN TEORI	7
2.1 DEFINISI DAN PROSES PEMBAKARAN	7
2.2 PERPINDAHAN KALOR	8
2.2.1 Radiasi	9
2.2.2 Metode Numerik	11
2.2.2.1 <i>Perpindahan Panas Secara Radiasi ke Benda Padat</i>	11
2.2.2.2 <i>Temperatur Permukaan dan Temperatur Bagian Dalam Benda Padat</i>	12
2.3 LAJU PRODUKSI KALOR	15



2.4 PENYEBARAN API PADA BENDA PADAT	17
BAB III PEMODELAN	23
3.1 FIRE DYNAMIC SIMULATOR	23
3.2 SKENARIO PEMODELAN	25
3.3 INPUT FILE	27
3.3.1 Pengaturan Batas Waktu dan Ruang	27
3.3.2 Pembuatan Model	28
3.3.3 Pendefinisian Kondisi Batas	29
3.3.4 Peralatan Pencatat Keluaran / <i>Output</i>	31
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	33
4.1 PENGAMATAN VISUAL	33
4.2 ANALISA WAKTU PENYALAN	36
4.2.1 Pengaruh Orientasi terhadap Waktu Penyalaan	36
4.2.2 Pengaruh Temperatur Heater terhadap Waktu Penyalaan	42
4.2.3 Pengaruh Jarak Sampel-Heater Terhadap Waktu Penyalaan	45
4.3 ANALISA PENYEBARAN API PADA SAMPEL	48
BAB V VALIDASI	52
5.1 VALIDASI MESH	52
5.2 PENGARUH GEOMETRI HEATER	53
5.3 REPEATABILITY	55
5.4 PERBANDINGAN DENGAN DATA EKSPERIMENTAL	56
BAB VI KESIMPULAN	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN	62
LAMPIRAN A INPUT FILE	63
LAMPIRAN B DATA KAYU DARI LAB BIOMATERIAL	67
LAMPIRAN C GRAFIK HASIL SIMULASI	69

## DAFTAR GAMBAR

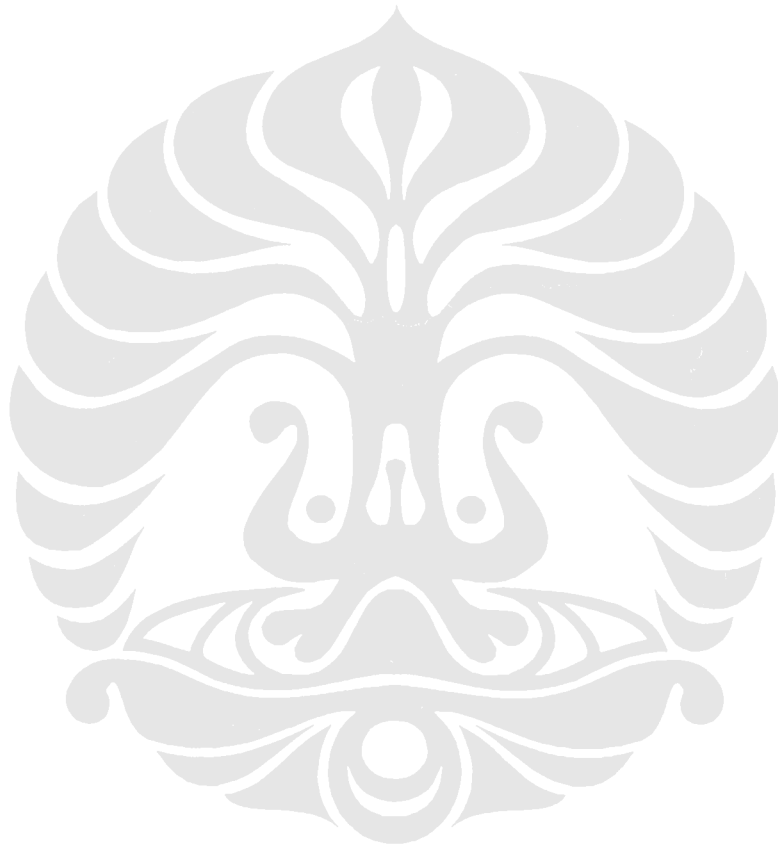
<b>Gambar 2.1</b>	Faktor bentuk radiasi	10
<b>Gambar 2.2</b>	Grafik faktor pandang	11
<b>Gambar 2.3</b>	Nomenklatur untuk penyelesaian numerik konduksi dua dimensi	12
<b>Gambar 2.4</b>	Dinding datar satu dimensi	14
<b>Gambar 2.5</b>	Dinding dua dimensi dengan batas konveksi	14
<b>Gambar 2.6</b>	Interaksi antara api yang menyebar dengan permukaan benda padat	19
<b>Gambar 2.7</b>	Perbandingan kecepatan api pada permukaan yang dimiringkan	20
<b>Gambar 2.8</b>	Penyebaran dari kain vertikal	20
<b>Gambar 2.9</b>	Padatan yang sedang mengalami pembakaran	21
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram file FDS dan Smokeview	23
<b>Gambar 3.2</b>	Perintah untuk mengeksekusi file	24
<b>Gambar 3.3</b>	Posisi dari heater dan sampel yang akan dimodelkan	26
<b>Gambar 3.4</b>	Sampel kayu dan posisi termokopel pada skenario pemodelan	27
<b>Gambar 3.5</b>	Berbagai orientasi permukaan yang digunakan	32
<b>Gambar 4.1</b>	Visualisasi dari penyalaan dan penyebaran api	33
<b>Gambar 4.2</b>	Visualisasi penyebaran temperatur pada berbagai orientasi permukaan	34
<b>Gambar 4.3</b>	Perbedaan perilaku api yang dipengaruhi pemanas	35
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik laju pelepasan kalor untuk berbagai orientasi dengan heater 600°C dan jarak 3cm	37
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik konsumsi oksigen untuk berbagai orientasi dengan heater 600°C dan jarak 3cm	38
<b>Gambar 4.6</b>	Grafik radar dari $t_{ig}$ untuk temperatur heater 600°C dan jarak	39

3cm

<b>Gambar 4.7</b>	Grafik perbandingan temperatur permukaan terhadap tiga variasi orientasi permukaan	40
<b>Gambar 4.8</b>	Perbandingan temperatur di bagian atas dan bawah sampel.	41
<b>Gambar 4.9</b>	Potongan ( <i>slice</i> ) file dari orientasi permukaan vertikal	42
<b>Gambar 4.10</b>	Grafik perbandingan laju pelepasan kalor untuk 2 macam temperatur heater	43
<b>Gambar 4.11</b>	Korelasi grafik HRR dengan konsumsi oksigen	44
<b>Gambar 4.12</b>	Perbandingan laju pelepasan kalor untuk dua macam jarak sampel-heater yang digunakan.	46
<b>Gambar 4.13</b>	Perbandingan konsumsi oksigen untuk dua macam jarak sampel-heater yang digunakan	47
<b>Gambar 4.14</b>	Korelasi antara heat flux yang mengenai sampel dengan jarak sampel	48
<b>Gambar 4.15</b>	Visualisasi penyebaran api setelah penyalaan	49
<b>Gambar 5.1</b>	Grafik perbandingan untuk 2 jenis mesh yang digunakan	52
<b>Gambar 5.2</b>	Berbagai skenario untuk mengetahui pengaruh geometri heater	53
<b>Gambar 5.3</b>	Grafik hasil perbandingan untuk mengetahui pengaruh geometri heater	54
<b>Gambar 5.4</b>	Grafik hasil perbandingan <i>repeatability</i> untuk laju pelepasan kalor dengan 2 kali simulasi	55
<b>Gambar 5.5</b>	Grafik perbandingan terhadap hasil dari eksperimen	57

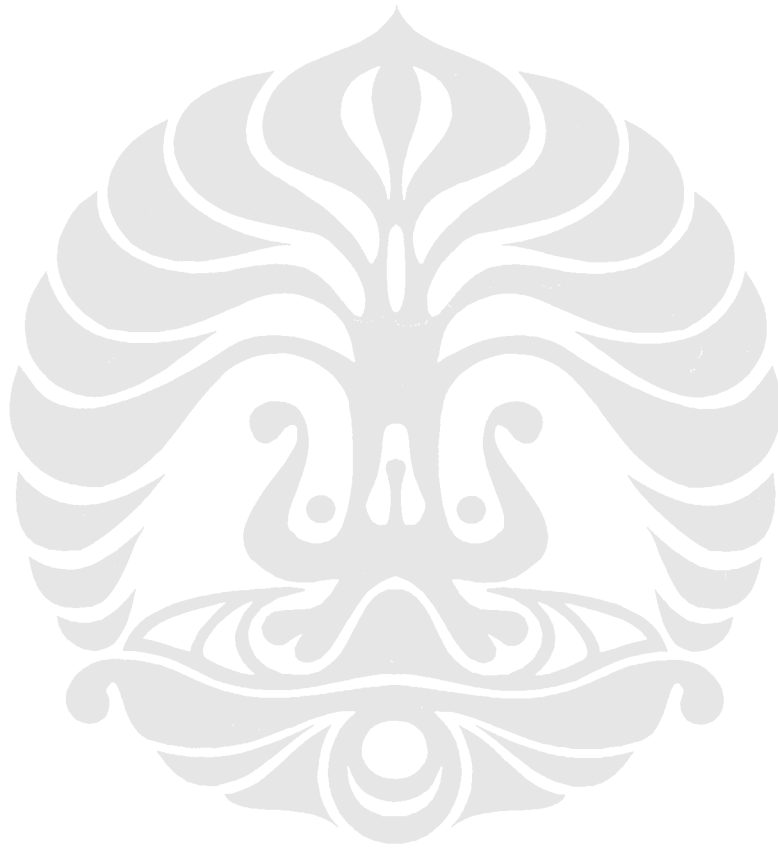
## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Kalor pembakaran dari beberapa bahan bakar pada 25° C (298K)	17
<b>Tabel 2.2</b> Kecepatan penyebaran api ke atas dari secarik kertas	18
<b>Tabel 4.1</b> Kecepatan penyebaran api seluruh skenario	50
<b>Tabel 4.2</b> Waktu penyalaan untuk seluruh skenario	51



## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN	62
LAMPIRAN A INPUT FILE	63
LAMPIRAN B DATA KAYU DARI LAB BIOMATERIAL	67
LAMPIRAN C GRAFIK HASIL SIMULASI	69



## DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Dimensi
$E_b$	energi radiasi per unit area <i>black body</i>	W/m <sup>2</sup>
$T_s$	temperatur absolut dari permukaan	K
$m$	massa	kg
$\sigma$	konstanta Stefan-Boltzmann ( $5,669 \times 10^{-8}$ )	W/m <sup>2</sup> .K <sup>4</sup>
$\varepsilon$	emisivitas	
$q''_y$	flux kalor pada arah sumbu y	W/m <sup>2</sup>
$k$	konduktivitas termal	W/mK
$L$	tebal benda dimana terdapat gradient temperatur	m
$q_y$	tingkat kalor akibat konduksi pada suatu area	W
$F_{1-2}$	faktor bentuk radiasi	
$\dot{Q}_{1,2}$	besar energi yang meninggalkan permukaan satu dan sampai ke permukaan dua	W
$A$	luas permukaan	m <sup>2</sup>
$\dot{Q}_c$	Laju pelepasan Kalor	kW/m <sup>2</sup>
$G$	total radiasi yang menimpa suatu permukaan	kW/m <sup>2</sup>
$J$	total radiasi yang meninggalkan suatu permukaan	kW/m <sup>2</sup>
$T_{m,n}^p$	Temperatur di nodal m,n pada waktu p	°C
$\Delta H_c$	kalor pembakaran dari <i>volatile</i>	kJ/g
$V$	laju aliran udara	m <sup>3</sup> /s
$\rho_{O_2}$	massa jenis oksigen pada tekanan dan temperatur normal	kg/m <sup>3</sup>
$\Delta H_{c,ox}$	kalor pembakaran berdasarkan konsumsi oksigen	kJ/g O <sub>2</sub>
$\dot{m}_f$	laju penurunan massa bahan bakar	Kg/s
$V_f$	kecepatan perambatan api	mm/s