



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERANCANGAN DAN PENGUJIAN PENUTUP DIAFRAGMA
ALAT UJI RADIASI TERMAL**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

REZA ADYTIA

0806368830

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

KEKHUSUSAN PROGRAM PENDIDIKAN SARJANA EKSTENSI

DEPOK


JUNI 2011

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Reza Adytia

NPM : 0806368830

Tanda Tangan : 

Tanggal : 20 Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Reza Adytia
NPM : 0806368830
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Perancangan dan Pengujian Penutup Diafragma Alat Uji Radiasi Termal

Tesis berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Penyandang : Prof. Ir. Yulianto S. Nugroho, MSc., PhD

Penyandang : Prof. Dr. Ir. I Made Kartika D, Dipl. Ing

Penyandang : Dr. Ir. R. Danardono A.S

Penyandang : Prof. Dr. -Ing. Ir. Raldi Artono Koestoer

Ditandatangani di : Depok

Tanggal : 20 Juni 2011

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur bagi Allah SWT., atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulisan skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi yang berjudul **Perancangan dan Pengujian Penutup Diafragma Alat Uji Radiasi Termal** ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan Sarjana Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia.

Selama proses penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak. Maka dari itu, dengan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Bapak Prof.Ir. Yulianto S. Nugroho, MSc., PhD, selaku dosen penasehat akademis sekaligus dosen pembimbing tugas akhir yang telah membimbing, mengarahkan, dan memberi koreksi selama penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Ir. R. Danardono A.S., selaku pembimbing lapangan tugas akhir yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Syarifudin dan bapak Yasin selaku teknisi lab DTM yang telah membantu dalam proses pembuatan dan pengujian alat penutup diafragma.
4. Ayahanda dan Ibunda, yang selama ini telah banyak memberikan dukungan moral dan materiil serta nasihat hidup bagi penulis sampai sekarang.
5. Kakak-kakak (Kak Alul, Kak Iwan, & Kak Yudit) tercinta yang selalu memberikan saran dan doa yang sangat bermanfaat dan inspiratif.
6. Teman-teman mahasiswa satu bimbingan (Stevanus, Cahyo, Tyo, Hendar, Hendra, Fachrurrozi) yang telah memberikan bantuan dan kerjasama dalam proses pengujian lab dan penyusunan skripsi.
7. Teman-teman mahasiswa S1 PPSE angkatan 2007, 2008 dan 2009 yang telah banyak membantu dan menjadi salah satu tempat untuk bertukar informasi.

Penulis berharap semoga laporan ini dapat membawa manfaat dan memberikan sumbangan pengetahuan yang berguna bagi pembaca. Semoga Allah SWT. memberi balasan atas bantuan yang telah diberikan oleh semua pihak, amin.

Depok, 20 Juni 2011

Penulis

PALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di

nama ini:

Nama : Reza Adytia

NPM : 0806368830

Program Studi : Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Kejuruan : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

Untuk pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**PERANCANGAN DAN PENGUJIAN PENUTUP DIAFRAGMA ALAT UJI
RADIASI TERMAL**

serta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/transformasi, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Dengan pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 20 Juni 2011

Yang menyatakan,



(Reza Adytia)

ABSTRAK

Nama : Reza Adytia
Program studi : Teknik mesin
Judul : Perancangan dan Pengujian Penutup Diafragma Alat Uji Radiasi Termal

Bahaya kebakaran dari nyala api yang berasal dari panas radiasi merupakan suatu fenomena yang mungkin masih belum banyak diketahui oleh orang banyak. Berbagai material mudah terbakar dapat menjadi sumber titik nyala api baru apabila terjadi suatu kasus kebakaran, sehingga diperlukan suatu penelitian tentang ketahanan suatu material terhadap radiasi panas. Penelitian ini menggunakan alat uji radiasi berupa kalorimeter berbentuk kerucut dengan pemanas 4000 W dengan temperatur maksimal 600°C. Alat uji nantinya dilengkapi dengan perangkat berupa penutup berbentuk diafragma yang berfungsi untuk menjaga temperatur bagian bawah pemanas tetap stabil dan lebih aman untuk digunakan pada saat pengujian.

Pengujian pada penelitian ini dilakukan dengan mengukur nilai fluks kalor dengan variasi temperatur dan jarak dengan sensor fluks kalor. Pengukuran lainnya yaitu untuk mengetahui pengaruh radiasi terhadap sampel dengan mengetahui titik terbentuk api hingga padam dan temperatur sampel sesaat dimulai pengujian. Pengujian keseluruhan prosesnya menggunakan perangkat pengumpul data yaitu Advantech ADAMview untuk mendapatkan data hasil pengujian.

Kata kunci : kebakaran, material, pemanas, radiasi, fluks kalor, sampel

ABSTRACT

Name : Reza Adytia
Study Program : Mechanical Engineering
Title : Design and Testing of Diafragm Shutter Pad of Thermal Radiation Testing Apparatus

The fire hazard from the flames coming from the heat radiation is a phenomenon that probably is not widely known by many people. Various combustible materials can be a source of new flame point if there was a case of fire, thus requiring a study on the resistance of a material to heat radiation. This study of radiation is using a form cone calorimeter with 4000 W heater with a maximum temperature of 600 ° C. Testing devices will be equipped with a device shaped diaphragm cover which serves to keep the bottom of the heater temperature remains stable and safer for use at the time of testing.

Testing in this research is performed by measuring the heat flux with temperature variation and the distance to the heat flux sensor. Another measurement is to determine the effect of radiation on the sample by knowing the starting point until the the flames extinguished and just started testing the sample temperature. The overall test process using the device as data collection is Advantech ADAMview to get the test result data.

Key words: fire, materials, heater, of radiation, heat flux, the sample

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACK.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.1.1 Fenomena Radiasi Panas Terhadap Berbagai Jenis Material Pada Kasus Kebakaran	1
1.1.2 Bahaya Api Dan Pencegahan	3
1.1.3 Standar ASTM Pengujian Api.....	5
1.1.4 Cone Calorimeter Dan Perisai Radiasi	7
1.2. Tujuan Penelitian	7
1.3. Batasan Masalah.....	8
1.4. Metodologi Penelitian	8
1.5. Sistematika Penulisan Laporan	9
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	11
2.1. Perpindahan Panas Secara Radiasi.....	11
2.2. Sifat-sifat Radiasi.....	13
2.3. Faktor Bentuk Radiasi.....	15
2.4. Perisai Radiasi.....	18
2.5. Cone Calorimeter	20
2.6. Heat Release Rate	23
BAB 3 PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SHUTTER PAD SERTA REKONDISI CONE CALORIMETER	25
3.1. Shuter Pad Standar ASTM E1354	25
3.2. Perancangan Desain Shutter Pad.....	26
3.3. Proses Pemilihan Material Dan Pembuatan Shutter Pad.....	28
3.4. Rekondisi Cone Calorimeter	34
3.5. Metodologi Penelitian	35
3.5.1 Karakterisasi Fisik Alat Uji	35
3.5.2 Prosedur Persiapan Pengujian	36
3.5.3 Prosedur Running Dan Pengambilan Data	38
3.5.4 Diagram Alir Penelitian.....	40
BAB 4 ANALISA HASIL DATA PENGUJIAN.....	42
4.1. Pengukuran Fluks Kalor Dengan Variasi Temperatur	42
4.2. Pengukuran Fluks Kalor Dengan Variasi Jarak Radiasi	43

4.3. Pengukuran Terhadap Sampel.....	46
4.3.1 Temperatur 500°C	46
4.3.2 Temperatur 550°C	47
4.3.3 Temperatur 600°C	48
 BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.	 51
5.1. Kesimpulan	51
5.2. Saran.....	52

DAFTAR REFERENSI
LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. (a) Segitiga Api	3
Gambar 1.1. (b) Piramida Api.....	3
Gambar 1.2. (a) Logo ASM	6
Gambar 1.2. (b) Logo ASTM.....	6
Gambar 2.1. Spektrum elektromagnetik	11
Gambar 2.2. Sifat yang menunjukkan pengaruh radiasi yang datang.....	13
Gambar 2.3. (a) Refleksi Spekular.....	14
Gambar 2.3. (b) Refleksi Baur	14
Gambar 2.4. Model daya emisi yang digunakan untuk menurunkan hukum Kirchoff.....	15
Gambar 2.5. Faktor bentuk radiasi pada model <i>conical heater</i> terhadap <i>sample</i>	16
Gambar 2.6. Faktor bentuk radiasi untuk radiasi antara dua piring konsentrik sejajar	17
Gambar 2.7. Radiasi antara dua bidang sejajar tak berhingga tanpa perisai (a) dan dengan perisai (b)	18
Gambar 2.8. <i>Cone calorimeter</i> standar ASTM E 1354.....	21
Gambar 2.9. Tingkat panas pembakaran pada jenis bahan bakar	24
Gambar 3.1. Contoh alat uji cone calorimeter standar ASTM E 1354 (ISO 5660)	25
Gambar 3.2. Desain pertama shutter pad	27
Gambar 3.3. Perbandingan tiga jenis bahan isolasi.....	29
Gambar 3.4. Sifat-sifat pasir silika menurut perlakuan panas	29
Gambar 3.5. Sifat pasir silika terhadap lingkungan	30
Gambar 3.6. Desain 4 bilah pada <i>shutter pad</i>	32
Gambar 3.7. Penempatan shutter pad dan poros ulir penghubungnya.....	32
Gambar 3.8. Cone calorimeter dengan penggerak shutter pad	34
Gambar 3.9. Diagram Alir Penelitian	41
Gambar 4.1. Grafik Fluks Kalor dan Hubungan Polynomial	42
Gambar 4.2. Perhitungan polynomial hubungan antara fluks kalor dan temperatur.....	43
Gambar 4.3. Grafik perbandingan fluks kalor variasi jarak pada temperatur 550°C.....	44
Gambar 4.4. Grafik perbandingan fluks kalor variasi jarak pada temperatur 600°C.....	45
Gambar 4.5. Grafik perbandingan fluks kalor variasi jarak dan 5 titik pada temperatur 500°C	45
Gambar 4.6. Grafik perbandingan fluks kalor variasi jarak dan 5 titik pada temperatur 600°C	46
Gambar 4.7. Grafik pengujian sampel kertas dan karton pada temperatur 500°C.....	47
Gambar 4.8. Grafik pengujian sampel kertas dan karton pada temperatur 550°C.....	48

Gambar 4.9. Grafik pengujian sampel kertas dan karton pada temperatur 600°C.....	49
Gambar 4.10. Konstanta temperatur fisik bahan.....	50



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

1.1.1 Fenomena Radiasi Panas Terhadap Berbagai Jenis Material Pada Kasus Kebakaran

Laju pertumbuhan penduduk di dunia, khususnya di Indonesia saat ini sudah menjadi suatu hal yang nyata seiring dengan meningkatnya persentase tingkat pertumbuhan penduduk Indonesia sebesar 1,49 % per tahun (menurut hasil sensus penduduk Biro Pusat Statistik pada bulan Agustus tahun 2010). Dari data tersebut, dapat ditelusuri rata-rata tingkat kepadatan penduduk sebesar 124 orang per km², yang dimana provinsi DKI Jakarta menduduki peringkat pertama dengan tingkat kepadatan penduduk sebesar 14.400 orang per km². Hal ini dapat disimpulkan bahwa tingkat lahan hunian di DKI Jakarta sangat jauh dari yang dibutuhkan yaitu dengan luas total 650 km² harus menampung sekitar 9,6 juta penduduk, dimana idealnya hanya dihuni untuk 6,5 juta penduduk. Dari kondisi seperti itu pula, bisa dibayangkan rentannya resiko tingkat keamanan khususnya pencegahan terjadinya kebakaran yang semula kecil menjadi besar karena berbagai faktor, dimulai dari jarak sumber api, material yang mudah terbakar dan akses penunjang pemadam kebakaran yang minim. Intensitas terjadinya kebakaran di daerah pemukiman dapat meningkat per tahunnya bahkan menjadi pemandangan yang biasa apabila tidak ada penanganan khusus dari pemerintah setempat seperti ketersediaan hidran sebagai sumber air yang strategis dan mencukupi, sosialisasi pencegahan kebakaran, dan penataan ulang kawasan padat penduduk sesuai dengan RTRW (Rancangan Tata Ruang dan Wilayah) yang sudah diatur oleh pemerintah melalui Peraturan Pemerintah Pekerjaan Umum No.26 Tahun 2008. Kasus kebakaran pada umumnya merupakan suatu kejadian yang penyebabnya bisa disengaja maupun tidak disengaja sekalipun ada faktor kelalaian dari manusia, namun nyala api yang pada mulanya masih berskala kecil memungkinkan akan terjadinya kebakaran yang lebih besar dan menjalar ke setiap arah dimana ada faktor yang menyebabkan api mudah untuk menyala bahkan jaraknya yang masih jauh dari sumber api.

Proses radiasi panas pada umumnya memiliki sifat-sifat khusus yang apabila energi radiasi menimpa permukaan suatu bahan, maka sebagian dari radiasi tersebut dipantulkan (refleksi), sebagian diserap (absorpsi), dan sebagian lagi akan diteruskan (transmisi). Jika suatu material, contohnya adalah kayu yang dimana mempunyai tingkat emisivitas (ϵ) sebesar 0,82-0,92 atau mendekati nilai 1 (benda berwarna gelap/hitam pekat) maka mempunyai 2 arti yaitu laju kalor yang dipancarkan dari material kayu semakin besar dan menyerap hampir semua kalor yang dipancarkan material lain pada kayu tersebut. Beda halnya apabila material yang digunakan adalah jenis logam yang mempunyai karakteristik yang berbeda yaitu warna yang lebih terang seperti aluminium. Mengetahui perbedaan tingkat emisivitas dari berbagai macam jenis material baik logam maupun non logam, maka bisa dihubungkan dengan uji ketahanan dari suatu produk atau barang yang menggunakan bahan baku dari material tertentu terhadap radiasi panas dan kelayakan standar keselamatan barang yang diproduksi sebelum dipasarkan. Pentingnya mengetahui hasil pengujian tersebut tidak terlepas dari faktor kejadian didalam kehidupan di sekeliling kita, dimana baik didalam rumah, gedung maupun tempat umum terdapat banyak sekali barang-barang/perabotan yang terbuat dari berbagai jenis material. Setiap benda mempunyai resiko yang sama terhadap bahaya kebakaran dan posisi benda dengan sumber api yang meskipun berjauhan tidak serta merta mengurangi perkembangan api, karena tidak pernah disadari jika benda yang menerima radiasi panas itu mempunyai tingkat emisivitas yang tinggi maka akan mengakibatkan benda tersebut mengalami proses pemanasan sehingga timbul reaksi ketika menerima beban kalor dari sumber eksternal (api) sehingga memicu perkembangan api dan membahayakan keselamatan penghuni di sekitarnya. Inilah yang menjadi tugas dari pemadam kebakaran untuk segera melakukan pemadaman ke pusat titik api dan sekaligus membuat perisai air sebagai pemisah antara sumber api dengan daerah sekitarnya untuk mengurangi laju kalor yang diterima oleh benda-benda yang tidak terbakar.

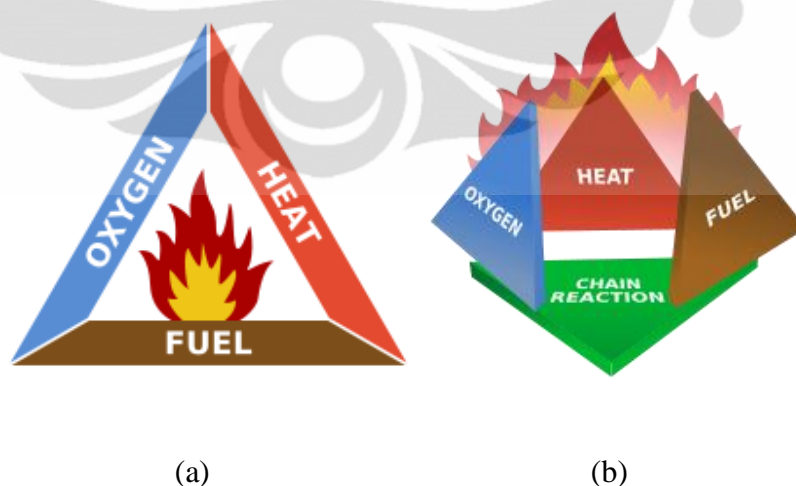
Pada setiap kasus terjadinya kebakaran, terutama pada suatu bangunan, akan melewati tiga fase berdasarkan tingkat temperturnya, yaitu :

- a) Fase pertumbuhan (*growth period*), $T < 250^{\circ}\text{C}$

- b) Fase pembakaran mantap (*steady combustion period*), T 250 - 1000°C
- c) Fase surut (*decay period*), temperatur turun dari 1000°C

1.1.2 Bahaya Api Dan Pencegahan

Elemen api mempunyai dua sisi yang saling berlawanan, bisa menguntungkan dan terkadang bisa merugikan apabila penggunaannya diluar kendali atau tidak diinginkan. Api yang timbul pada dasarnya membutuhkan tiga komponen utama yang diantaranya adanya bahan bakar (*fuel*), oksigen (O_2), dan panas (*heat*) sebagai pemicunya. Ketika suatu zat bahan bakar dipanaskan sampai mencapai suhu pengapian, maka api akan menyala dan terus menyala selama bahan bakar tetap berada pada suhu yang tepat dan ketersediaan oksigen yang mencukupi. Dari ketiga komponen inilah biasa dinamakan sebagai segitiga api, namun dengan ketiga komponen tersebut kebakaran belum terjadi dan hanya menghasilkan pijar. Untuk berlangsungnya suatu pembakaran, maka dibutuhkan komponen keempat yaitu rantai reaksi kimia (*chemical chain reaction*). Teori ini lebih dikenal sebagai Piramida Api. Rantai reaksi kimia adalah peristiwa dimana ketiga elemen diatas saling bereaksi secara kimiawi, sehingga yang dihasilkan bukan hanya pijar tetapi berupa nyala api atau peristiwa pembakaran.



Gambar 1.1 (a) Segitiga Api, (b) Piramida Api
(Sumber : www.cablesystems.co.uk/fire-triangle.php)

Untuk menanggulangi bahaya kebakaran, ada berbagai cara untuk mencegah bahaya kebakaran salah satunya pada bangunan bertingkat yang menerapkan *fire safety design* dengan komponen utama yaitu :

- a) *Fire Protection System*, yang mencakup *Active Fire Protection System/Sistem Proteksi Aktif* (deteksi api dan alarm, APAR, hidran, sistem sprinkle otomatis) dan *Passive Fire Protection System/Sistem Proteksi Pasif* (pemilihan material bangunan).
- b) *Fire Safety Management*, yang terdiri dari pola pengelolaan/pengendalian unsur-unsur sumber daya manusia, sistem dan peralatan, informasi dan data teknis serta perlengkapan penunjang lainnya yang bertujuan untuk menjamin dan meningkatkan tingkat keamanan pada suatu bangunan terhadap bahaya kebakaran.

Untuk lebih mendalam, dapat dilihat bagaimana persyaratan sebuah bangunan mengenai bahaya akan kebakaran yang diatur dalam Undang-undang Republik Indonesia No.28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung (pasal 17, 19, dan 30) dan diatur pula dalam Peraturan Daerah Provinsi DKI Jakarta No.8 Tahun 2008 tentang Pencegahan dan Penanggulangan Bahaya Kebakaran. Jika kebakaran terlanjur terjadi maka perlu dilakukan tindakan pemadaman dengan mempertimbangkan unsur-unsur dan reaksi yang membentuk terjadinya api, yaitu dengan cara memisahkan salah satu dari unsur-unsur tersebut, ataupun reaksi yang terjadi. Terdapat 4 teknik pemadaman api, yaitu :

- a) *Smothering* (menyelimuti) : teknik pemadaman api dengan cara memisahkan uap bahan bakar dengan udara. Pemadaman kebakaran dengan cara ini dapat lebih cepat apabila uap yang terbentuk dapat terkumpul di dalam daerah yang terbakar, dan proses penyerapan panas oleh uap akan berakhir apabila uap tersebut mulai mengembun, dimana dalam proses pengembunan ini akan dilepaskan sejumlah panas.
- b) *Cooling* (mendinginkan) : teknik pemadaman dengan cara menyerap panas dari bahan bakar yang terbakar, sehingga mencegah berkembangnya proses pembakaran.

- c) *Starvation* (mengurangi atau memisahkan bahan bakar) : teknik pemadaman dengan cara memisahkan unsur bahan bakar dari sumber api.
- d) *Breaking Chain Reaction* : teknik pemadaman dengan cara memutuskan rantai reaksi kimia/reaksi pembakaran, atau dengan menangkap radikal bebas seperti OH⁻ dan H⁺, agar proses pembakaran tidak berlanjut. Cara ini menggunakan bahan kimia yang bernama Halon, bereaksi untuk memisahkan jenis kimia aktif pada reaksi nyala api.

1.1.3 Standar ASTM Pengujian Api

ASTM International merupakan organisasi internasional bersifat sukarela yang mengembangkan standarisasi teknik untuk material, produk, sistem dan jasa. ASTM International yang berpusat di Amerika Serikat merupakan singkatan dari *American Society for Testing and Material*, dibentuk pertama kali pada tahun 1898 oleh sekelompok insiyur dan ilmuwan yang pada mulanya mengatasi bahan baku besi pada rel kereta api yang selalu bermasalah. Saat ini ASTM mempunyai lebih dari 12.000 standar dan banyak diantaranya digunakan pada negara-negara maju dan berkembang dalam penelitian akademisi ataupun industri. ASTM saling berhubungan dengan ASM (*American Society for Metals*), meskipun keduanya sama-sama menyajikan ilmu pengetahuan mengenai material namun berbeda secara harfiah. ASM adalah asosiasi yang mengembangkan keilmuan yang berhubungan dengan material khususnya logam, sedangkan ASTM mengeluarkan standarisasi untuk pengujian material. ASM biasanya mengeluarkan *handbook*, *references*, mengadakan pelatihan, mengadakan seminar dan sebagainya. ASTM mengeluarkan (menjual) buku dan CD yang berisi standard pengujian yang sering digunakan untuk penelitian akademik dan industri.



(a)



(b)

Gambar 1.2 (a). Logo ASM, (b). Logo ASTM

(Sumber : http://en.wikipedia.org/wiki/ASTM_International & <http://www.asminternational.org/portal/site/www/>)

Dari tahun ke tahun, banyak diterbitkan standarisasi pengujian material terbaru yang disesuaikan dengan indikasi masalah yang timbul dalam penggunaannya. Setiap standar yang dikeluarkan akan dijadikan sebagai acuan dasar dan dapat diikuti secara universal. Salah satunya adalah yang berhubungan dengan pengujian panas/api terhadap material. Ada beberapa standar yang dikeluarkan oleh ASTM mengenai *Explosion of Standards* pada periode 1979-2003, diantaranya mengembangkan standar E 119 (*Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials*) sebagai acuan menjadi beberapa standar baru seperti : E 814, “*Test Method for Fire Tests of Through-Penetration Fire Stops*”; E 1725, “*Test Method for Fire Tests of Fire-Resistive Barrier Systems for Electrical System Components*”; dan E 1966, “*Test Method for Fire-Resistive Joint Systems*”. Perkembangan pengujian terhadap api menjadi lebih spesifik dan mendalam seiring dengan fenomena yang terjadi dari suatu kasus kebakaran, salah satunya yaitu standar E 906, “*Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products*”. Standarisasi ini kemudian oleh Universitas Ohio menamakan alat ujinya sebagai *calorimeter* dan menjadi standar yang paling sering digunakan. Standar ini juga merupakan asal muasal dari standar E 1354, “*Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using an Oxygen Consumption Calorimeter*”, dimana alatnya dinamakan sebagai *cone calorimeter* dan pada penelitian kali ini oleh penulis alat tersebut diadopsi kembali sebagai alat uji. Alat uji pada penelitian ini sebelumnya telah dibuat oleh alumni Teknik Mesin UI dan dikembangkan kembali dengan menambah perangkat tambahan berupa perisai radiasi dan disebut dengan *shutter pad*.

1.1.4 Cone Calorimeter Dan Perisai Radiasi

Perpindahan kalor/panas dapat merambat dengan tiga cara, yaitu secara konduksi, konveksi dan radiasi. Konduksi dan konveksi mempunyai karakteristik yang sama yaitu kalor merambat melalui suatu medium, beda dengan radiasi yang tidak memerlukan medium dan merupakan perpindahan kalor dalam bentuk gelombang elektromagnetik, seperti cahaya tampak (merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, ungu), infra merah dan ultraviolet alias ultra ungu. Pada kasus kebakaran, radiasi kalor berperan cukup penting karena sangat dominan sehingga panas yang dipancarkan cepat menyebar ke benda disekelilingnya dan memicu berkembangnya titik api yang baru. Benda-benda yang berada disekitar sumber kalor mempunyai ketahanan radiasi yang berbeda-beda tergantung pada jarak dengan pusat api, emisivitas material, dan lama waktu radiasi yang diserap hingga menyala. Ada suatu alat yang dapat memberikan penjelasan secara ilmiah tentang pengaruh radiasi panas terhadap suatu material, dimana alat ini mampu memberikan simulasi bagaimana proses terjadinya nyala api hingga sampai terbakar, laju panas yang dihasilkan (*heat release rate*), menganalisa unsur gas yang terkandung didalam asap hasil pembakaran dan mengetahui perbedaan massa material saat sebelum dan sesudah terjadi pembakaran. Manfaat yang didapat dari alat ini ialah mudah memahami dan mengetahui secara langsung jenis material yang mudah terbakar dan yang tidak, yang pada nantinya memberikan informasi apakah material yang dipilih sebagai bahan baku cukup aman untuk digunakan dan lebih tahan terhadap panas.

Pada pengujian alat ini, akan diberikan satu komponen tambahan yang dipasangkan ke alat utama (*cone calorimeter*) yaitu berupa perisai radiasi (*radiation shield*) yang ditempatkan diantara bagian bawah *conical heater* dengan bagian atas sampel yang diujikan. Hal ini bertujuan untuk tetap menjaga kondisi temperatur awal sampel tidak berubah ($T_i = 0$) selama *conical heater* dipanaskan sampai pada temperatur maksimal. Untuk pembahasan perisai radiasi yang juga disebut dengan *shutter pad* akan dibahas lebih lanjut pada bab selanjutnya.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah untuk merancang, membuat dan menguji komponen *shutter pad* sebagai perisai radiasi pada alat *cone calorimeter*

yang sebelumnya sudah dibuat. Komponen ini berfungsi sebagai penahan laju panas dari radiasi yang dipancarkan oleh *conical heater* sehingga tidak mengganggu proses pengujian sampel yang tetap dijaga temperatur awalnya sebelum dipanaskan. Dengan adanya komponen ini diharapkan ada perbedaan dari hasil data penelitian sebelumnya dan dijadikan sebagai komponen utama yang bersifat permanen. Pada penelitian ini juga akan diukur massa dari sampel yang diuji untuk diketahui perbandingannya di saat sebelum dan sesudah dipanaskan.

1.3. Batasan Masalah

Agar lebih terarah maka penelitian ini dilakukan dengan mempertimbangkan batasan-batasan sebagai berikut :

- a) Penelitian dilakukan dengan menggunakan *conical heater* dengan daya 4000 Watt dan skala laboratorium.
- b) Pembuatan *shutter pad* sebagai perisai radiasi berikut dengan mekanisme penggerakannya.
- c) Analisa pengaruh *shutter pad* yang dibuat terhadap radiasi panas dari *conical heater*.
- d) Pengujian sampel dilakukan dalam orientasi horizontal.
- e) Pengaruh adanya konveksi diabaikan, karena nilainya sangat kecil.
- f) Material yang dijadikan sebagai sampel uji adalah material yang sering dan banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

1.4. Metodologi Penelitian

Untuk memperoleh data-data yang diperlukan guna menyusun laporan penelitian ini dilakukan dengan berbagai metode, yaitu :

- a) Metode Observasi
Pengamatan dilakukan dengan cara melihat langsung dan mempelajari fisik dan cara kerja dari alat utama (*cone calorimeter*) untuk mendapatkan gambaran mengenai rancangan dan pembuatan komponen *shutter pad* agar dapat ditempatkan dengan mudah dan sesuai dengan kapasitas alat utamanya.

b) Metode Penelitian

Melakukan pengujian ulang terhadap berbagai macam material dengan variasi waktu dan temperatur yang dipengaruhi dengan adanya *shutter pad*.

c) Metode Interview

Pengamatan dilakukan melalui diskusi dengan berbagai pihak yang bersangkutan dengan objek permasalahan yang dibahas.

d) Metode Kepustakaan

Melakukan studi literatur dari berbagai sumber yang sesuai dengan pokok pembahasan.

1.5 Sistematika Penulisan Laporan

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Merupakan pembahasan dari teori-teori dasar *cone calorimeter*, radiasi panas, perisai radiasi dan lainnya yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan.

BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SHUTTER PAD DAN REKONDISI CONE CALORIMETER

Penjelasan mengenai rancangan dan pembuatan komponen *shutter pad* yang dibuat dan informasi-informasi lainnya yang berhubungan, serta penyesuaiannya dengan alat utama (*cone calorimeter*). Menjelaskan juga metodologi penelitian yang dilakukan secara eksperimental.

BAB IV ANALISA HASIL DATA PENGUJIAN

Menjelaskan cara pengolahan hasil data yang telah didapat dari pengujian sampel berikut dengan analisisnya.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan perumusan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan berikut disertai dengan saran-saran.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perpindahan Panas Secara Radiasi

Radiasi termal adalah perpindahan panas dalam bentuk radiasi elektromagnetik yang dipancarkan oleh suatu benda karena suhunya. Semua bentuk radiasi selalu merambat dengan kecepatan cahaya 3×10^{10} cm/s, dimana kecepatan ini sama dengan hasil perkalian panjang gelombang dengan frekuensi radiasi,

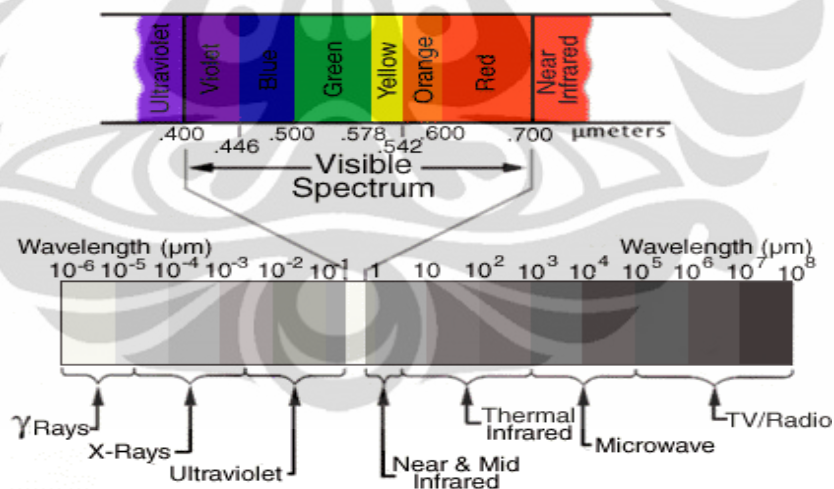
$$c = \lambda \nu \quad (2.1)$$

dimana, c = kecepatan cahaya (cm/s)

λ = panjang gelombang ($1 \text{ \AA} = 10^{-8}$ cm)

ν = frekuensi (Hz)

(sumber : Holman, J.P., (1985). *Perpindahan Kalor*)



Gambar 2.1 Spektrum elektromagnetik

(Sumber : <http://lasp.colorado.edu/~bagenal/3720/CLASS4/4Sunlight.html>)

Setiap benda memancarkan radiasi panas, tetapi umumnya benda terlihat oleh kita karena benda itu memantulkan cahaya yang datang padanya, bukan karena memancarkan radiasi panas. Benda baru terlihat meradiasikan panas jika suhunya melebihi 1000 K. Pada suhu ini benda mulai berpijar merah seperti kumparan

pemanas sebuah kompor listrik. Pada suhu di atas 2000 K benda berpijar kuning atau keputih-putihan, seperti besi berpijar putih atau pijar putih dari filamen lampu pijar. Begitu suhu benda terus ditingkatkan, intensitas relatif dari spektrum cahaya yang dipancarkannya ikut berubah. Ini menyebabkan pergeseran dalam warna-warna spektrum yang diamati, yang dapat digunakan untuk mengetahui temperatur suatu benda. Pada gambar 2.1 diperlihatkan pengklasifikasian spektrum elektromagnetik yang dimana radiasi panas terletak dalam rentang antara 0,1 sampai 100 μm .

Perambatan radiasi termal berlangsung dalam bentuk kuantum-kuantum yang diskrit atau farik (*discrete*), setiap kuantum mengandung energi sebesar :

$$E = h \nu \quad (2.2)$$

(sumber : Holman, J.P., (1985). *Perpindahan Kalor*)

dimana h adalah konstanta Planck yang nilainya sama dengan $6,625 \times 10^{-34}$ J.s.

Perambatan radiasi dapat digambarkan dengan menganggap setiap kuantum sebagai suatu partikel yang mempunyai energi, massa, dan momentum seperti halnya molekul gas. Sehingga radiasi dapat digambarkan sebagai gas foton yang dapat mengalir dari satu tempat ke tempat yang lain. Dengan menggunakan hubungan relativistik antara massa dan energi, dapat diturunkan persamaan untuk massa dan energi partikel tersebut, yaitu :

$$E = m c^2 = h \nu$$

$$m = h \nu / c^2$$

$$\text{Momentum} = h \nu / c$$

(sumber : Holman, J.P., (1985). *Perpindahan Kalor*)

Menurut hukum Stefan-Boltzmann, energi total (E_b) ialah energi yang diradiasikan per satuan waktu dan per satuan luas radiator ideal, yang besarnya sebanding dengan pangkat empat suhu absolut :

$$E_b = \sigma T^4 \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (2.3)$$

(sumber : Holman, J.P., (1985). *Perpindahan Kalor*)

dan σ sebagai konstanta Stefan-Boltzmann yang nilainya sama dengan $5,669 \times 10^{-8}$ $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$. Dalam analisis termodinamik, densitas energi dihubungkan dengan radiasi energi dari permukaan per satuan waktu per satuan luas. Subskrip b dalam

persamaan E_b (2.6) menandakan bahwa radiasi berasal dari benda hitam (*blackbody*) yang menyerap seluruh radiasi yang diterimanya dan tidak memantulkannya. E_b dapat disebut juga sebagai daya emisi (*emissive power*) benda hitam.

2.2 Sifat-sifat Radiasi

Apabila suatu energi radiasi menimpa permukaan suatu bahan, maka sebagian dari radiasi tersebut akan dipantulkan (refleksi), sebagian diserap (absorpsi) dan sebagian lagi diteruskan (transmisi), seperti yang terlihat pada gambar 2.2 dibawah ini. Fraksi yang dipantulkan dinamakan reflektivitas (ρ), fraksi yang diserap dinamakan absorptivitas (α), dan fraksi yang diteruskan dinamakan transmisivitas (τ).

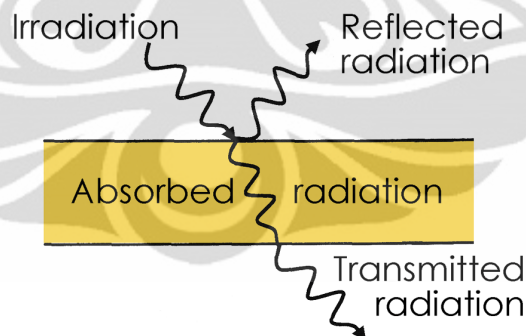
$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad (2.4)$$

(sumber : Holman, J.P., (1985). *Perpindahan Kalor*)

Kebanyakan benda padat tidak selalu meneruskan radiasi termal, sehingga dapat dianggap transmisivitas-nya bernilai nol.

$$\rho + \alpha = 1 \quad (2.5)$$

(sumber : Holman, J.P., (1985). *Perpindahan Kalor*)

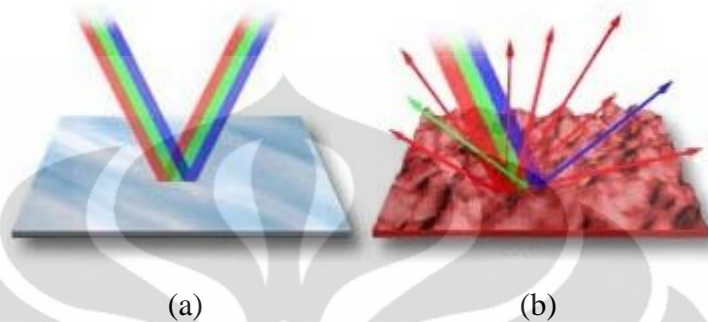


Gambar 2.2 Sifat yang menunjukkan pengaruh radiasi yang datang

(Sumber : <http://www.ceramicx.com/en/infrared-heat>)

Ada dua fenomena refleksi yang dapat diamati bila radiasi menimpa suatu permukaan benda. Jika sudut jatuhnya sama dengan sudut refleksi, maka dapat dikatakan jenis refleksi tersebut adalah spekular (*specular*). Namun disisi lain, apabila berkas yang jatuh itu tersebar secara merata ke segala arah sesudah refleksi,

maka refleksi tersebut dinamakan baur (*diffuse*). Pada umumnya, permukaan yang kasar lebih menunjukkan sifat refleksi baur daripada permukaan yang diupam mengkilap. Kedua fenomena tersebut dapat dilihat pada gambar 2.3 di bawah.



Gambar 2.3 (a) Refleksi Spekular, (b) Refleksi Baur

(Sumber : <http://micro.magnet.fsu.edu/optics/lightandcolor/reflection.html>)

Daya emisi (*emissive power*) E adalah energi yang dipancarkan suatu benda per satuan luas per satuan waktu. Agar lebih mudah menghubungkan antara daya emisivitas suatu benda dengan sifat-sifat bahan yang sudah disebutkan sebelumnya, maka dapat dilakukan suatu percobaan dengan menggunakan ilustrasi dari sebuah ruangan tertutup yang terbuat dari benda hitam sempurna, yaitu yang menyerap seluruh radiasi yang diterimanya seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4. Ruang itu juga akan memancarkan radiasi menurut hukum T^4 . Asumsikan fluks radiasi yang diterima oleh suatu bidang dalam ruang itu adalah q_i W/m². Umpamakan juga didalam ruang terdapat suatu benda dan dibiarkan mencapai keseimbangan suhu, sehingga pada akhirnya energi yang diserap benda itu sama dengan energi yang dipancarkan.

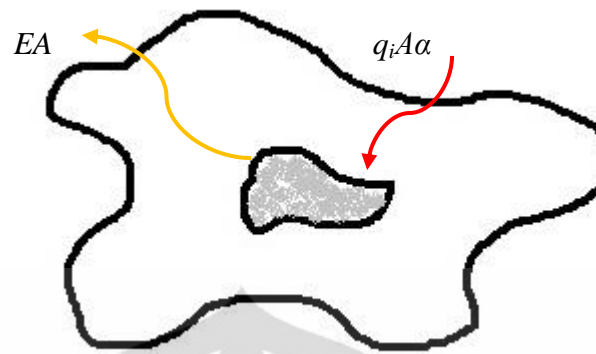
$$EA = q_i A \alpha \quad (2.6)$$

(sumber : Holman, J.P., (1985). *Perpindahan Kalor*)

Jika kemudian benda itu diganti dengan benda hitam sempurna yang bentuk dan ukurannya sama dengan benda sebelumnya dan dibiarkan mencapai keseimbangan, dengan ruang itu *pada suhu yang sama*, maka :

$$E_b A = q_i A (1) \quad (2.7)$$

(sumber : Holman, J.P., (1985). *Perpindahan Kalor*)



Gambar 2.4 Model daya emisi yang digunakan untuk menurunkan hukum Kirchoff

(Telah diolah kembali : *Heat Transfer 6th edition*. J.P. Holman, 1988)

Karena absorptivitas benda hitam adalah satu, maka jika persamaan (2.6) dibagi dengan persamaan (2.7) akan diperoleh :

$$E/E_b = \alpha$$

(sumber : Holman, J.P., (1985). *Perpindahan Kalor*)

dan didapat bahwa perbandingan daya emisi suatu benda dengan daya emisi benda hitam *pada suhu yang sama* ialah sama dengan absorptivitas benda itu. Perbandingan itu yang disebut dengan emisivitas benda (ϵ).

$$\epsilon = E / E_b \quad (2.7)$$

$$\epsilon = \alpha \quad (2.8)$$

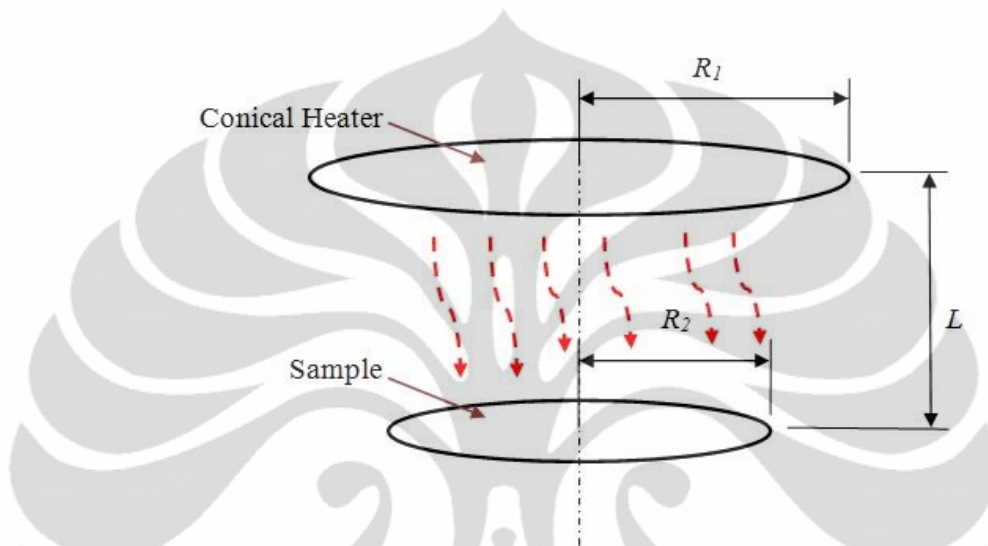
(sumber : Holman, J.P., (1985). *Perpindahan Kalor*)

Persamaan (2.8) disebut identitas Kirchoff (*Kirchoff's identity*). Hal yang perlu dicatat, emisivitas dan absorptivitas yang dibahas diatas adalah sifat-sifat total benda itu, artinya merupakan tingkah laku integral bahan itu untuk keseluruhan gelombang. Pada benda-benda nyata memancarkan radiasi lebih sedikit dari permukaan benda hitam sempurna, sebagaimana diukur dari emisivitas benda. Namun pada kenyataannya, tingkat emisivitas benda berubah-ubah menurut suhu dan panjang gelombang radiasi.

2.3 Faktor Bentuk Radiasi

Jika diantara permukaan A_1 dan A_2 (pada gambar 2.5) terjadi pertukaran energi karena adanya perbedaan suhu, maka untuk mengetahui berapa besarnya

energi radiasi yang meninggalkan permukaan 1 (*heater*) dan kemudian mencapai permukaan 2 (*sample*), terlebih dahulu harus mengetahui faktor pandang atau faktor bentuk radiasi antara kedua permukaan tersebut. Pada gambar tersebut merupakan ilustrasi tentang perpindahan kalor dari *conical heater* (1) menuju *sample* (2) dalam bentuk orientasi horizontal.



Gambar 2.5 Faktor bentuk radiasi pada model *conical heater* terhadap *sample*

Ada 3 faktor yang didefinisikan sebagai faktor bentuk radiasi (*radiation shape factor*), yaitu sebagai berikut :

- a) F_{1-2} = fraksi energi yang meninggalkan permukaan 1 yang mencapai permukaan 2.
- b) F_{2-1} = fraksi energi yang meninggalkan permukaan 2 yang mencapai permukaan 1.
- c) F_{m-n} = fraksi energi yang meninggalkan permukaan m yang mencapai permukaan n.

Adapun nama lain dari faktor bentuk radiasi ialah faktor pandangan (*view factor*), faktor sudut (*angle factor*), dan faktor konfigurasi (*configuration factor*). Energi yang meninggalkan permukaan 1 dan sampai ke permukaan 2 adalah :

$$E_{b1}A_1F_{12}$$

dan untuk sebaliknya :

$$E_{b2}A_2F_{21}$$

Oleh karena semua permukaan itu hitam, seluruh radiasi yang menimpanya akan diserap. Dan dapat diketahui besarnya pertukaran energi netto sebesar :

$$Q_{1-2} = E_{b1}A_1F_{12} - E_{b2}A_2F_{21}$$

(sumber : Holman, J.P., (1985). *Perpindahan Kalor*)

Jika pada kedua permukaan tersebut mempunyai suhu yang sama, maka tidak terjadi proses pertukaran kalor, yang artinya $Q_{1-2} = 0$:

$$E_{b1} = E_{b2}$$

$$A_1F_{12} = A_2F_{21} \quad (2.9)$$

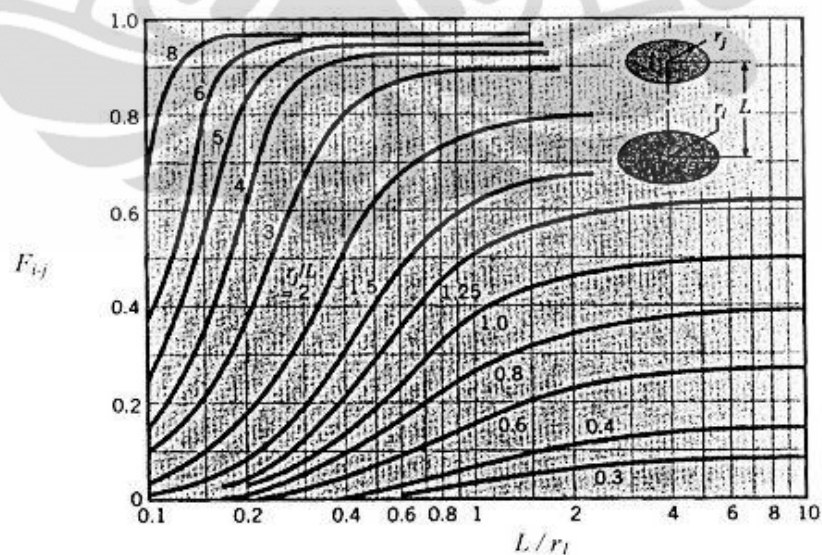
sehingga :

$$Q_{1-2} = A_1F_{12}(E_{b1} - E_{b2}) = A_2F_{21}(E_{b1} - E_{b2}) \quad (2.10)$$

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

$$A_mF_{mn} = A_nF_{nm} \quad (2.11)$$

(sumber : Holman, J.P., (1985). *Perpindahan Kalor*)



Gambar 2.6 Faktor bentuk radiasi untuk radiasi antara dua piring konsentrik sejajar

(Sumber : *Fundamentals of Heat Transfer*, F.P. Incropera and D.P. DeWitt, John Wiley and Sons)

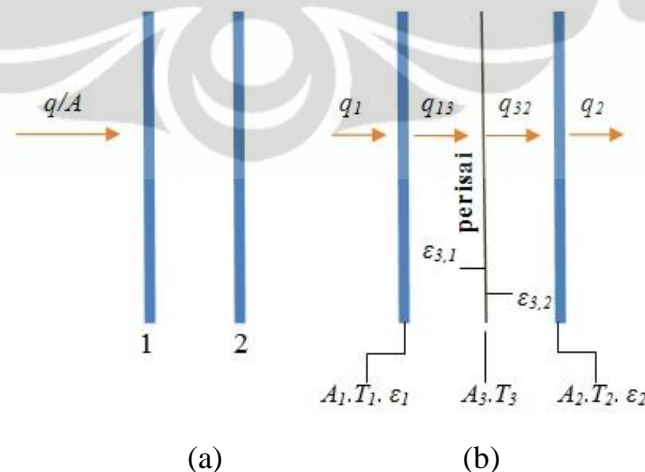
Walaupun hubungan itu diturunkan untuk permukaan hitam, namun juga berlaku untuk permukaan lainnya, selama dalam kondisi terdapat radiasi baur. Nilai F_{1-2} dapat ditentukan dari grafik faktor bentuk radiasi antara dua piring konsentrik sejajar, seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.6.

2.4 Perisai Radiasi

Salah satu cara untuk mengurangi perpindahan kalor radiasi antara dua permukaan tertentu ialah dengan menggunakan bahan yang mempunyai refleksi tinggi. Cara lain ialah menggunakan perisai radiasi (*radiation shield*) antara permukaan-permukaan yang bertukaran kalor. Sifat khusus dari perisai ini adalah tidak menyampaikan dan tidak mengambil kalor dari sistem keseluruhan, namun hanya menambahkan suatu tahanan lagi dalam lintas aliran kalor, sehingga dapat memperlambat perpindahan kalor secara menyeluruh. Pada gambar 2.7a diperlihatkan sebuah contoh yaitu 2 buah bidang sejajar tak berhingga yang mengalami pertukaran kalor antara kedua permukaan yang dimana dapat dihitung dengan persamaan 2.12 :

$$\frac{q}{A} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1} \quad (2.12)$$

(sumber : Holman, J.P., (1985). *Perpindahan Kalor*)



Gambar 2.7 Radiasi antara dua bidang sejajar tak berhingga tanpa perisai (a) dan dengan perisai (b)

Persamaan (2.12) merupakan turunan dari persamaan perpindahan kalor netto (2.13) antara permukaan benda tak hitam, dengan menganggap nilai luas masing-masing permukaan saling berlainan :

$$\frac{q}{A} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{(1-\varepsilon_1)/\varepsilon_1 A_1 + 1/A_1 F_{12} + (1-\varepsilon)/\varepsilon_2 A_2} \quad (2.13)$$

(sumber : Holman, J.P., (1985). *Perpindahan Kalor*)

Sekarang perhatikan dua bidang yang sama, tetapi dengan sebuah perisai radiasi yang ditempatkan di antara keduanya, seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.7b. Dari kondisi kedua ini akan dihitung perpindahan kalornya dan kemudian dibandingkan hasilnya dengan perpindahan kalor tanpa perisai.

Oleh karena perisai tidak menyerahkan ataupun mengambil kalor dari sistem itu, perpindahan kalor antara plat 1 dan perisai harus sama persis dengan perpindahan perpindahan kalor antara perisai dan plat 2, dan itulah yang dinamakan perpindahan kalor menyeluruh. Jadi :

$$\left(\frac{q}{A}\right)_{1-3} = \left(\frac{q}{A}\right)_{3-2} = \frac{q}{A}$$

$$\frac{q}{A} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_3^4)}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_3 - 1} = \frac{\sigma(T_3^4 - T_2^4)}{1/\varepsilon_3 + 1/\varepsilon - 1} \quad (2.14)$$

(sumber : Holman, J.P., (1985). *Perpindahan Kalor*)

Satu-satunya faktor yang tidak diketahui dalam persamaan (2.14) adalah temperatur pada perisai T_3 . Jika temperatur sudah diketahui, maka perpindahan kalor dapat dihitung. Adapun contoh kasus jika emisivitas ketiga permukaan itu sama, artinya $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3$, maka akan didapat hubungan sederhana :

$$T_3^4 = \frac{1}{2}(T_1^4 + T_2^4) \quad (2.15)$$

(sumber : Holman, J.P., (1985). *Perpindahan Kalor*)

dan perpindahan kalornya adalah :

$$\frac{q}{A} = \frac{1/2 \sigma(T_1^4 - T_2^4)}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1}$$

(sumber : Holman, J.P., (1985). *Perpindahan Kalor*)

Namun, oleh karena $\varepsilon_3 = \varepsilon_2$, dapat dilihat bahwa aliran kalor ini hanyalah separuh dari aliran kalor yang terjadi apabila tidak terdapat perisai ditengahnya. Bila emisivitas masing-masing permukaan berbeda, maka perpindahan kalor menyeluruh dapat dihitung dengan mudah dengan menggunakan jaringan radiasi seri dengan sejumlah unsur yang diperlukan dan diketahui, seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.8 sebagai contoh. Jika emisivitas semua permukaan sama, maka bisa mendapatkan hubungan yang cukup sederhana untuk perpindahan kalor. Umpamakan jumlah perisai adalah n dan dari jaringan radiasi sistem itu terlihat bahwa semua “tahanan permukaan” sama karena emisivitasnya yang sama. Terdapat $n+1$ “tahanan ruang”, dan jumlahnya satu karena faktor bentuk radiasi yaitu satu untuk bidang sejajar tak berhingga. Tahanan total dalam jaringan tersebut adalah :

$$R(n \text{ perisai}) = (2n + 2) \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} + (n + 1)(1) = (n + 1) \left(\frac{2}{\varepsilon} - 1 \right)$$

(sumber : Holman, J.P., (1985). *Perpindahan Kalor*)

Tahanan bila tidak terdapat perisai ditengahnya :

$$R(\text{tanpa perisai}) = \frac{1}{\varepsilon} + \frac{1}{\varepsilon} - 1 = \frac{2}{\varepsilon} - 1$$

(sumber : Holman, J.P., (1985). *Perpindahan Kalor*)

Maka dapat disimpulkan bahwa tahanan dengan menggunakan perisai besarnya sama dengan $n+1$ kali tahanan tanpa perisai. Jadi :

$$\left(\frac{q}{A} \right)_{\text{dengan perisai}} = \frac{1}{n+1} \left(\frac{q}{A} \right)_{\text{tanpa perisai}} \quad (2.16)$$

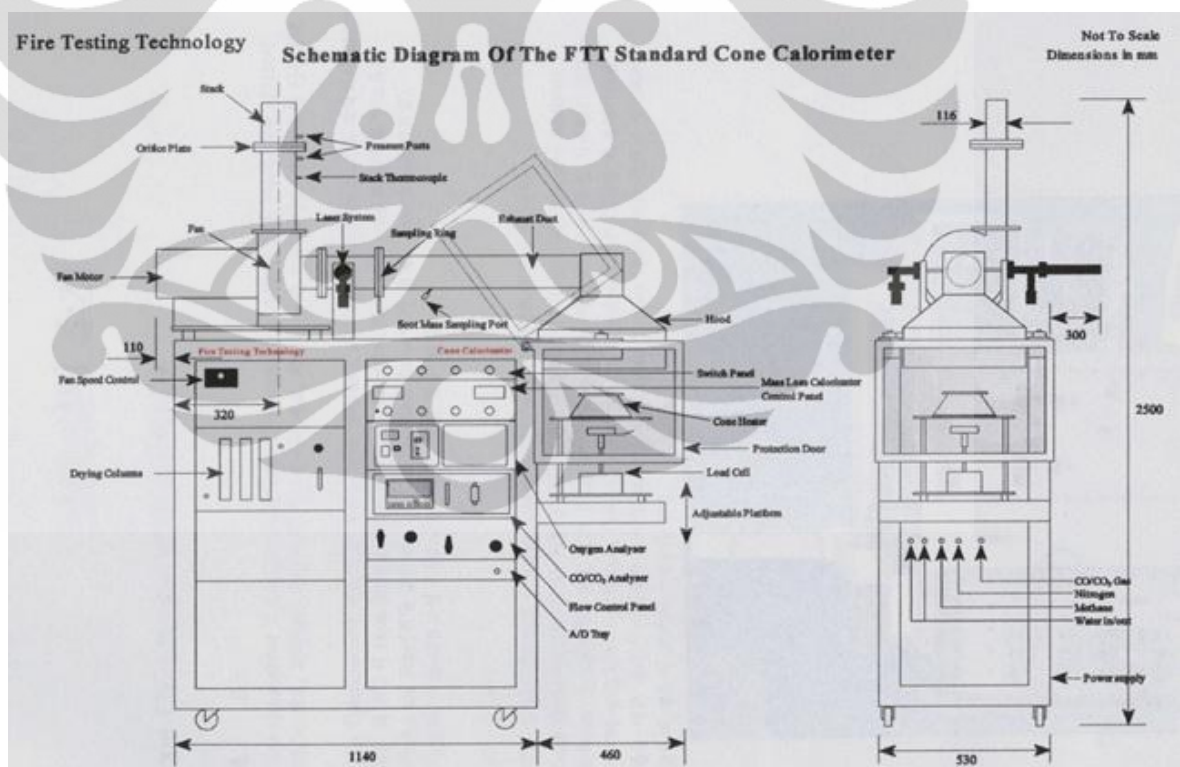
(sumber : Holman, J.P., (1985). *Perpindahan Kalor*)

2.5 Cone Calorimeter

Cone calorimeter adalah alat uji untuk mengetahui respon suatu material terhadap radiasi panas yang dipancarkan. Alat ini sekaligus sebagai standar pengukuran untuk ketahanan material terhadap panas/api. Prinsip kerja dari alat ini yaitu menghitung jumlah konsumsi oksigen (O_2) yang terlibat dalam proses pengujian, sehingga dapat diketahui besar nilai dari *Heat Release Rate*. *Heat Release Rate* (HRR) adalah tolak ukur pengukuran untuk mengetahui tingkat bahaya

kebakaran (*fire warning*), pertumbuhan nyala api (*fire growth*), besarnya level api (*level of fire*), dan parameter lainnya untuk mengetahui karakteristik kebakaran.

Standar pertama yang telah dipublikasikan untuk menjelaskan penggunaan *cone calorimeter* adalah berupa sebuah rencana standar (proposal) yang diterbitkan oleh *American Society for Testing and Materials* (ASTM) tahun 1986. Kemudian pada tahun 1990, ASTM mengeluarkan standar resmi secara menyeluruh mengenai pengujian radiasi panas terhadap material yaitu “*Standard Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using an Oxygen Consumption Calorimeter* (ASTM E 1354-90)” dan diperbaharui lagi pada tahun 1992 menjadi ASTM E 1354-92. Di tingkat internasional, *The International Organization for Standardization* (ISO) mempublikasikan metode *cone calorimeter* yang diberi nama draft internasional standar DIS 5660, dan kemudian dikeluarkan secara resmi ISO 5600.



Gambar 2.8 *Cone calorimeter* standar ASTM E 1354

Dilihat dari standar tersebut, *cone calorimeter* mempunyai beberapa komponen utama yang diantaranya :

- a) *Conical Heater*, berupa *heater* udara berbentuk *truncated cone*, memiliki daya sampai 5000 W pada tegangan 230 V dan mampu memberikan radiasi fluks kalor sampai sebesar 100 kW/m². Dapat digunakan baik secara horizontal maupun vertikal. Temperatur *heater* dapat diatur oleh kontrol temperatur dengan menghubungkan 3 buah termokopel tipe K (seperti yang terlihat pada gambar (2.9)).
- b) *Split Shutter Pad*, berfungsi untuk melindungi sampel sebelum tes pengujian dimulai. Pada saat sebelum pengujian, sampel diukur terlebih dahulu temperatur awal dan massa awalnya sambil menunggu temperatur *heater* mencapai titik yang diinginkan.
- c) *Specimen Holder*, berfungsi sebagai tempat menaruh sampel yang berukuran 100 mm x 100 mm dan tinggi mencapai 50 mm, secara horizontal maupun vertikal.
- d) *Load Cell*, berfungsi untuk mengukur massa sampel dengan tingkat akurasi 0,1 gram dan massa maksimum 2 kg. Penempatannya diatur sehingga tidak terpengaruh oleh perubahan temperatur.
- e) *Spark Ignition*, 10 kV *spark generator* yang dihubungkan dengan alat keselamatan *cut-off device*. Peletakan *spark ignition* diatur sehingga berada pada 13 mm diatas pusat sampel untuk orientasi horizontal dan 5 mm untuk orientasi vertikal.
- f) *Temperatur Control*, berjenis digital dan mampu memberikan temperatur konstan pada *heater* dengan toleransi $\pm 2\%$. Kontrol ini harus mempunyai input dari 0 - 1000°C dan sanggup membaca perbedaan suhu sebesar 2°C atau lebih dari itu.
- g) *Exhaust System*, terbuat dari bahan *stainless steel* dan terdiri dari beberapa komponen yaitu : *hood*, *gas sampling ring probe*, *exhaust fan* (dapat diatur untuk aliran 0 - 50 g/s, tingkat akurasi sebesar 0,1 g/s) dan *orifice plate flow measurement (thermocouple dan differential pressure transducer)* yang beroperasi pada 24 l/s.

- h) *Gas Sampling*, terdiri dari *ring sampler*, *refrigerated cold trap*, pompa, *drying columns*, dan kontrol aliran (*flow control*).
- i) *Oxygen Analysis*, berupa *paramagnetic oxygen analyzer* yang mempunyai kisaran 0-25% dan tingkat akurasi 50 ppm oksigen.
- j) *Smoke Obscuration*, pengukurannya dilakukan dengan menggunakan *laser system*, *photodiodes*, dan 0,5 mW *helium neon laser* yang menggunakan *main and reference (compensation) photo detectors*.
- k) *Heat Flux Meter*, berfungsi untuk mengetahui dan mengatur besar radiasi dari *heater* sampai ke permukaan sampel.
- l) *Calibration Burner*, berfungsi untuk mengkalibrasi besar *heat release rate (HRR)* dengan menggunakan *methane 99,5%*.
- m) *Data Collection*, mempunyai 16 *channel A/D interface* dan *software windows* untuk digunakan pada *personal computer*.

Semua komponen diatas merupakan komponen-komponen utama pada *cone calorimeter* yang telah sesuai dengan standar dan sudah teruji untuk dilakukan proses pengujian. Pada pengujian kali ini menggunakan alat uji *calorimeter* skala kecil dan hanya fokus pada pengujian pengaruh radiasi panas terhadap sampel. Alat uji *calorimeter* ini merupakan hasil karya dari alumni mahasiswa Teknik Mesin Universitas Indonesia yang dibuat pada tahun 2004 sebagai tugas akhir, dan semua komponen yang ada tetap digunakan dan menyesuaikan dengan proses pengujian yang nanti dilakukan.

2.6 Heat Release Rate

Rentang waktu terhadap laju pelepasan energi panas (*heat release rate*) merupakan suatu parameter yang penting untuk mengklasifikasi tingkat nyala api pada peristiwa kebakaran. Melalui parameter tersebut dapat diketahui besarnya level api, pertumbuhan nyala api, waktu yang aman untuk menghindari api, jenis tindakan yang efektif untuk penanggulangannya, tingkatan bahaya kebakaran dan lain sebagainya. Pengukuran *heat release rate (HRR)* secara tradisional dilakukan dengan menggunakan metode perhitungan panas sensibel yang hilang (*sensible heat loss*) dari sistem dan kesetimbangan energi. Pada pengujian skala ruangan dengan cara ini

kurang efektif karena pertimbangan kebutuhan banyaknya sensor yang digunakan dan kemungkinan kurangnya keakuratan pada penghitungan. Teknik baru selain diatas adalah dengan cara menghitung konsumsi oksigen yang terlibat dalam proses pembakaran (*oxygen consumption calorimetry*). Teknik ini berdasarkan pada prinsip bahwa kalor yang dilepas per unit maka oksigen yang dikonsumsi nilainya hampir sama untuk setiap jenis bahan bakar organik dalam proses pembakaran. Oleh karena itu, dua pengukuran sederhana yaitu pengukuran volumetrik laju konsumsi oksigen yang terlibat dalam proses pembakaran dan konsentrasi oksigen setelah proses pembakaran, cukup untuk mengetahui besarnya nilai HRR yang terjadi. Teknik lainnya untuk mengetahui nilai HRR adalah berdasarkan pada entalpi pembakaran dari campuran kimia murni yang terbakar dan menghasilkan senyawa *carbondioxide*, air, dan produk hasil oksidasi lainnya. Dalam peristiwa kebakaran dan pengujian tentang kebakaran yang banyak dilakukan, bahan bakarnya (*fuels*) tersusun dari berbagai macam campuran dan struktur komposit baik dari natural maupun sintesis polymer.

Bahan bakar mempunyai energi potensial kimia yang dimana dikeluarkan sebagai bahan bakar yang teroksidasi pada proses pembakaran. Pada umumnya, bahan bakar sintesis mempunyai tingkat panas pembakaran yang lebih besar daripada bahan selulosa seperti jenis kayu. Ketika bahan bakar terbakar, total energi yang dapat dilepas tergantung pada panas pembakaran dan massa bahan bakar tersebut. Berikut adalah tingkatan panas pembakaran pada berbagai macam jenis bahan bakar yang diperlihatkan pada gambar 2.9.

Heat of Combustion for some common fuels
(higher value)

Fuel	kJ/g	kcal/g	BTU/lb
Hydrogen	141.9	33.9	61,000
Natural Gas	54.0	13.0	23,000
Propane	49.9	11.9	21,000
Butane	49.2	11.8	21,200
Gasoline	47.0	11.3	20,000
Diesel	45.0	10.7	19,300
Coal (Anthracite)	27.0	7.8	14,000
Ethanol	29.7	7.1	12,000
Coal (Lignite)	15.0	4.4	8,000
Wood	15.0	3.6	6,000

Gambar 2.9 Tingkat panas pembakaran pada jenis bahan bakar

(Sumber : http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_of_combustion)

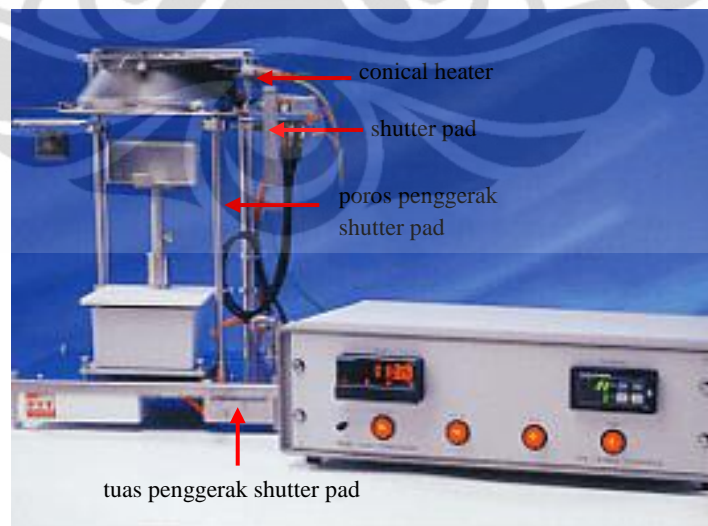
BAB III

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SHUTTER PAD SERTA REKONDISI CONE CALORIMETER

3.1 Shutter Pad Standar ASTM E1354

Pada *cone calorimeter* yang berstandar ASTM E1354 dilengkapi dengan adanya periasi radiasi yang menjadi salah satu komponen utama untuk melindungi spesimen sampel dari aliran panas sebelum dimulai pengujian. Perisai tersebut harus terbuat dari material yang tidak mudah terbakar dengan total ketebalan tidak melebihi 12 mm. Perisai yang memenuhi syarat sebagai komponen pada *cone calorimeter*, yaitu diantaranya :

- Bahan yang didinginkan dan diakhiri dengan lapisan hitam tahan lama dengan emisivitas permukaan $\varepsilon = 0.95 \pm 0.05$, atau
- Bukan bahan yang didinginkan dengan lapisan baja reflektif sebagai permukaan bagian atas untuk mengurangi transfer radiasi yang berlebihan, atau
- Bukan bahan yang didinginkan dengan lapisan keramik untuk menahan radiasi sampai ke permukaan sampel.



Gambar 3.1 Contoh alat uji *cone calorimeter* standar ASTM E 1354 (ISO 5660)

Desain perisai radiasi pada *cone calorimeter*, atau yang disebut dengan *shutter pad*, dibuat tidak hanya untuk menahan aliran radiasi yang berasal dari *conical heater*, namun juga untuk mendapatkan temperatur awal sampel yang terjaga hingga kondisi stabil atau temperatur lingkungan pada saat menunggu *heater* sedang dipanaskan. Selain itu juga sekaligus sebagai pengaman pada operator agar tidak terkena langsung dampak radiasi yang sangat panas pada saat meletakkan sampel dibawah *heater* yang panas. Untuk desain *shutter pad* berstandar ASTM E1354 (gambar 3.1), alat tersebut menyatu dengan komponen utamanya, dengan bentuk lingkaran yang terbagi 2 menjadi setengah lingkaran dan dioperasikan dengan penghubung melalui poros yang digerakkan oleh sebuah tuas penggerak secara manual. Ukuran dari permukaan *shutter pad* disesuaikan dengan diameter lingkaran dasar *conical heater* dan dibiarkan melebihi ukuran tersebut agar tidak ada celah (*gap*) untuk masuknya radiasi melewati alat tersebut.

3.2 Perancangan Desain Shutter Pad

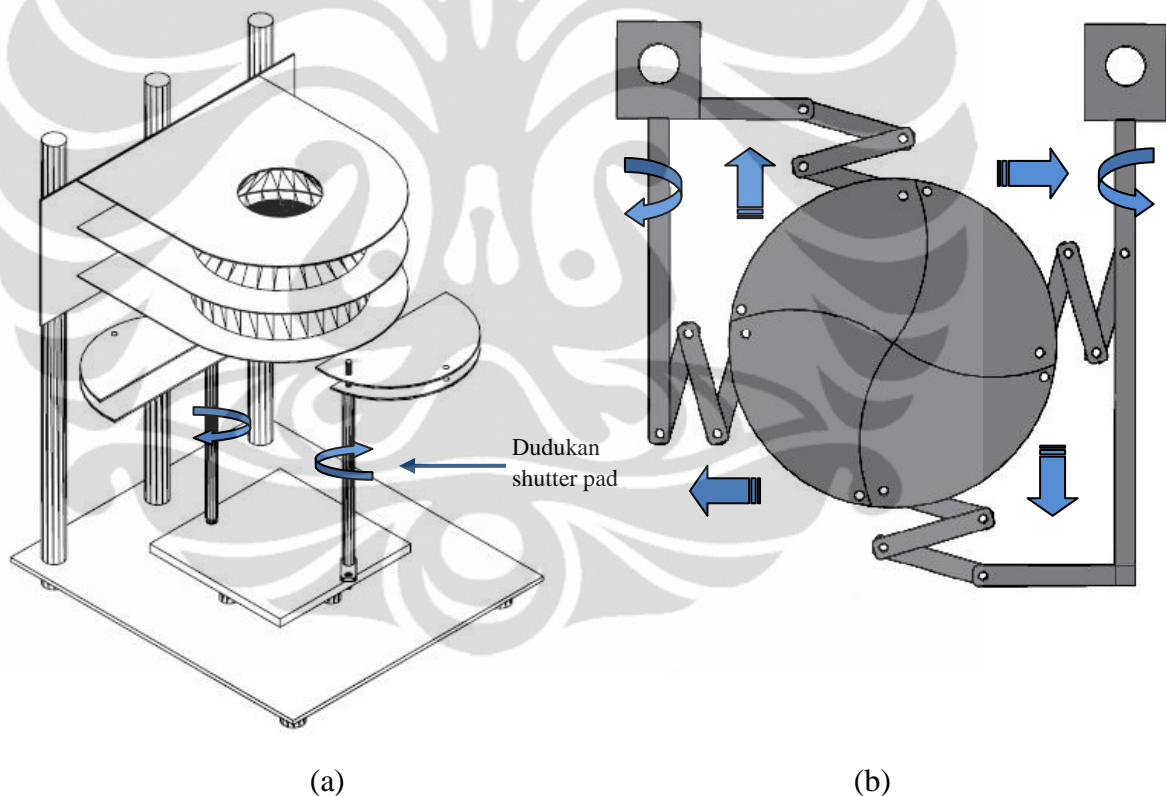
Pada proses pembuatan desain *shutter pad* dalam skripsi ini akan berbeda dengan desain berstandar ASTM E1354, mengingat kondisi alat uji *cone calorimeter* yang sudah dibuat sebelumnya sehingga harus menyesuaikan agar dapat dipasang dan dioperasikan dengan baik. Sebagai tahap awal perancangan, terlebih dahulu dilakukan pengukuran dimensi pada alat uji *cone calorimeter* terutama untuk ukuran *conical heater* dan *cover heater*. Untuk ukuran masing-masing komponen tersebut akan didapat ukuran-ukuran dari desain *shutter pad* yang akan dibuat yaitu ukuran diameter lingkaran dengan mengambil kelebihan dari ukuran batas bawah *conical heater*. Ukuran yang diambil yaitu $\varnothing 220$ mm.

Proses perancangan telah dilakukan dengan membuat 3 alternatif desain, yaitu :

- a) Desain pertama dengan bentuk lingkaran terbagi 2 menjadi setengah lingkaran, dan masing-masing diberikan poros yang terpasang pada dudukan terpisah dari dudukan alat uji utama. Untuk penggerak menggunakan batang dan menghubungkan bagian bawah poros satu dengan lainnya dan terletak di bawah dasar dudukan *shutter pad* (gambar 3.2a). Meskipun alat ini terpisah dari rangkaian alat uji

namun kekurangannya adalah ketersediaan ruang yang akan menambah ketinggian jarak antara kedudukan *cone calorimeter* dengan alat uji.

- b) Desain kedua sama seperti desain pertama yaitu berbentuk lingkaran yang terbagi 2 menjadi setengah lingkaran sama seperti desain *shutter pad* berstandar, namun berbeda pada sistem penggeraknya dimana batang penghubungnya dipasang pada masing-masing poros yang menempel pada dinding *cover heater*. Dengan kata lain, desain *shutter pad* ini menyatu dengan rangkaian alat uji dan menjadi lebih sederhana.



Gambar 3.2 Desain pertama *shutter pad* terpisah dengan rangkaian alat uji utama (a), dan desain ketiga yang awalnya menggunakan batang penghubung (b)

- c) Desain ketiga berbentuk lingkaran yang terbagi menjadi 4 bagian menyerupai bilah diafragma penutup kamera. Pada awalnya, sistem penggeraknya mengadopsi dari desain kedua yaitu menggunakan

batang penghubung (gambar 3.2b), namun karena pertimbangan ruang, proses buka-tutup, dan lama waktu pembuatan maka sistem penggerak diganti dengan sistem roda gigi rantai yang dihubungkan melalui poros pada masing-masing bilah dan poros tersebut ditempatkan menembus permukaan plat *cover heater* dari bawah sampai atas sehingga menghemat ruang sekaligus lama waktu pembuatan.

Perlu diketahui bahwa pada ketiga desain diatas mempunyai konsep yang sama bahwa pada saat membuka dan menutup dapat dilakukan secara serentak bersamaan dengan menggunakan satu tuas saja. Pada perancangan dalam skripsi ini telah ditentukan oleh penulis untuk memilih desain ketiga yang selanjutnya akan diteruskan dengan pemilihan material, penyediaan kebutuhan lainnya, dan proses pembuatan.

3.3 Proses Pemilihan Material Dan Pembuatan Shutter Pad

Pada proses pemilihan komponen material pada *shutter pad*, ditentukan sesuai dengan karakteristik *shutter pad* itu sendiri yaitu tahan api atau radiasi panas (isolator yang baik) dan tahan lama. Material yang digunakan yaitu jenis kalsium silikat yang merupakan sebuah papan yang terbuat dari pasir silika, semen, dan ditambah dengan serat selulosa. Yang membedakan dengan fiber semen lainnya adalah pada proses pengeringannya menggunakan sistem *autoclave*, yaitu suatu proses sterilisasi berupa bejana tekan dengan metode pengeringan pada tekanan dan temperatur yang tinggi agar didapatkan hasil produk yang stabil, tahan lama dan ringan dengan muai susut yang sangat kecil. Sebagai bahan isolasi, kalsium silikat mempunyai keunggulan dibanding jenis isolator lainnya yaitu *rockwool* dan *fiberglass/glasswool*. Berikut adalah perbandingan diantara ketiganya :

ISOLASI	KEGUNAAN	KEUNTUNGAN	KERUGIAN
Rockwool	• Cocok untuk Suhu sampai dgn 820 °C	<ul style="list-style-type: none"> • Mempunyai densitas besar (padat) • Tidak korosif • Tidak mudah rusak selama pemasangan 	
Fiberglass atau Glasswool	• Cocok untuk Suhu sampai dgn 540 °C	• Lebih tahan lama/tidak akan hancur oleh penuaan	• Terjadi korosi, jika ada pengaruh dari luar
Kalsium Silikat	• Cocok untuk Suhu sampai dgn 1050 °C	<ul style="list-style-type: none"> • Ringan tetapi memiliki kekuatan struktur yang baik • Tahan api • Tahan thd uap air • Tidak korosif 	

Gambar 3.3 Perbandingan tiga jenis bahan isolasi

Pasir silika sendiri mempunyai kelebihan yang diantaranya tidak mampu terbakar dan ketersediaannya yang cukup banyak. Berikut beberapa sifat yang dimiliki oleh pasir silika yang berhubungan dengan perlakuan panas :

Material:	Silica - Silicon Dioxide (SiO ₂)					
Composition:	SiO ₂					
Property	Minimum Value (S.I.)	Maximum Value (S.I.)	Units (S.I.)	Minimum Value (Imp.)	Maximum Value (Imp.)	Units (Imp.)
Maximum Service Temperature	1170	1170	K	1646.33	2546.33	°F
Melting Point	1700	1800	C			°F
Minimum Service Temperature	0	0	K	-459.67		°F
Specific Heat	680	680	J/kg.K	0.526224	0.564917	BTU/lb.F
Thermal Conductivity	1.3	1.3	W/m.K	2.43364	2.80805	BTU.ft/h.ft ² .F
Thermal Expansion	0.55	0.55	10 ⁻⁶ /K	0.99	1.35	10 ⁻⁶ /°F

Gambar 3.4 Sifat-sifat pasir silika menurut perlakuan panas

(Sumber <http://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=1114>)

Dan berikut sifat pasir silika terhadap lingkungan yang ditunjukkan pada gambar 3.5.

Environmental Properties	
Resistance Factors 1=Poor 5=Excellent	
Flammability	5
Fresh Water	5
Organic Solvents	5
Oxidation at 500C	5
Sea Water	5
Strong Acid	5
Strong Alkalis	4
UV	5
Wear	4
Weak Acid	5
Weak Alkalis	5

Gambar 3.5 Sifat pasir silika terhadap lingkungan

(Sumber <http://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=1114>)

Produk kalsium silikat yang digunakan untuk pembuatan *shutter pad* dalam skripsi ini yaitu *klasi clad 10* dengan ketebalan 10 mm. *Kalsi clad 10* merupakan salah satu dari berbagai hasil produk *kalsi* yang diantaranya yaitu *kalsipart*, *kalsiplank*, *kalsirata* dan *kalsifloor*. Bahan ini merupakan sejenis papan untuk dinding luar yang umumnya diaplikasikan pada rangka baja yang sesuai (sesuai dengan desain, dimensi, ketebalan dan jarak antara rangka) yang bergantung pada beban angin, beban mati, ketinggian bangunan serta tingkat resiko gempa. Selain bahannya yang terbebas dari asbestos, produk ini juga aman bagi kesehatan serta tidak mudah pecah atau getas (*brittle*) seperti halnya produk yang mengandung asbestos.

Beberapa keunggulan lainnya dari penggunaan produk ini adalah :

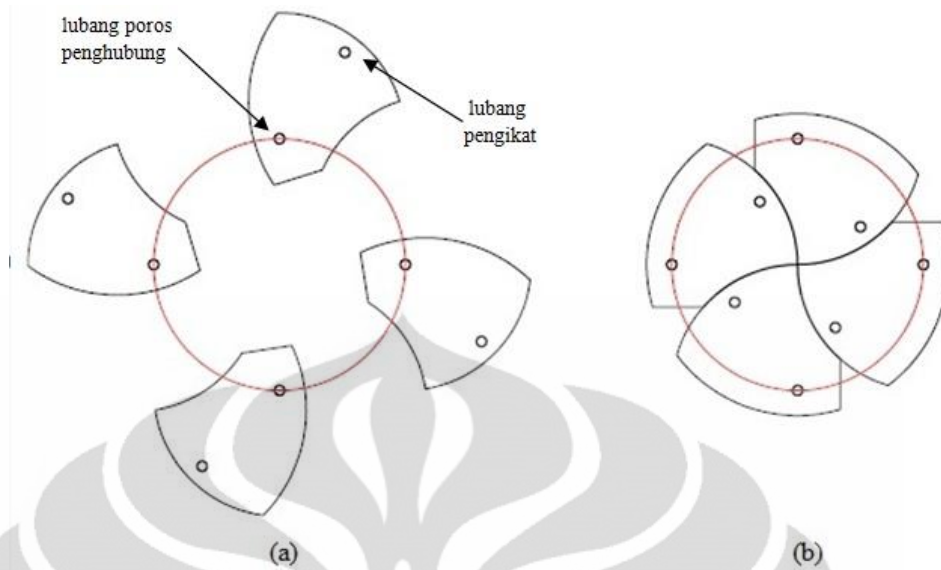
- a) Tahan terhadap air.
- b) Tahan dari serangan rayap.
- c) Tahan terhadap api (tidak menyebarkan nyala api).

- d) Fleksibel pada ketebalan tertentu yaitu ukuran ketebalan 3 – 8 mm dapat dilengkungkan dengan radius yang berbeda.
- e) Dimensi stabil, tidak berubah bentuk dan tepi yang lurus.
- f) Tahan terhadap benturan, lebih baik dibanding jenis papan gipsum.
- g) Mudah dikerjakan pada berbagai macam aplikasi.
- h) Variasi ketebalan yang sesuai dengan aplikasinya.

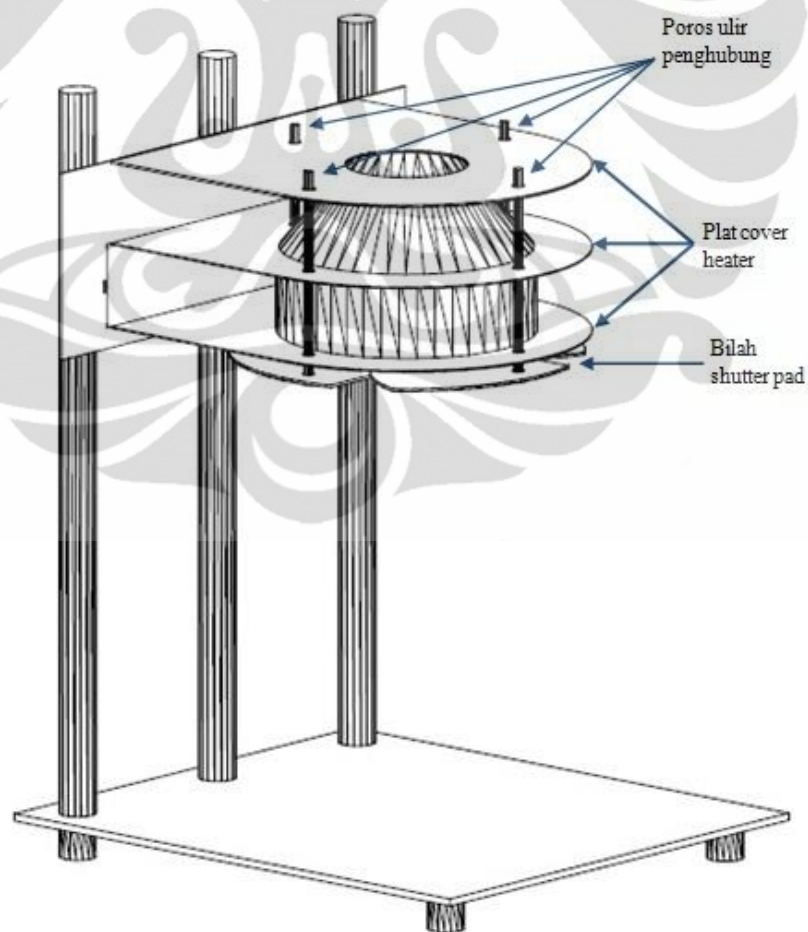
Untuk mengetahui lebih lengkap tentang keamanan dan keselamatan dalam penggunaan produk ini dapat dilihat pada lembaran data keselamatan material yang terlampir.

Pada proses pembuatannya, lembaran *kalsiclad 10* terlebih dahulu diukur sesuai dengan desain yang sudah dibuat dan kemudian dipotong menjadi 4 bagian berbentuk bilah diafragma penutup kamera seperti yang diilustrasikan pada gambar 3.6. Untuk permukaan bawahnya dilapisi dengan lapisan aluminium dengan ketebalan 2 mm. Tujuan dari aluminium tersebut adalah untuk menambah hambatan radiasi panas dalam volume kecil dan membantu proses pemasangan pada porosnya.

Pada setiap bilah dibuat dua buah lubang yang berdiameter 10 mm (gambar 3.6a) dimana lubang pertama berfungsi sebagai tempat poros penghubung untuk menggerakkan masing-masing bilah saat membuka atau menutup, dan lubang kedua berfungsi sebagai tempat poros pengikat yang menghubungkan lapisan isolator (*kalsiclad 10*) dengan aluminium. Untuk poros penghubung menggunakan poros ulir berdiameter M8, dan poros ini tidak melalui proses pembuatan melainkan dapat ditemukan dengan mudah di pasaran. Sedangkan poros pengikat menggunakan mur dan baut agar posisi aluminium dan isolator tidak bergeser. Untuk lebih jelasnya, dapat ditunjukkan melalui ilustrasi pada gambar 3.7.

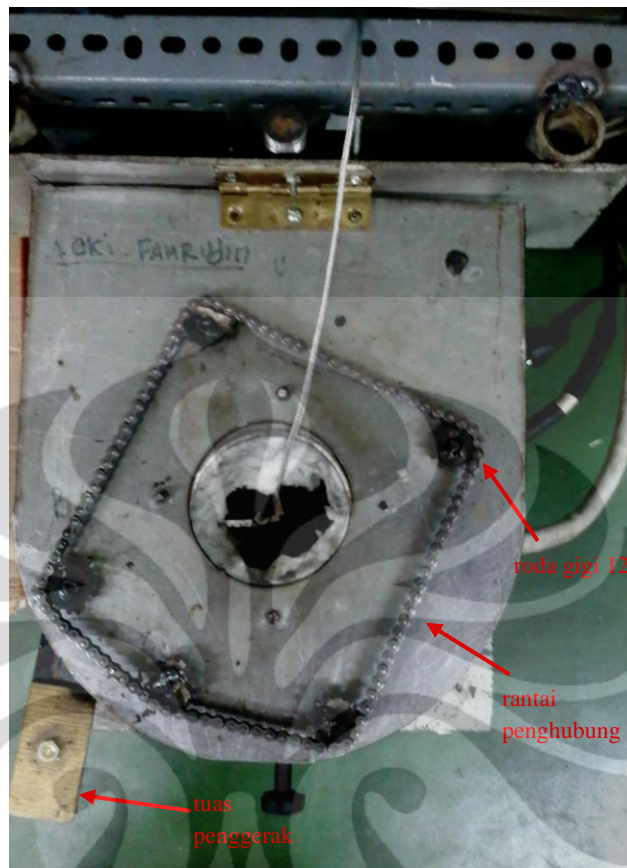


Gambar 3.6 Desain 4 bilah pada *shutter pad* dalam keadaan terbuka (a) dan dalam keadaan tertutup (b). Gambar dengan skala bukan sebenarnya.



Gambar 3.7 Penempatan *shutter pad* dan poros ulir penghubungnya

Setelah semua poros penghubung dipasang pada masing-masing bilah maka untuk tahap selanjutnya adalah mengaplikasikan komponen *shutter pad* tersebut pada *cone calorimeter* dan merancang sistem penggerakannya. Terlebih dahulu pada masing-masing lapisan *cover heater* dibuat lubang berdiameter 10 mm dengan memperhitungkan posisi *shutter pad* telah menutupi seluruh daerah bagian bawah *conical heater*. Tahap selanjutnya adalah proses perakitan *shutter pad* pada alat *cone calorimeter* yang dilakukan di Laboratorium Teknologi Mekanik Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia. Untuk mekanisme penggerakannya menggunakan 4 buah roda gigi dua belas dan 1 rantai penggerak yang nantinya masing-masing roda gigi akan dipasang pada bagian atas poros ulir (gambar 3.8). Hal yang menjadi kendala pada tahap ini adalah keakuratan penempatan roda gigi yang rata satu sama lain dan penyesuaian jumlah sambungan rantai yang pada saat pengerjaannya ternyata hanya menyisakan setengah dari 1 sambungan untuk mengencangkan rantai tersebut sehingga diputuskan untuk menambah 1 roda gigi sebagai penekan. Roda gigi tambahan tersebut terpasang pada satu poros dan ditempatkan diantara 2 poros ulir utama dengan posisi condong ke depan. Sebagai pengatur gerakan buka-tutup digunakan satu buah plat baja sebagai tuas penggerak yang dipasang pada salah satu dari 4 poros utama untuk membuka dan menutup *shutter pad* secara bersamaan. Pada salah satu ujung plat tersebut di bagian atas dan bawahnya dilapisi dengan material kayu guna memudahkan operator menyentuh plat tersebut dan terhindar dari *hazard* yaitu panas yang merambat di plat pada saat ingin membuka atau menutup *shutter pad*.



Gambar 3.8 Cone calorimeter dengan penggerak *shutter pad* dibagian atas plat cover heater (tampak atas)

3.4 Rekondisi Cone Calorimeter

Alat uji *cone calorimeter* sebelumnya telah dilengkapi dengan *cover heater*, dan dudukan yang terdiri dari plat besi dan tiang penyangga. Untuk menyesuaikan alat uji dengan pengujian pada skripsi ini maka telah dilakukan beberapa penambahan komponen, yang diantaranya ialah :

- a) Penggantian isolator pada *conical heater*, dimana pada kondisi sebelumnya menggunakan isolator berupa asbes pita dan diikatkan dengan kawat di sekeliling bagian luar *conical heater*. Untuk mendapatkan kondisi temperatur terjaga stabil dan minim adanya *heat loss* maka isolator diganti dengan bahan baru yaitu *kwul* yang berupa lembaran berserat tebal dengan ketebalan.
- b) Pemasangan *box panel* beserta instalasi listrik, yang digunakan untuk memudahkan pengoperasian pada saat melakukan pengujian.

Komponen ini dipasang menyatu dengan alat uji *cone calorimeter* dan ditempatkan di samping bagian atas *cover heater*. Pada *box panel* dipasang pula beberapa panel diantaranya *control temperature* (Autonics TZ4ST), *emergency push button*, 2 lampu indikator (hijau dan merah), terminal, dan MCB (*Mini Circuit Breaker*) sebagai pengaman instalasi listrik agar tidak ada aliran listrik yang berlebih mengalir secara langsung ke alat listrik termasuk ke *heater* apabila terjadi hubungan singkat (korsleting). Menyesuaikan alat *heater* dengan tegangan 220 Volt dan daya sebesar 4000 Watt maka diperlukan jenis MCB dengan arus 16 A agar mampu bekerja pada suhu maksimum yaitu 500-600°C.

- c) Pemasangan roda berjalan pada bagian kaki dudukan, untuk memudahkan proses pemindahan alat uji dari satu tempat ke tempat yang lain. Roda yang dipasang meliputi dua roda hidup dan dua roda rem.

3.5 Metodologi Penelitian

3.5.1. Karakterisasi Fisik Alat Uji

Sebelum melakukan pengujian sampel perlu untuk mengetahui kinerja awal alat uji dan perlengkapannya dengan melakukan pengukuran kestabilan temperatur pada heater yang terbaca serta pengukuran ketahanan isolator yang digunakan pada *shutter pad* juga pada dinding luar *heater* sebagai selimut pelindung panas dengan proses pemanasan awal *heater* yang dilakukan secara bertahap dengan variasi temperatur dimulai dari temperatur 100°C sampai dengan 500°C dengan interval kenaikan 50°C. Untuk menunjang proses ini, diperlukan dua buah termokopel tipe K yang keduanya ditempatkan mengenai *heater* dengan masing-masing output yaitu satu untuk kepentingan *temperature controller* dan lainnya untuk kepentingan pengumpulan data melalui aplikasi Advantech ADAMview. Satu buah sensor fluksmeter ditempatkan pada dudukan yang terhubung ke alat Advantech ADAMview, sensor ini akan digunakan hanya pada saat temperatur *heater* yang diinginkan sudah tercapai dan stabil untuk mengetahui nilai fluks kalor dari radiasi yang dipancarkan pada saat *shutter pad* dibuka.

Hal yang harus diperhatikan pada saat pemanasan awal *heater* adalah penempatan posisi termokopel yang dipastikan menempel dan bahkan diselipkan diantara *conical heater* dengan plat isolator agar dipastikan tidak ada gangguan dalam pembacaan temperatur pada *temperature controller* dan pengumpulan data. Untuk mengetahui seberapa besar penyebaran panas pada elemen *conical heater* berdasarkan variasi temperatur yaitu dengan mengetahui besar nilai dari fluks kalor yang diukur dari beberapa titik. Hal yang perlu diketahui yaitu panas yang dipancarkan dari *heater* akan menunjukkan warna pijar berwarna merah menyala pada saat temperatur dinaikkan lebih tinggi sampai ke titik maksimal (600°C). Untuk melakukan proses pemanasan dengan kenaikan temperatur setiap 50°C dibutuhkan sampai ± 2 jam dengan masing-masing temperatur membutuhkan sekitar 10-15 menit untuk mencapai stabil.

3.5.2. Prosedur Persiapan Pengujian

Hal yang harus dipersiapkan sebelum melakukan pengujian yaitu sebagai berikut :

- a) Periksa kondisi alat uji dan posisi yang ditempatkan di tempat dengan suhu ruangan dan tidak langsung terkena faktor angin yang dapat mempengaruhi hasil proses pengujian. Jauhkan benda-benda yang dianggap mudah terbakar berada di dekat alat uji untuk menghindari kejadian yang tidak diinginkan.
- b) Gunakan sarung tangan tebal atau lebih aman dengan sarung tangan khusus anti panas untuk memudahkan pengaturan posisi sampel pada saat proses pengujian berlangsung sekaligus untuk menghindari panas yang bersentuhan langsung dengan kulit.
- c) Siapkan sampel uji yang sudah dibentuk berupa persegi dengan ukuran 10 x 10 cm. Sampel yang digunakan pada pengujian ini yaitu berupa kertas.
- d) Siapkan alat penerima data Advantech ADAMview dan diposisikan agak bersebelahan dengan *box panel* alat uji agar termokopel yang ditempatkan di *heater* dapat dijangkau untuk dihubungkan dengan alat penerima data.

- e) Nyalakan *personal computer/notebook* yang telah tersedia program Advantech Automation untuk keperluan proses penerimaan hasil data pengujian dan hubungkan dengan alat penerima data melalui sambungan kabel USB yang telah tersedia satu paket.
- f) Pasang 2 termokopel tipe K yang sudah dijelaskan sebelumnya sesuai dengan fungsinya masing-masing dan pastikan kabel (+) dan (-) terhubung dengan benar. Satu termokopel tambahan dihubungkan antara sampel dan alat penerima data (Advantech ADAMview) untuk keperluan pengambilan data sampel.
- g) Pada proses pengujian fluks kalor, disiapkan alat fluksmeter dengan bantuan dudukan yang ketinggiannya diatur mendekati bagian bawah *shutter pad* atau setara dengan jarak 2,5 cm dari bagian bawah *conical heater*. Untuk mengurangi panas yang terserap didalam fluksmeter, dibutuhkan proses pendinginan dengan menggunakan pompa pendingin yang dilengkapi selang untuk dihubungkan dengan salah satu dari dua selang yang terpasang pada fluksmeter. Dengan prinsip kerja menggunakan motor, aliran air dingin akan dipompa melalui selang sampai terjadi sirkulasi yang nantinya akan membantu proses pendinginan pada alat fluksmeter.
- h) Siapkan *stopwatch* untuk keperluan penanda waktu setiap proses pengujian.
- i) Dikarenakan adanya arus listrik yang bocor dari elemen *heater* dan tanpa sengaja mengalir ke komponen *cover heater* yang bersifat penghantar listrik, maka diperlukan sebuah kabel panjang yang ujungnya ditempatkan pada sisi alat uji dan ujung lainnya ditancapkan ke tanah (sistem *grounding*) untuk mencegah bahaya setrum. Penyebab adanya arus listrik yang bocor bisa dikarenakan faktor usia dari heater sehingga terdapat bagian elemen *heater* yang mengalami ketidaknormalan dalam sistem insulasinya.

3.5.3 Prosedur Running dan Pengambilan Data

Setelah semua proses persiapan dilaksanakan, maka untuk proses pengambilan datanya dapat dijabarkan sebagai berikut :

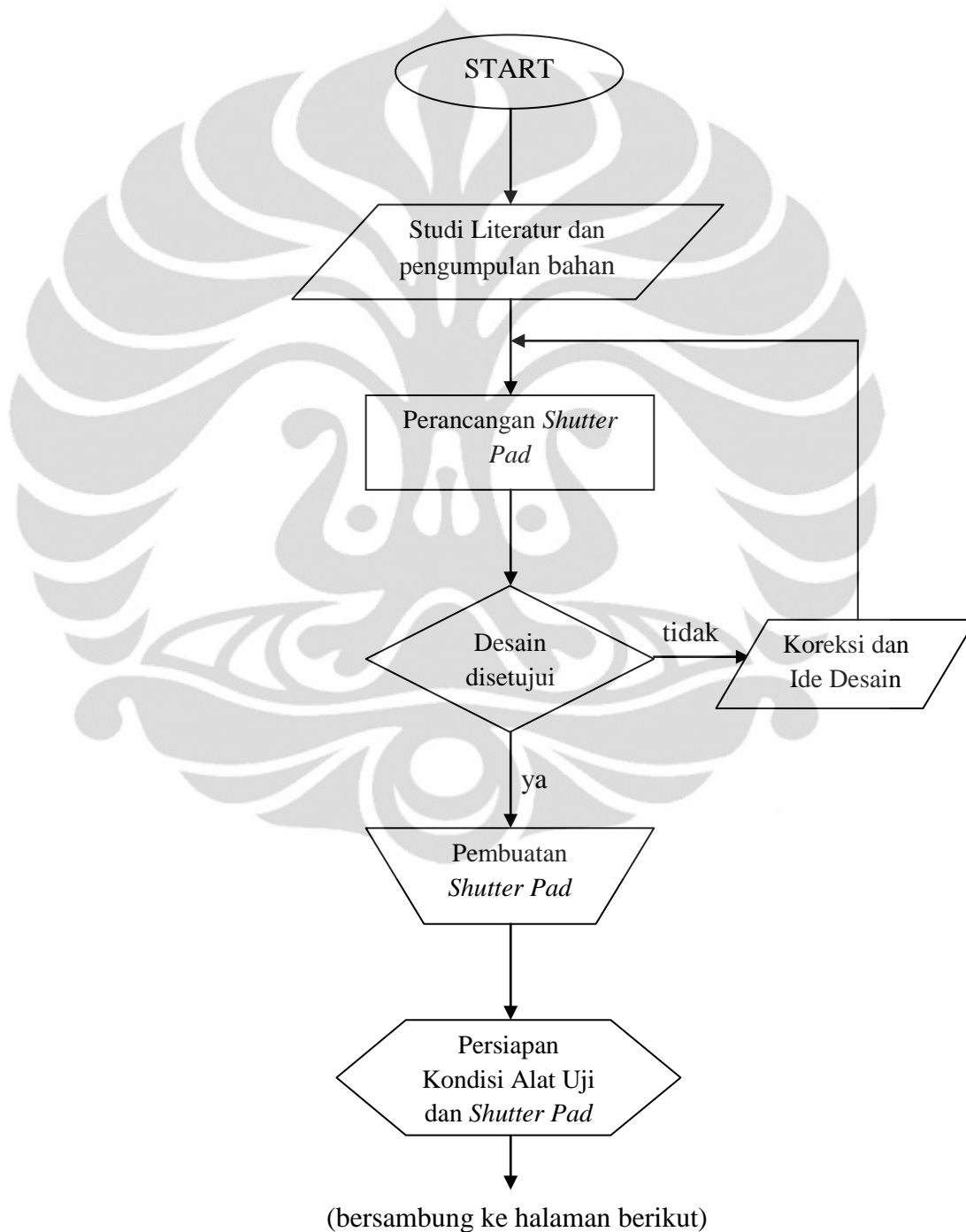
- a) Pada personal *computer/notebook* buka program Advantech Automation dan pilih terlebih dahulu menu “*advantech device manager*” untuk mengecek pembacaan data awal dari termokopel yang sudah terpasang.
- b) Nyalakan *heater* melalui MCB (*Mini Circuit Breaker*) yang terdapat didalam *box panel*, kemudian atur temperatur yang diinginkan. Untuk setiap pengoperasian pertama diharuskan untuk mengatur temperatur dimulai dari 50 - 100°C, dengan tujuan agar tidak terjadi ketidakstabilan pada kinerja *heater* apabila langsung diatur ke temperatur yang lebih tinggi.
- c) Pada saat pengukuran fluks kalor untuk setiap kenaikan 50°C, sebelum mengambil data dibiarkan temperatur telah mencapai kondisi stabil dengan deviasi $\pm 5^\circ\text{C}$. Pembacaan pada display di *control temperature* dengan data yang terbaca melalui Advantech ADAMview akan berbeda walaupun tidak signifikan, dan karena pengambilan data dilakukan oleh komputer maka data yang terbaca serta terekam pada program tersebut akan dijadikan acuan untuk hasil data. Untuk pengukuran fluks kalor, diukur di lima titik dengan masing-masing lama pengukuran ± 2 menit. Lima titik yang diukur yaitu titik tengah, sisi belakang, sisi depan, sisi kanan, dan sisi kiri dari bentuk lingkaran bawah *conical heater* untuk mengetahui perbandingan nilai fluks kalor di setiap temperatur. Fluks kalor yang didapat setiap temperatur nantinya akan dijadikan sebagai acuan dalam perhitungan pada proses pengujian berikutnya.
- d) Pada saat pengukuran fluks kalor untuk variasi jarak, dilakukan khusus untuk temperatur lebih dari 500°C. Dengan mengambil satu titik pengukuran saja yaitu di titik tengah, proses pengambilan data dimulai dari jarak standar yaitu 2,5 cm, kemudian diatur jarak dengan memutar poros ulir yang akan menaik-turunkan alat uji sesuai yang

diinginkan. Untuk proses ini, diambil perbandingan jarak antara 2 cm, 2,5 cm, 3 cm, 4 cm hingga 5 cm.

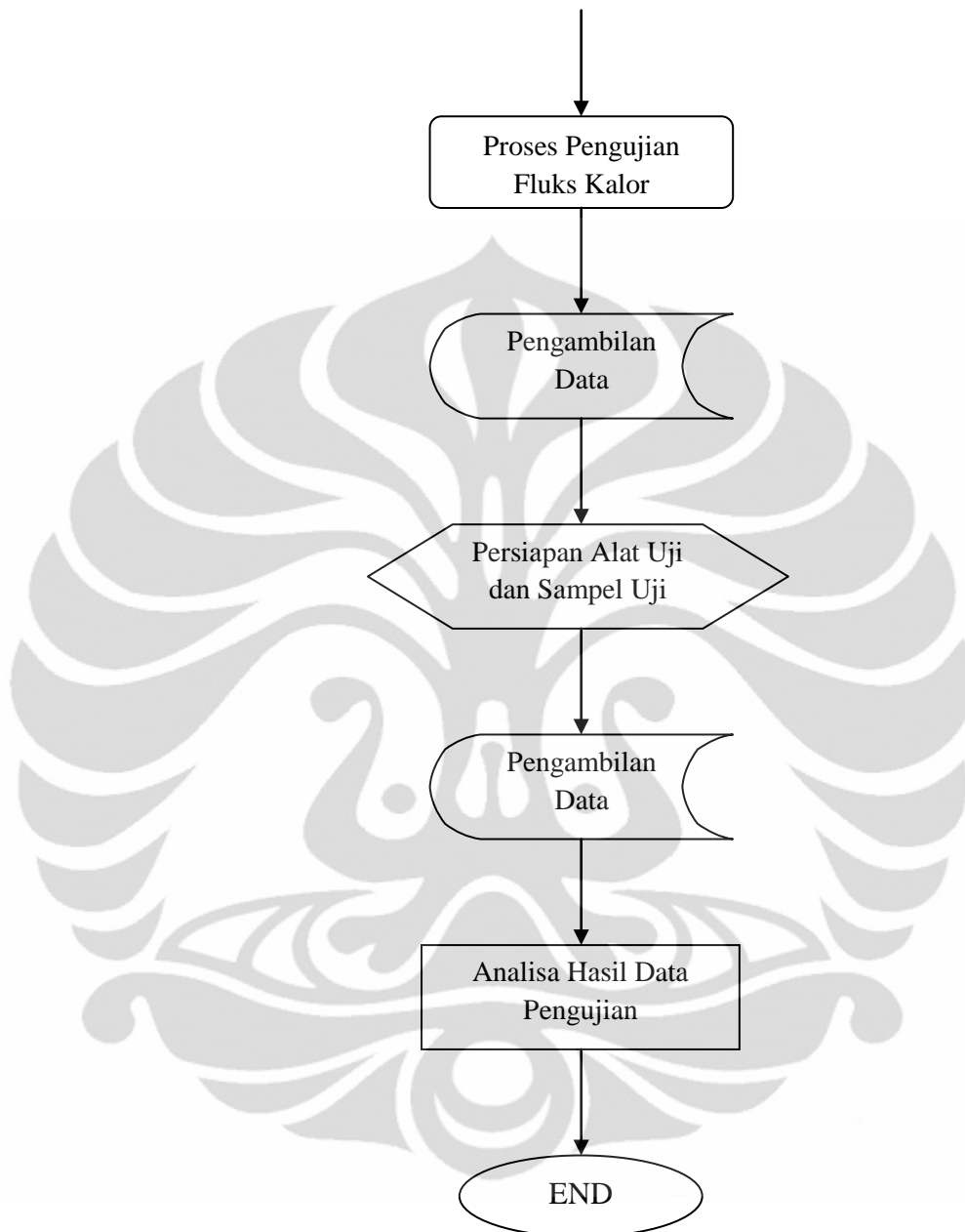
- e) Pada saat pengukuran uji sampel, dilakukan dengan menggunakan sampel kertas berukuran 10 x 10 cm dan dapat diuji dimulai dari temperatur 300 °C. Apabila sampai batas waktu lebih dari 10 menit tidak terdapat tanda-tanda sampel terbakar maka pengujian pada temperatur tersebut dianggap tidak berlaku. Untuk sampel yang terdapat tanda-tanda akan terbakar, dihitung durasi waktu mulai dari start terkena radiasi sampai sampel cenderung berubah warna menjadi coklat hingga kehitaman yang diiringi keluarnya asap yang menandakan kandungan air pada sampel tersebut telah menguap. Dan jika ditunggu lebih lama lagi, *volatile* yang terkandung didalam sampel mulai menguap hingga pada akhirnya mulai terbakar.
- f) Penempatan sampel diletakkan pada dudukan dan didiamkan sementara dibawah alat uji untuk mendapatkan kestabilan temperatur awal pada sampel tersebut sebelum *shutter pad* dibuka dan proses pengujian dilakukan.
- g) Sesaat sampel siap untuk diuji yang dimulai dengan dibukanya *shutter pad* dan radiasi mulai mengenai sampel maka pada saat bersamaan proses pengambilan data dimulai dengan memilih menu “*running*” pada program Advantech Device Builder dan secara otomatis proses pembacaan hasil data akan terekam.
- h) Untuk hasil data pengukuran fluks kalor, data yang sebelumnya dalam dimensi temperatur (K) kemudian dikonversi ke bentuk dimensi kW/m² dengan tahapan berikut :
- $$\text{Nilai terukur (K)} \longrightarrow \text{milivolt (mV)} \longrightarrow \text{fluks kalor (kW/m}^2\text{)}$$
- $$T \text{ (K)} \longrightarrow 2 \times 10^{-6} \times T^2 = V \text{ (mV)} \longrightarrow 11,11 \times V = q''$$
- i) Setelah semua hasil data terkumpul, dibuat pemetaan perbandingan dalam bentuk grafik yang pada nantinya akan dijadikan bahan analisa hasil pengujian. Grafik dibuat dengan menggunakan *software* Microsoft Office Excel dan OriginLab Pro 8.

3.5.4 Diagram Alir Penelitian

Proses pengujian dan pengambilan data dilakukan di Laboratorium Pembakaran Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia dengan garis besar penelitian seperti yang ditunjukkan pada diagram alir berikut dibawah ini.



(lanjutan dari halaman sebelumnya)



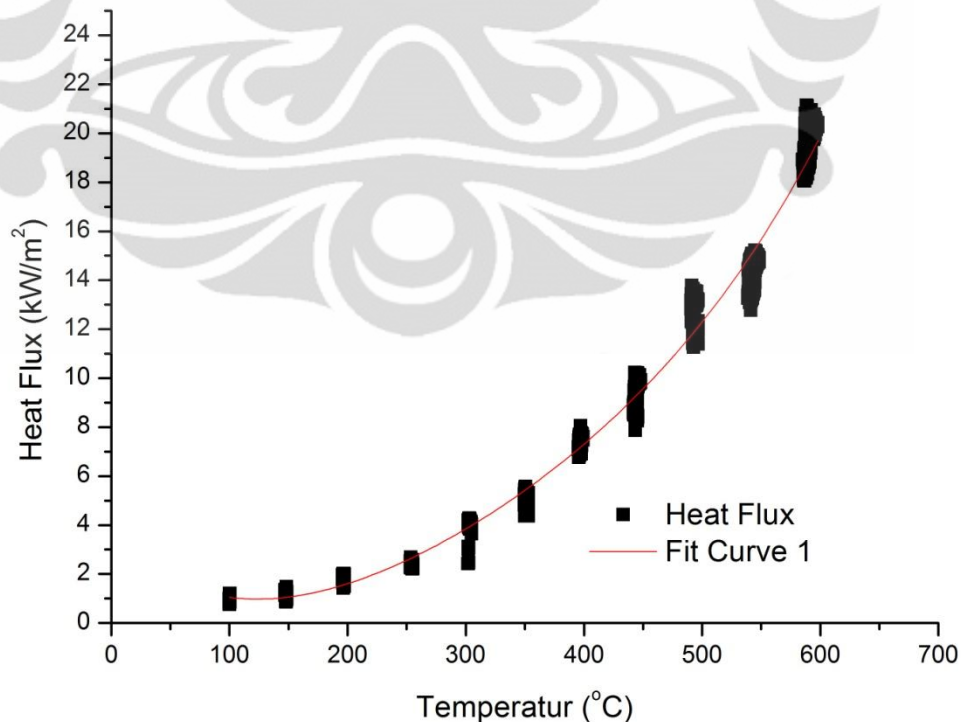
Gambar 3.9 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

ANALISA HASIL DATA PENGUJIAN

4.1 Pengukuran Fluks Kalor Dengan Variasi Temperatur

Pada pengujian awal dilakukan dengan mengukur nilai fluks kalor dari radiasi yang dipancarkan oleh *heater* dengan variasi temperatur dari 100-600°C dan interval kenaikan setiap 50°C. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan antara hasil data yang diuji dengan nilai yang diukur secara teori matematis. Hubungan fluks kalor dengan temperatur *heater* sendiri adalah berdasarkan pada hukum Stefan-Boltzmann yang berbunyi : “*Jumlah energi yang dipancarkan per satuan permukaan sebuah benda hitam dalam satuan waktu akan berbanding lurus dengan pangkat empat temperatur termodinamikanya*”. Sehingga dengan melihat grafik yang ditunjukkan nantinya akan dicocokkan kesesuaian grafik tersebut dengan perhitungan polynomial. Berikut adalah hasil data pengujian fluks kalor pada masing-masing temperatur dengan mengambil 5 titik ukur yaitu titik tengah, belakang, depan, kanan dan kiri :



Gambar 4.1 Grafik fluks kalor dan hubungan secara polynomial

Pada grafik ditunjukkan adanya kenaikan fluks kalor seiring dengan kenaikan gradien temperatur, mengambil titik dimana sensor fluks kalor langsung menerima radiasi setelah *shutter pad* dibuka sampai mencapai keseimbangan dari 5 spot yang diuji. Mulai munculnya deviasi yang cukup signifikan pada temperatur 300-600°C, dimana pergerakan fluks kalor cenderung fluktuatif namun jika dihubungkan dengan persamaan antara fluks kalor dan temperatur *heater* secara polynomial akan didapatkan hasil berupa garis kurva yang secara keseluruhan menyentuh beberapa titik hasil pengukuran.

	A	B	C	D
1	Equation	$y = \text{Intercept} + B1*x^1 + B2*x^2 + B3*x^3 + B4*x^4$		
2	Weight	No Weighting		
3	Residual Sum of Squares	2123,06781		
4	Adj. R-Square	0,99109		
5			Value	Standard Error
6		Intercept	3,37051	0,15528
7		B1	-0,04347	0,00242
8	Heat Flux	B2	2,38346E-4	1,24684E-5
9		B3	-3,87874E-7	2,59269E-8
10		B4	3,12979E-10	1,8741E-11

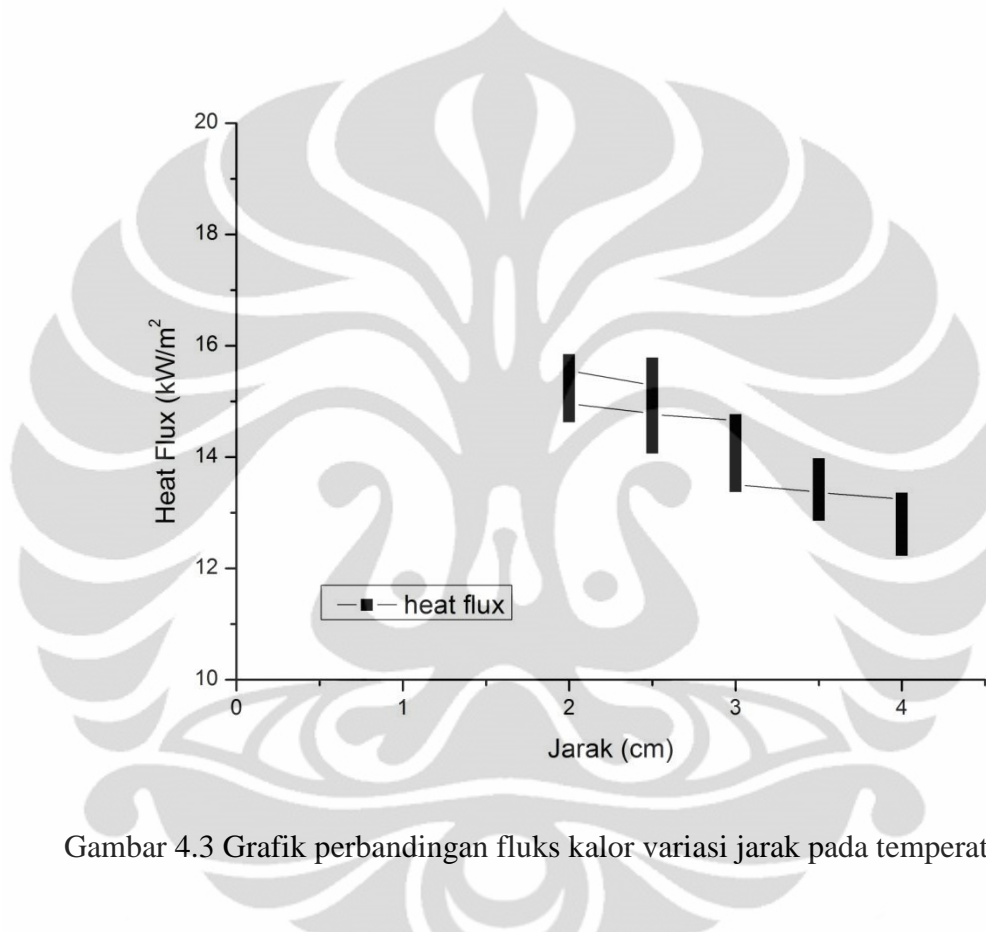
Gambar 4.2 Perhitungan menurut polynomial hubungan antara fluks kalor dan temperatur pada *heater*

4.2 Pengukuran Fluks Kalor Dengan Variasi Jarak Radiasi

Untuk mengetahui bagaimana pengaruh jarak sensor terhadap radiasi dapat diketahui dengan melakukan pengujian pada temperatur 500°C, 550°C dan 600°C. Pengujian dilakukan dengan 2 cara yaitu pertama untuk temperatur 550°C dan 600°C dengan melakukan pengujian pada satu titik saja yaitu titik tengah dengan variasi jarak 2 cm, 2,5 cm, 3,5 cm, 4 cm dan 4,5 cm. Cara kedua yaitu untuk temperatur 500°C dan 600°C dengan melakukan pengujian pada 5 titik yaitu titik tengah, depan,

belakang, kanan dan kiri dari bagian bawah *heater* dengan variasi jarak 2,5 cm, 3 cm dan 3,5 cm.

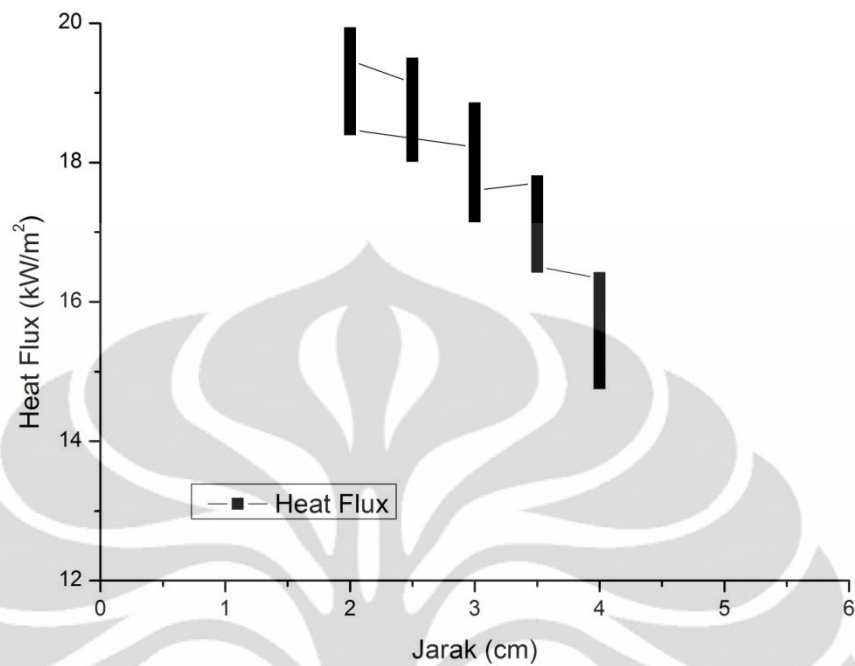
Pengujian pertama untuk temperatur 550°C hasilnya ditunjukkan pada gambar 4.3 yang menunjukkan perbedaan nilai fluks kalor setiap jarak sebesar 0,5 kW/m². Setiap jarak dilakukan pengujian selama ± 2 menit.



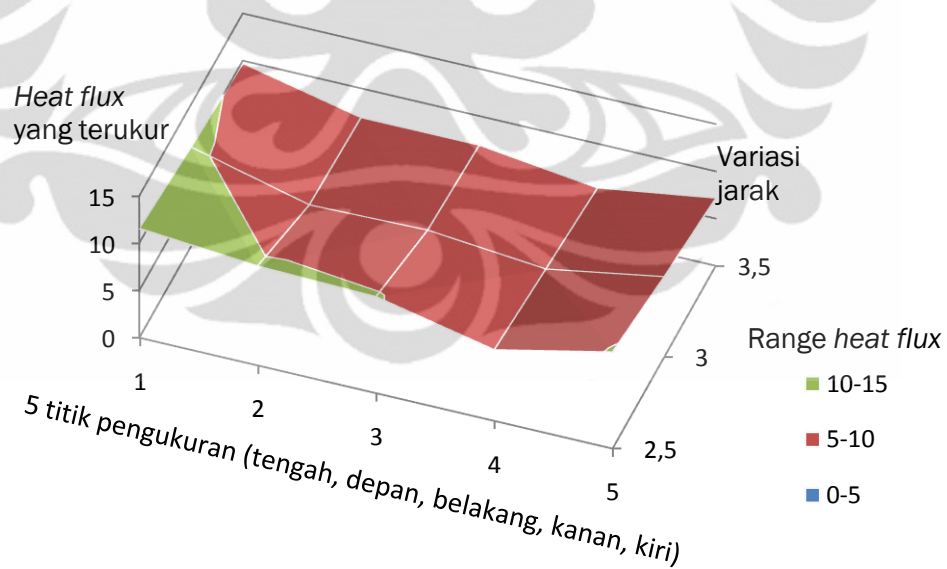
Gambar 4.3 Grafik perbandingan fluks kalor variasi jarak pada temperatur 550°C

Untuk temperatur 600°C ditunjukkan pada gambar 4.4 dengan perbandingan nilai fluks kalor setiap jarak bergerak mulai dari 19,8 kW/m² sampai pada nilai terendah yaitu 14,8 kW/m². Penurunan fluks kalor akan terus terjadi seiring bertambahnya jarak sensor fluks kalor dengan radiasi yang dipancarkan.

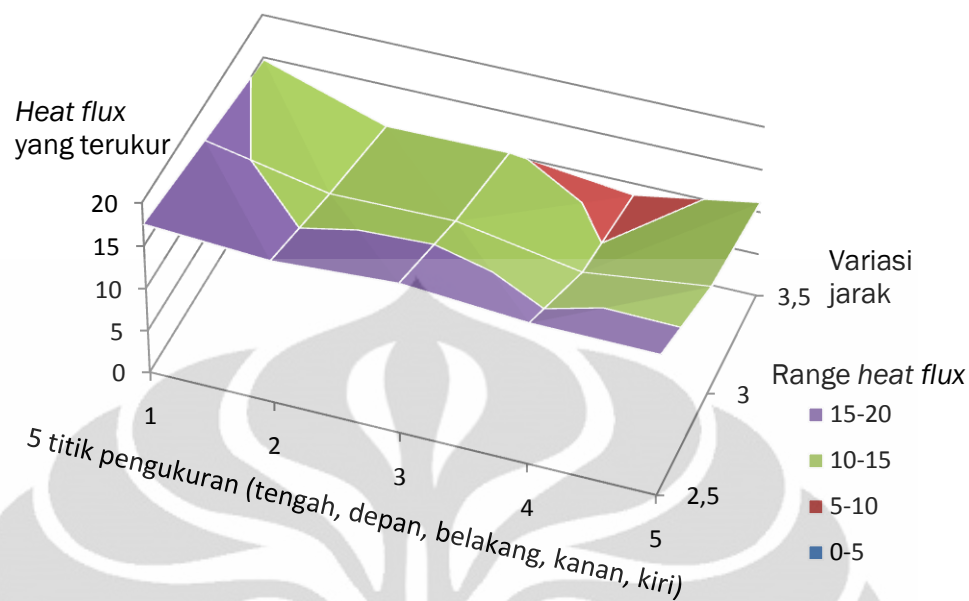
Pada pengujian cara kedua dilakukan terhadap 5 titik pengukuran dengan variasi jarak dan temperatur. Untuk temperatur 500°C hasilnya dapat ditunjukkan pada gambar 4.5 dan temperatur 600°C ditunjukkan pada gambar 4.6. Kedua grafik dinyatakan dalam bentuk grafik permukaan 3 dimensi untuk memudahkan mengetahui pergerakan nilai fluks kalor yang terukur setiap masing-masing pengukuran.



Gambar 4.4 Grafik perbandingan fluks kalor variasi jarak pada temperatur 600°C



Gambar 4.5 Grafik perbandingan fluks kalor variasi jarak dan 5 titik pada temperatur 500°C



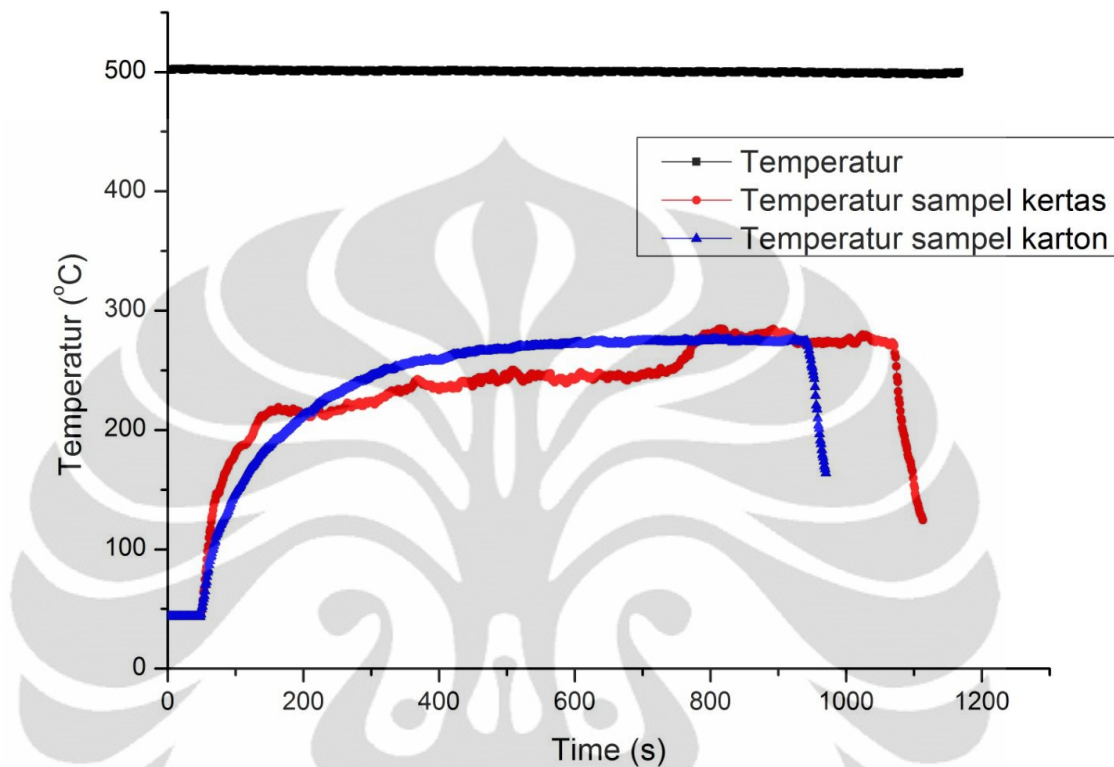
Gambar 4.6 Grafik perbandingan fluks kalor variasi jarak dan 5 titik pada temperatur 600°C

4.3 Pengukuran Terhadap Sampel

4.3.1 Temperatur 500°C

Pada pengujian terhadap sampel dilakukan mulai pada temperatur 500°C dengan menggunakan benda uji kertas dan karton sebagai pembanding. Untuk temperatur 500°C , sampel kertas membutuhkan waktu 769 detik (12,8 menit) untuk menaikkan temperatur dari 42°C sampai dengan 284°C . Namun sampai pada waktu lebih dari 10 menit sampel tidak mengalami proses pembakaran, yang terjadi hanya perubahan warna hitam dengan cepat dan pekat. Fluks kalor yang dihasilkan pada temperatur 500°C belum cukup besar untuk menimbulkan nyala api pada sampel kertas. Grafik hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 4.7 dengan garis merah sebagai sampel kertas. Pada sampel berupa karton, hasil pengujian didapatkan bahwa karton membutuhkan waktu yang lebih cepat dari kertas yaitu 643 detik (10,7 menit) untuk menaikkan temperatur dari 43°C sampai dengan 274°C . Sama seperti kertas, tidak ada proses pembakaran pada sampel karton, hanya perubahan warna hitam pada seluruh permukaan. Dari keseluruhan hasil pengujian ini dapat disimpulkan kedua sampel tidak menunjukkan kenaikan gradien temperatur yang tidak terlalu besar dan cenderung lambat. Dan pada temperatur *heater* yang sama, ketahanan sampel karton lebih baik dibanding pada kertas jika melihat dari perbedaan titik

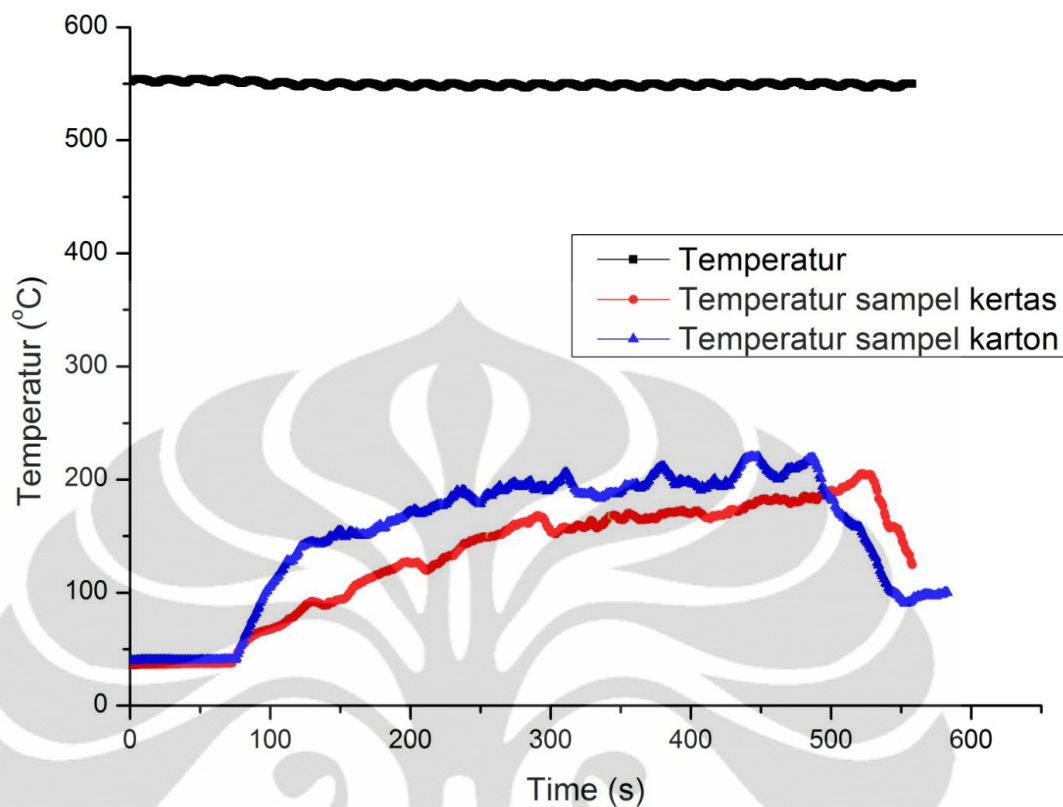
temperatur maksimal yang dicapai. Grafik hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 4.7 dengan garis biru sebagai sampel karton.



Gambar 4.7 Grafik pengujian sampel kertas dan karton pada temperatur 500°C

4.3.2 Temperatur 550°C

Pada pengujian terhadap sampel kertas, membutuhkan waktu sekitar 257 detik (4,3 menit) untuk menimbulkan bara api tanpa adanya nyala api dibandingkan pada karton yang jauh lebih cepat hanya membutuhkan waktu 118 detik (1,9 menit) untuk memunculkan bara api. Namun pada sampel kertas, kenaikan gradien temperatur cenderung lebih curam daripada karton dikarenakan faktor kertas mempunyai ketahanan yang lebih rendah dibanding dengan karton. Lama waktu terbakarinya sampel menunjukkan sampel karton membutuhkan waktu yang lebih panjang untuk melakukan proses pembakaran yaitu selama 203 detik (3,4 menit) dibandingkan kertas yang lebih pendek 116 detik sampai sampel benar-benar habis terbakar. Grafik hasil pengujian kedua sampel ditunjukkan pada gambar 4.8.

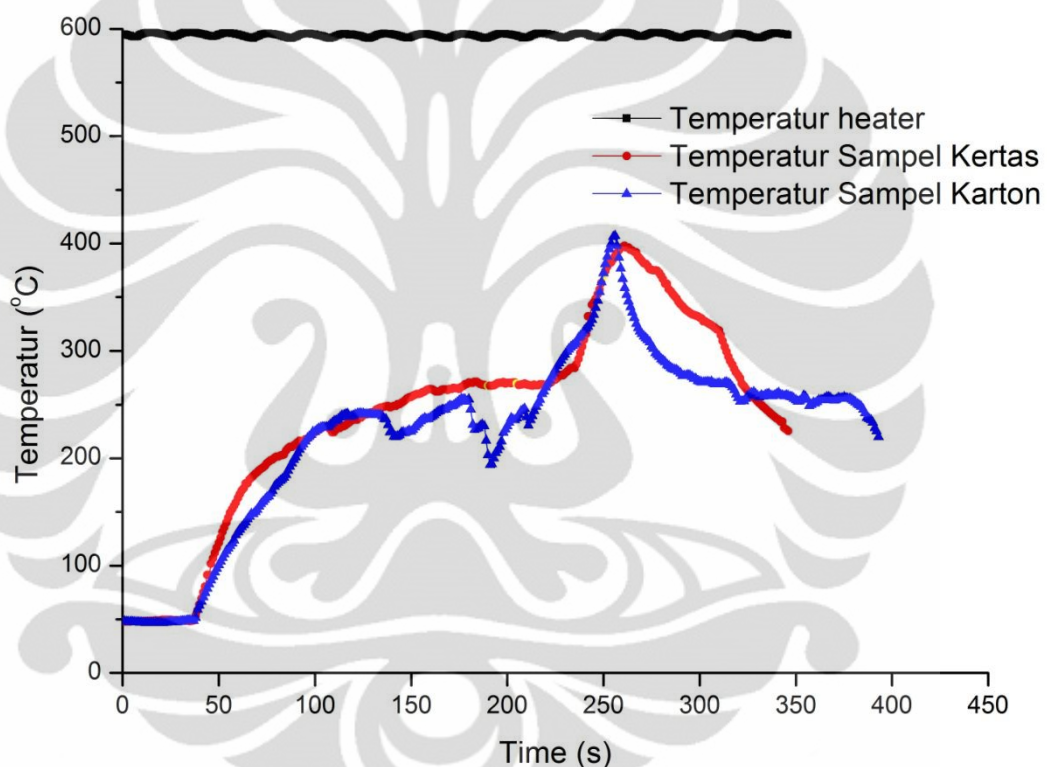


Gambar 4.8 Grafik pengujian sampel kertas dan karton pada temperatur 550°C

4.3.3 Temperatur 600°C

Untuk pengujian pada pengaturan temperatur *heater* ke titik maksimal 600°C, pengujian dilakukan sama seperti kedua pengujian sebelumnya. Garis merah pada grafik 4.9 menunjukkan sampel kertas membutuhkan waktu 152 detik (2,5 menit) untuk mencapai proses pembakaran dan hanya selang waktu 15 detik muncul nyala api yang besar melewati bagian dalam *heater* sampai akhirnya semua permukaan sampel terbakar habis setelah 45 detik. Untuk titik temperatur munculnya bara api terjadi pada temperatur sampel mencapai 267°C. Hal ini menunjukkan adanya kesesuaian dengan tabel indeks tentang konstanta temperatur fisik bahan yang ditunjukkan pada gambar 4.10 dimana temperatur pembakaran pada material kertas berada pada temperatur 218-246°C mendekati nilai temperatur sampel pada pengujian yang dilakukan. Sedangkan garis biru pada grafik 4.9 menunjukkan sampel karton membutuhkan waktu 78 detik (1,3 menit) untuk mencapai proses pembakaran yang disertai adanya nyala api namun tidak kasat mata dan setelah 120

detik (2 menit) sampel habis terbakar. Hasil pengujian kali ini menunjukkan hanya pada saat pengujian sampel kertas timbul nyala api yang diikuti dengan kenaikan temperatur yang cukup cepat begitu pula yang terjadi pada karton meskipun tidak terlihat dengan jelas adanya nyala api namun kenaikan gradien temperatur pada saat bara api muncul temperatur mengalami peningkatan yang tajam dan cepat dikarenakan kondisi sampel yang mulai terbakar habis seiring tingginya temperatur panas dari bara api tersebut.



Gambar 4.9 Grafik pengujian sampel kertas dan karton pada temperatur 600°C

Dari semua pengukuran yang dilakukan dan hasil yang diperoleh terdapat satu hal yang menjadi perhatian khusus yaitu pada saat proses pengujian sampel, panas yang diterima sampel tidak hanya berasal dari pancaran radiasi oleh *heater* namun juga ada kemungkinan mendapat pengaruh konveksi dari alas dudukan sampel yang terbuat dari bahan konduktif sehingga sebagian radiasi ada yang diserap sampel sehingga sampel menerima kalor dari dua arah yaitu dari radiasi langsung dan dari alas dudukan sampel secara konveksi. Namun untuk mengetahui keakuratan

untuk menjawab fenomena ini, dibutuhkan proses pengujian yang lebih mendalam dengan menggunakan prosedur proses pengukuran sampel yang berbeda yaitu dengan menempatkan sampel dalam posisi menggantung tanpa ada alas sebagai dukungan dibawahnya atau dengan melakukan modifikasi dukungan sampel yang sudah ada agar sampel benar-benar hanya menerima panas dari radiasi yang dipancarkan oleh *heater* saja.

<i>Reactions to temperature exposure</i>	
Reaction	Temperature (Celsius)
Wood slowly chars*	120°-150°
Decayed wood ignites	150°
Ignition temp of various woods	190°-260°
Paper yellows	150°
Paper ignites	218°-246°
Oil soaked lagging ignites	190°-220°
Leather ignites	212°
Hay ignites	172°
Coal ignites	400°-500°
* wood chars at a rate of approximately 30-50 mm/hour	

Gambar 4.10 Konstanta temperatur fisik bahan

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari proses pembuatan penutup radiasi dan pengujian alat uji yang telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh radiasi panas terhadap suatu material dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu :

- a) Melihat dari desain dan manufaktur *shutter pad* pada alat uji dapat dikatakan mampu untuk menahan radiasi yang datang dari *heater* dan bekerja dengan cukup efektif untuk menjaga temperatur awal pada sampel meskipun masih terdapat sedikit celah/gap.
- b) Sistem kerja *shutter pad* dapat bergerak secara bersamaan membuka dan menutup dengan durasi waktu yang relatif singkat yaitu sekitar 1-2 detik.
- c) Fluks kalor yang terukur pada masing-masing temperatur menunjukkan hubungan semakin besar nilai temperatur *heater* maka nilai fluks kalor pun akan terus meningkat dan hasil data pengujian tersebut akan dihasilkan garis lengkung yang berbanding lurus jika dihubungkan dengan persamaan radiasi pangkat empat temperatur.
- d) Nilai fluks kalor akan berubah mengikuti pengaruh dari jarak sensor terhadap radiasi yang dipancarkan, meskipun jarak yang digunakan pembandingan dari jarak awal hanya selisih 1 cm saja.
- e) Ketahanan material terhadap pengaruh radiasi pada pengujian 2 sampel menunjukkan adanya perbedaan dimana secara keseluruhan kertas putih biasa daya tahan termalnya lebih kecil dibanding kertas karton. Pengujian yang dilakukan untuk sampel, dapat diketahui hanya pada temperatur 550°C dan 600°C yaitu sampel menunjukkan tanda-tanda proses pembakaran dengan jarak tetap 2,5 cm.
- f) Faktor pandang radiasi yang sebelumnya dijadikan referensi dasar teori untuk menghitung bagaimana penyebaran panas radiasi dari *heater* berupa fluks kalor dan nilai pengurangan perpindahan kalor pada laporan ini tidak dimasukkan, karena bentuk fisik dari *heater*

tidak dapat dianggap sebagai bentuk plat datar sehingga tidak ada pendekatan untuk menyesuaikan pada bentuk *conical heater* yang digunakan.

5.2 Saran

- a) Penempatan dan mekanisme penggerak pada penutup radiasi yang dibuat masih belum cukup baik dalam penggunaannya, karena faktor dari proses pemasangan aplikasi tersebut pada alat uji yaitu *cone calorimeter* harus menyesuaikan dengan kondisi fisik alat uji tersebut. Namun secara prinsip penggeraknya, sudah mampu beroperasi seperti yang sudah dirancang.
- b) Untuk menentukan faktor pandang radiasi pada *heater*, diperlukan pendekatan yaitu dengan menggunakan tambahan plat dengan berbahan konduktivitas yang sangat baik dan ditempatkan langsung pada bagian bawah *heater* sehingga radiasi yang diserap oleh plat tersebut yang sebelumnya tidak teratur akan menjadi lebih teratur dan merata yang diteruskan sampai mengenai sensor fluks kalor ataupun sampel yang akan diuji. Untuk jenis material yang cukup baik untuk dijadikan sebagai plat tersebut yaitu jenis *stainless steel*, namun untuk ketebalan masih memerlukan proses percobaan agar mendapatkan ketebalan yang cocok.
- c) Penempatan sampel yang kurang maksimal pada saat pengujian kemungkinan karena adanya panas yang terserap alas dudukan sampel ikut berperan pada saat proses pengukuran radiasi. Oleh karena itu untuk pengujian berikutnya sampel ditempatkan secara menggantung tanpa ada alas dibawahnya agar sampel benar-benar hanya menerima panas dari radiasi oleh *heater* tanpa ada pengaruh dari luar. Dapat juga dengan memodifikasi alas dudukan sampel yang sudah ada dengan menambahkan perangkat untuk membuat sampel tidak terkena langsung dengan alas dudukan.
- d) Pengujian yang dilakukan masih sebatas pada pengukuran fluks kalor dan pengaruh radiasi terhadap material, belum sampai pada beberapa

penelitian lainnya mengenai *Heat Release Rate* sehingga perlu untuk dikembangkan pengujian lainnya.

- e) Pengujian pada sampel dibutuhkan beberapa jenis dengan tingkat emisivitas yang berbeda-beda sehingga dapat dijadikan pembandingan yang lebih lengkap sekaligus sebagai standar ketahanan material terhadap radiasi panas dengan variasi temperatur dan jarak.



DAFTAR PUSTAKA

Holman, J.P., (1985). *Perpindahan Kalor*, Jakarta: Erlangga.

ASTM E 1354-97, (1997). *Standard Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using an Oxygen Consumption Calorimeter*, New York.

Incropera, F.P., DeWitt, D.P., Bergman, T.L., Lavine, A.S. (2007). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (6th ed.). United States of America: John Wiley & Sons.

John R. Hall, Jr. (2004, December). A Century of Fire Standards : The History of Committee E05, 1904-2004. *Standardization News*. April 12, 2011.
http://www.astm.org/SNEWS/DECEMBER_2004/hall_dec04.html

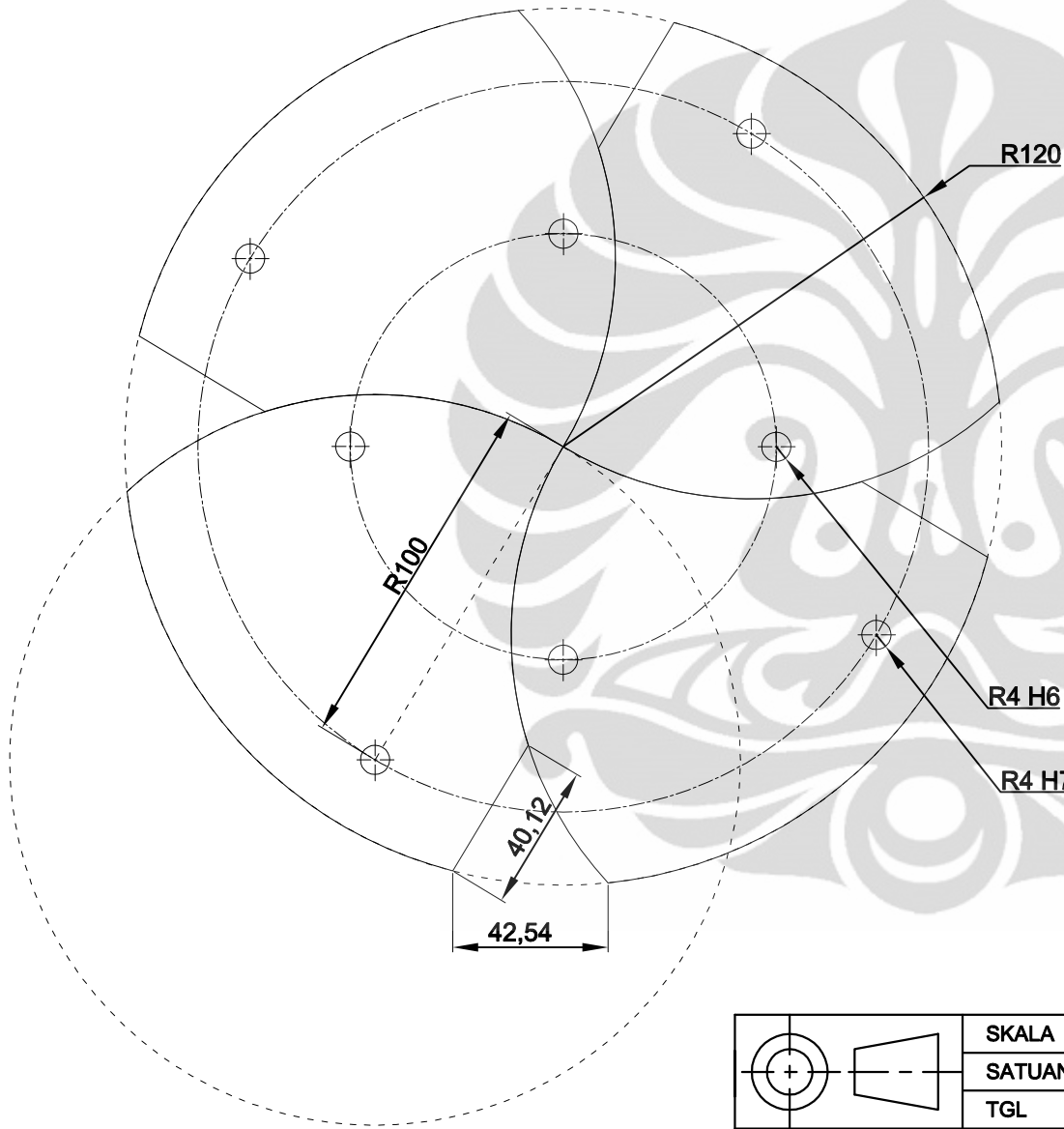
Melting and boiling points for some common materials. *The Engineering Toolbox*. April 13, 2011. http://www.engineeringtoolbox.com/melting-boiling-temperatures-d_390.html

Metals - melting temperatures. *The Engineering Toolbox*. April 13, 2011.
http://www.engineeringtoolbox.com/melting-temperature-metals-d_860.html

Eternit Gresik. *KalsiClad 10*. April 25, 2011.
http://www.eternitgresik.com/kalsiclad_10.shtml

Robert Sugihardjo (2010, January). Teori api. *Fire*. April 5, 2011.
<http://robertsugihardjo.blogspot.com/>





Tebal plat bawah = 2 mm
 Tebal plat isolator atas = 10 mm
 Bahan plat = aluminium

	SKALA : 1 : 2	DIGAMBAR : Reza Adytia	PERINGATAN :	
	SATUAN : Milimeter	NPM : 0806368830		
	TGL : 03/07/2011	DILIHAT : Prof. Dr. Ir. Yulianto S. N, MSc.		
UNIVERSITAS INDONESIA	SHUTTER PAD		No. 01	A4



Papan Bangunan Bebas Asbes

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

Date Issued:
23 June 2010

Page 1 of 5

1. IDENTIFICATION OF THE PRODUCT AND OF THE COMPANY

Product Name: *Kalsi* boards: *KalsiRata, KalsiLing, KalsiBoard Ling, KalsiPart, KalsiClad, KalsiPlank, KalsiFloor...*
Intended product use: Fibre-cement boards, or Cellulose-cement boards, or Calcium silicate boards, from 3 mm till 20 mm of thickness.
Company description: PT. ETERNIT GRESIK
Head office & factory: Jl.Indro no.1, Gresik 61124 - Indonesia
E-mail: eternitg[]rad.net.id
Tel: +62 (0) 31 398 1091
Fax: +62 (0)31 398 2647
www.eternitgresik.com

2. COMPOSITION / INFORMATION ON INGREDIENTS

Description:
Fibre-cement boards, or Cellulose-cement boards, or Calcium silicate boards, from 3mm to 20mm of thickness, for various applications in the construction industry (e.g. ceiling, partitions, cladding, facades, flooring.....)

Chemical characterization:
The *Kalsi* board is a manufactured article, not a substance nor a preparation.
The *Kalsi* boards are manufactured from cement, quartz sand, organic reinforcement fibers (such as selected cellulose fibres), natural calcium silicates and water.

All *Kalsi* boards are produced **without using any asbestos** (such as chrysotile, amosite, chrocidolite or any other kind of asbestos).

3. HAZARD IDENTIFICATION

Indication of the hazards:
The installed product in its final application: no hazards known.

- By machining (drilling, cutting, sanding, etc.) the product:
- Excessive inhalation of dust may cause irritation of the airways.
 - Eye-contact with dust may lead to transient eye irritation or inflammation.
 - Prolonged skin contact could lead to irritation for sensitive persons.
 - The handling and machining of this product may lead to the release of quartz containing dust. The inhalation of quartz from occupational sources may lead to chronic lung disease (silicosis) and an increased risk of lung cancer.

Specific risk information for humans and environment:
See sections N°7 and N°8.



MATERIAL SAFETY DATA SHEET

Date Issued:
23 June 2010

Page 2 of 5

4. FIRST AID MEASURES

Inhalation : Move to a ventilated area and if necessary visit a doctor or a hospital
Skin contact : Clean it with water. If necessary visit a doctor or a hospital
Eye contact : Do not rub the eye, rinse out with water. If necessary visit a doctor or a hospital.

5. FIRE FIGHTING MEASURES

- Flash point : Non-combustible.
- Flammable limits : LEL: Not applicable,
UEL: Not applicable.
- Extinguishing media : Not applicable.
- Special fire fighting procedures : None.
- Unusual fire and explosion hazards : None.

6. ACCIDENTAL SPILL / RELEASE MEASURES

Not applicable.

7. HANDLING AND STORAGE

Handling:

During machining the **Kalsi** boards:

- Work in well ventilated area.
- Use tools with dust exhaust system.
- Wear respiratory protective equipment.
- When dust concentration is higher than occupational exposure limit, respiratory protective equipment is obligatory.
- Collect dust with a vacuum cleaner; hose down or wet sweep work areas.

Storage:

Pallets should be stored on a flat surface, in a dry, covered, frost proof and well ventilated area. During transport, the products should be covered.



Papan Bangunan Bebas Asbes

MATERIAL SAFETY DATA SHEETDate Issued:
23 June 2010

Page 3 of 5

8. EXPOSURE CONTROL / PERSONAL PROTECTION

- Check the latest Occupational Exposure Limits (OEL) for airborne contaminants that are applicable in your country.
- Engineering controls: Ensure vacuum dust exhaust with correct filter when using motorized machining tools.
- Personal protection: Avoid breathing dusts, avoid eye and skin contact, and wear personal protective equipments appropriate for the task.
- Respiratory protection: Use approved respirators whenever occupational exposure levels are or can be foreseen to be exceeded.
- Eye protection: Use safety goggles whenever tools are used and dust is produced.
- Skin protection: Use working clothes and gloves to protect against mechanical injury and direct skin contact.

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

- Appearance : Different colours are available.
- Delivery form : Rigid, self-supporting board.
- Odour : None.

Important safety parameters:

Boiling point	:	Not applicable.
Melting point	:	Not applicable.
Flash point	:	Not applicable.
Flammability	:	Not applicable.
Auto flammability	:	Not applicable.
Explosive properties	:	Not applicable.
Oxidizing properties	:	Not applicable.
Vapour pressure	:	Not applicable.
Average density	:	1.30 Kg/dm ³ .
Solubility:		
. Water solubility	:	Insoluble.
. Fat solubility	:	Not applicable.
pH value	:	12 – 13.
Partition coefficient	:	Not applicable.
Viscosity	:	Not applicable.

10. STABILITY AND REACTIVITY

Stability: Stable.

Incompatibility (materials to avoid): Strong acids.



Papan Bangunan Bebas Asbes

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

Date Issued:
23 June 2010

Page 4 of 5

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

Acute toxicity:

No acute toxicity other than transient irritation of exposed mucosae (eyes, throat, airways).

Further information:

- Prolonged skin contact can lead to moderate skin irritation.
- Hazards are related to the inhalation of dust produced during machining. This risk will be minimal if correct working practices are observed and applied.
- Short-term inhalation of dust can cause transient respiratory irritation.
- As with most types of inorganic and organic dust, non-specific to the **Kalsi** products, the inhalation of excessive concentrations of dust over prolonged periods of time can lead to chronic inflammation of the airways (industrial bronchitis).

12. ECOLOGICAL INFORMATION

Nothing to report.

13. DISPOSAL CONSIDERATION

- The product has to be handled as building waste in accordance with local legislation
- Please check that you comply with the entire local, state and government regulations for disposal of waste containing quartz and the other described raw materials.

14. TRANSPORT INFORMATION

Road transport : **Kalsi** boards are not classified as dangerous.
Inland shipping transport: **Kalsi** boards are not classified as dangerous.
Sea shipping transport : **Kalsi** boards are not classified as dangerous.
Air transport : **Kalsi** boards are not classified as dangerous.

15. REGULATORY INFORMATION

Kalsi boards are a manufactured article, not a substance nor a preparation. According to the Indonesia regulations, no label is required.



MATERIAL SAFETY DATA SHEET

Date Issued:
23 June 2010

Page 5 of 5

16. OTHER INFORMATION

The recommendations for machining and installation of the above mentioned *Kalsi* boards have to be followed.

The health and safety information contained herein is believed to be accurate and correct based on our current knowledge at the date of issue and no liability can be accepted for any loss, injury or damage resulting from its use. It is intended as a guide for the safe handling, storage and use under normal conditions, but does not necessarily refer to the particular requirements of a customer when further advice should be obtained.

This data sheet and the information it contains is not intended to supersede any terms or conditions of sale and does not constitute a specification. Nothing contained herein is to be construed as a recommendation for use in violation of any patent or applicable laws or regulations.

.....