

**PENELITIAN SIFAT BAKAR DENGAN
KALORIMETER API :
STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH ORIENTASI
DAN FLUKS KALOR TERHADAP PENYALAAAN DAN
PENYEBARAN API PADA KAYU TROPIS**

SKRIPSI

Oleh

TRI HARTANTO

04 04 02 708 2



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

**PENELITIAN SIFAT BAKAR DENGAN
KALORIMETER API :
STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH ORIENTASI
DAN FLUKS KALOR TERHADAP PENYALAAN DAN
PENYEBARAN API PADA KAYU TROPIS**

SKRIPSI

Oleh

TRI HARTANTO

04 04 02 708 2



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

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA**

GENAP 2007/2008

PERNYATAAN

Penelitian ini merupakan bagian dari kegiatan penelitian jangka panjang mengenai ” Studi Eksperimental Pengaruh Orientasi dan Fluks Kalor terhadap Penyalaan dan Penyebaran Api pada Kayu Tropis ” 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 izin tertulis dari peneliti utama.

Depok , juli 2008

Dosen Pembimbing

Ir. Yulianto.S.Nugroho, MSc.PhD

NIP : 132 048 274

7082

Tri Hartanto

NPM : 04 04 02

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

**PENELITIAN SIFAT BAKAR DENGAN KALORIMETER API :
STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH ORIENTASI DAN FLUKS KALOR
TERHADAP PENYALAAAN DAN PENYEBARAN API PADA KAYU TROPIS**

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, Juli 2008

Tri Hartanto

NPM. 04 04 02 7082

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul :

**PENELITIAN SIFAT BAKAR DENGAN KALORIMETER API :
STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH ORIENTASI DAN FLUKS KALOR
TERHADAP PENYALAAAN DAN PENYEBARAN API PADA KAYU TROPIS**

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, Juli 2008

Dosen Pembimbing

Ir. Yulianto S.N., MSc, Phd.

NIP. 132 048 274

UCAPAN TERIMA KASIH

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Semua ini dapat terlaksana dengan baik berkat bantuan dari berbagai pihak yang telah menyediakan waktunya bagi penulis, dan dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. **Ir. Yulianto S.N., MSc, PhD.** sebagai dosen pembimbing atas kontribusinya dalam memberikan judul, bimbingan, saran dan diskusi.
2. DR.Ir. Harinaldi, MEng selaku ketua Departemen Teknik Mesin FTUI.
3. Kedua orang tua dan kakak penulis yang senantiasa memberikan dukungan.
4. Sdr. Gatot Rangga Gumilang selaku rekan skripsi dan keluarga.
5. Mas Syarief, Mas Nurdin, Mas Yasin, Mas Udiyono, dan seluruh staf DTM-FTUI.
6. Seluruh teman-teman Mesin khususnya Angkatan 2004 dan seluruh rekan kerja di lantai satu Departemen Teknik Mesin FTUI
7. Dan seluruh pihak yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung.

Depok, Juli 2008

Tri Hartanto

NPM. 04 04 02 7082

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|---------|
| JUDUL | i |
| PERNYATAAN | ii |
| PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI | iii |
| PERSETUJUAN | iv |
| UCAPAN TERIMA KASIH | v |
| ABSTRAK | vi |
| ABSTRACT | vii |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL | xiv |
| DAFTAR SIMBOL | xv |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| I.1. Latar Belakang | 1 |
| I.2. Perumusan Masalah | 4 |
| I.3. Tujuan Penelitian | 5 |
| I.4. Pembatasan Masalah | 5 |
| I.5. Metodologi Penelitian | 6 |
| I.6. Sistematika Penulisan | 6 |
| | |
| BAB II DASAR TEORI | 8 |
| II.1. Teori Pembakaran | 8 |
| II.1.1. Definisi dan Proses Pembakaran | 8 |
| II.1.2. Karakteristik Pembakaran pada Kayu | 10 |
| II.2. Pengaruh Orientasi Pada Penyebaran Api | |
| Pembakaran Bahan Bakar Padat | 12 |
| II.3. Laju Produksi Kalor (<i>Heat Release Rate / HRR</i>) | 15 |
| II.3.1. Standar Pengujian Material | 15 |
| II.3.2. Definisi dan Fungsi Laju Produksi Kalor | 16 |
| II.3.3. Pengukuran Laju Produksi Kalor | 18 |

| | |
|--|----|
| BAB III EKSPERIMENTAL | 22 |
| III.1. Peralatan Eksperimental | 22 |
| III.2. Prosedur Pra-Pengujian | 25 |
| III.2.1. Peralatan Keamanan (<i>Safety Equipment</i>) | 26 |
| III.3. Persiapan dan Setting Alat Uji | 27 |
| III.4. Persiapan Sampel | 30 |
| III.5. Pengujian | 31 |
| III.6. Pasca Pengujian | 32 |
| | |
| BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN | 33 |
| IV.1. Pengamatan Visual | 33 |
| | |
| IV.2. Analisa Pola Penyebaran Api (<i>Flame Spread</i>) | 37 |
| IV.2.1. Analisa Pola Penyebaran Api (<i>Flame Spread</i>) yang Dipengaruhi oleh Jarak | 38 |
| IV.2.2. Analisa Pola Penyebaran Api (<i>Flame Spread</i>) yang Dipengaruhi oleh Fluks Kalor | 41 |
| IV.2.3. Analisa Pola Penyebaran Api (<i>Flame Spread</i>) yang Dipengaruhi oleh Arah Orientasi Kayu | 42 |
| IV.3. Analisa Laju Pelepasan Kalor (<i>Heat Release Rate</i>) | 48 |
| IV.3.1. Analisa Laju Pelepasan Kalor (<i>Heat Release Rate</i>) dengan Variasi Jarak Sampel | 48 |
| IV.3.2. Analisa Laju Pelepasan Kalor (<i>Heat Release Rate</i>) dengan Variasi Temperature | 51 |
| IV.3.3. Analisa Laju Pelepasan Kalor (<i>Heat Release Rate</i>) dengan Variasi Arah Orientasi Sampel Terhadap Heater | 54 |
| IV.4. Analisa Laju Penurunan Massa | 58 |
| IV.4.1. Analisa Laju Penurunan Massa dengan Variasi Jarak | 59 |
| IV.4.2. Analisa Laju Penurunan Massa dengan Variasi Fluks | 61 |
| IV.4.3. Analisa Laju Penurunan Massa dengan Variasi Arah Orientasi Sampel | 63 |

| | |
|--|----|
| IV.5. Analisa Hasil Repetisi (pengulangan) Eksperimen | 67 |
| IV.6. Analisa Perbandingan dengan Simulasi Software FDS | 69 |
| IV.6.1. Analisa Perbandingan dengan Simulasi Software FDS terhadap Penyebaran Api | 70 |
| IV.6.2. Analisa Perbandingan dengan Simulasi Software FDS terhadap Laju Pelepasan Kalor (<i>Heat Release Rate</i>) | 72 |
| IV.6.3. Analisa Perbandingan dengan Simulasi Software FDS terhadap Laju Penurunan Massa | 77 |
| | |
| BAB V KESIMPULAN | 81 |
| V.1. Kesimpulan | 81 |
| | |
| DAFTAR ACUAN | 82 |
| DAFTAR PUSTAKA | 83 |
| | |
| LAMPIRAN | 84 |

DAFTAR GAMBAR

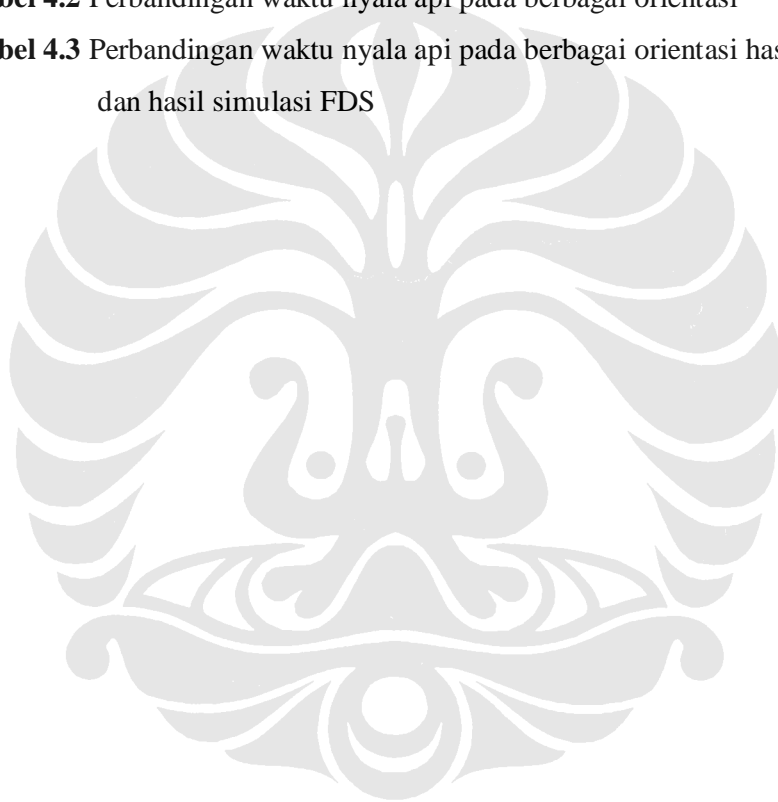
| | | |
|--------------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Beberapa cara uap bahan bakar dihasilkan dari padatan [Drysdale, 2003] | 9 |
| Gambar 2.2 | Penggambaran dari potongan kayu yang terbakar, atau sedang pirolisis [Drysdale, 2003] | 11 |
| Gambar 2.3 | Interaksi antara api yang menyebar dengan permukaan dari benda padat yang dapat terbakar (<i>combustible solid</i>) untuk berbagai sudut kemiringan : (a) -90° ; (b) -45° (c) 0° ; (d) $+45^\circ$; (e) $+90^\circ$. (a), (b), dan (c) adalah penyebaran <i>counter-current</i> sedangkan (d), dan (e) penyebaran <i>concurrent</i> . | 13 |
| Gambar 2.10 | 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 <i>pyrolysis</i> (lp). Sampel adalah kain katun sutra dengan lebar 0,457m panjang 1,524m dan densitasnya 103 g/m^2 (Markstein dan de Ris, 1972). | 14 |
| Gambar 3.1 | Kalorimeter api | 22 |
| Gambar 3.2 | Skema kalorimeter api beserta komponennya | 23 |
| Gambar 3.3 | Conical heater | 24 |
| Gambar 3.4 | (a) Posisi heater untuk posisi vertikal, (b) Posisi heater untuk arah miring, (c) Pemegang sampel untuk arah horizontal dengan heater dari bawah yang dilengkapi dua baut sebagai pemegang kayu. | 29 |
| Gambar 3.5 | Sampel kayu lapis (<i>plywood</i>) | 30 |
| Gambar 4.1. | Pengamatan visual pembakaran kayu | 33 |
| Gambar 4.2 | Fenomena api terdorong oleh kalor dari hetaer | 35 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.3 (a) heater menyala sampai selesai ; | |
| (b) heater sudah dimatikan ditengah – tengah eksperimen. | 36 |
| Gambar 4.4 (a) arah vertikal; (b) arah miring. | 37 |
| Gambar 4.5 Perbandingan penyebaran temperature pada arah vertikal dengan variasi jarak 3cm dan 5cm dengan fluks kalor sebesar 27 kW/m ² | 39 |
| Gambar 4.6 Pengamatan visual kondisi nyala api | 40 |
| Gambar 4.7 Perbandingan penyebaran temperature pada arah vertikal dengan variasi fluks kalor sebesar 27kW/m ² dan 14,6 kW/m ² dengan jaeak sampel 3cm | 41 |
| Gambar 4.8 Perbandingan penyebaran api dengan variasi arah sampel terhadap heater | 43 |
| Gambar 4.9 (a) Pengamatan visual arah miring, (b) Pengamatan visual arah vertikal, (c) Pengamatan visual arah horizontal | 45 |
| Gambar 4.10 Laju pelepasan kalor arah vertikal dengan jarak 3cm dan 5cm untuk fluks kalor 27 kW/m ² | 49 |
| Gambar 4.11 Konsentrasi oksigen arah vertikal dengan jarak 3cm dan 5cm untuk fluks kalor 27 kW/m ² | 49 |
| Gambar 4.12 Laju pelepasan kalor arah vertikal dengan jarak 3cm dengan fluks kalor 27 kW/m ² dan 14,6 kW/m ² | 52 |
| Gambar 4.13 Konsentrasi oksigen arah vertikal dengan jarak 3cm dengan fluks kalor 27 kW/m ² dan 14,6 kW/m ² | 52 |
| Gambar 4.14 Laju pelepasan kalor jarak 3cm dengan fluks kalor 14,6 kW/m ² dalam berbagai orientasi arah sampel | 55 |
| Gambar 4.15 Konsentrasi oksigen jarak 3cm dengan fluks kalor 14,6 kW/m ² dalam berbagai orientasi arah sampel | 55 |
| Gambar 4.16 Penurunan massa vertikal dengan fluks 27 kW/m ² pada jarak 3 cm dan 5 cm | 59 |
| Gambar 4.17 Laju penurunan massa dengan fluks 27 kW/m ² pada jarak 3 cm dan 5 cm | 60 |
| Gambar 4.18 Penurunan massa vertikal dengan fluks 27 kW/m ² dan 16,4 kW/m ² pada jarak 3 cm | 61 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.19 Laju penurunan massa dengan fluks 27 kW/m ² dan 16,4 kW/m ² pada jarak 3 cm | 62 |
| Gambar 4.20 Penurunan massa vertikal dengan fluks 16,4 kW/m ² pada jarak 3 cm dalam berbagai orientasi | 63 |
| Gambar 4.21 Laju penurunan massa dengan fluks 16,4 kW/m ² pada jarak 3 cm dala berbagai orientasi | 64 |
| Gambar 4.22 (a) Grafik radar waktu nyala pada jarak 3 cm 600° C; (b) Grafik radar wakyu nyala pada jarak 5 cm 600 ° C. | 66 |
| Gambar 4.23 (a) Temperature; (b) HRR; (c) Konsebrasi oksigen | 68 |
| Gambar 4.24 (a) perbandingan eksperimen dan fds dengan variasi jarak, (b) Perbandingan eksperimen dan fds dengan variasi fluks, (c) Perbandingan eksperimen dan fds variasi orientasi | 71 |
| Gambar 4.25 (a) Perbandingan HRR variasi jarak; (b) Perbandingan HRR variasi fluks; (c) Perbandingan HRR variasi orientasi | 73 |
| Gambar 4.26 (a) Perbandinagn konsentrasi oksigen variasi jarak; (b) Perbandingan konsentrasi oksigen variasi fluks | 75 |
| Gambar 4.27 (a) Perbandingan laju penurunan massa variasi jarak; (b) Perbandinganlaju penurunan massa variasi fluks; (c) Perbandingan laju penurunan massa variasi orientasi | 78 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Formasi volatile dari padatan yang dapat terbakar [Drysdale, 2003] | 9 |
| Tabel 2.2 Kecepatan penyebaran api | 12 |
| Tabel 2.3 Hasil Simulasi Pembakaran Pada Kursi Dengan Kain Pelapis yang Terjadi Dalam Suatu Ruangan [Babrauskas and Peacock, 1992] | 18 |
| Tabel 2.4 Kalor pembakaran dari beberapa bahan bakar pada 25° C (298K) | 20 |
| Tabel 4.1 Kecepatan penyebaran api | 47 |
| Tabel 4.2 Perbandingan waktu nyala api pada berbagai orientasi | 65 |
| Tabel 4.3 Perbandingan waktu nyala api pada berbagai orientasi hasil eksperimen dan hasil simulasi FDS | 80 |



DAFTAR SIMBOL

| | |
|-------------------|--|
| V | volume (m^3/s) |
| E_b | energi radiasi per unit area <i>black body</i> (W/m^2) |
| E | energi radiasi per unit area (W/m^2) |
| T_s | temperatur absolut dari permukaan (K) |
| m | massa (kg) |
| σ | konstanta Stefan-Boltzmann yang nilainya $5,669 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$ |
| ε | emisivitas |
| ρ | fraksi radiasi yang dipantulkan/refleksifitas |
| α | fraksi radiasi yang diserap /absorptivitas |
| τ | fraksi radiasi yang diteruskan /transmisivitas |
| A | luas permukaan (m^2) |
| \dot{Q}_c | Laju pelepasan Kalor (kW/m^2) |
| A_f | luas permukaan bahan bakar (m^2) |
| ΔH_c | kalor pembakaran dari <i>volatile</i> (kJ/g) |
| V | laju aliran udara (m^3/s), |
| ρ_{O_2} | adalah massa jenis oksigen (kg/m^3) pada tekanan dan temperatur normal |
| η_{O_2} | fraksi mol oksigen dalam gas buang dimana uap air dan gas asam telah dihilangkan. |
| $\Delta H_{c,ox}$ | kalor pembakaran berdasarkan konsumsi oksigen (kJ/g O_2) |
| q | Laju pelepasan kalor / <i>heat release rate</i> (kW) |
| C | Konstanta kalibrasi untuk analisis konsumsi Oksigen (O_2) ($m^{1/2} kg^{1/2} k^{1/2}$) |
| ΔP | Penurunan Tekanan di Plat Orifis (Pa) |
| T_e | Temperatur Gas di Plat (K) |
| X_{O_2} | Fraksi Mol O_2 terukur pada Gas Buang |