

**PENGARUH KONDUKTIVITAS THERMAL DINDING COMBUSTOR
TERHADAP KARAKTERISTIK PEMBAKARAN DALAM
MESO – SCALE COMBUSTOR**

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**M SYAFIUDIN JS
NIM. 0810620074-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN MESIN
MALANG
2013**

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH KONDUKTIVITAS TERMAL DINDING COMBUSTOR TERHADAP
KARAKTERISTIK PEMBAKARAN DALAM MESO-SCALE COMBUSTOR**

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:
M SYAFIUDIN JS
NIM. 0810620074-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr.Eng. Lilis Yuliati, ST., MT
NIP. 19750702 200003 2 001

Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST., MT
NIP. 19750802 199903 2 002

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH KONDUKTIVITAS TERMAL DINDING COMBUSTOR TERHADAP
KARAKTERISTIK PEMBAKARAN DALAM MESO-SCALE COMBUSTOR**

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :

**M SYAFIUDIN JS
NIM. 0810620074-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 30 Juli 2013

Penguji Skripsi I

Ir. Endi Sutikno, MT.
NIP. 19590411 198710 1 001

Penguji Skripsi II

Prof.Dr.Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc.
NIP. 19490911 198403 1 001

Penguji Skripsi III

Dr.Eng. Eko Siswanto, ST.,MT.
NIP. 19701017 199802 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT
NIP. 19720903 199702 1 001

KATA PENGANTAR

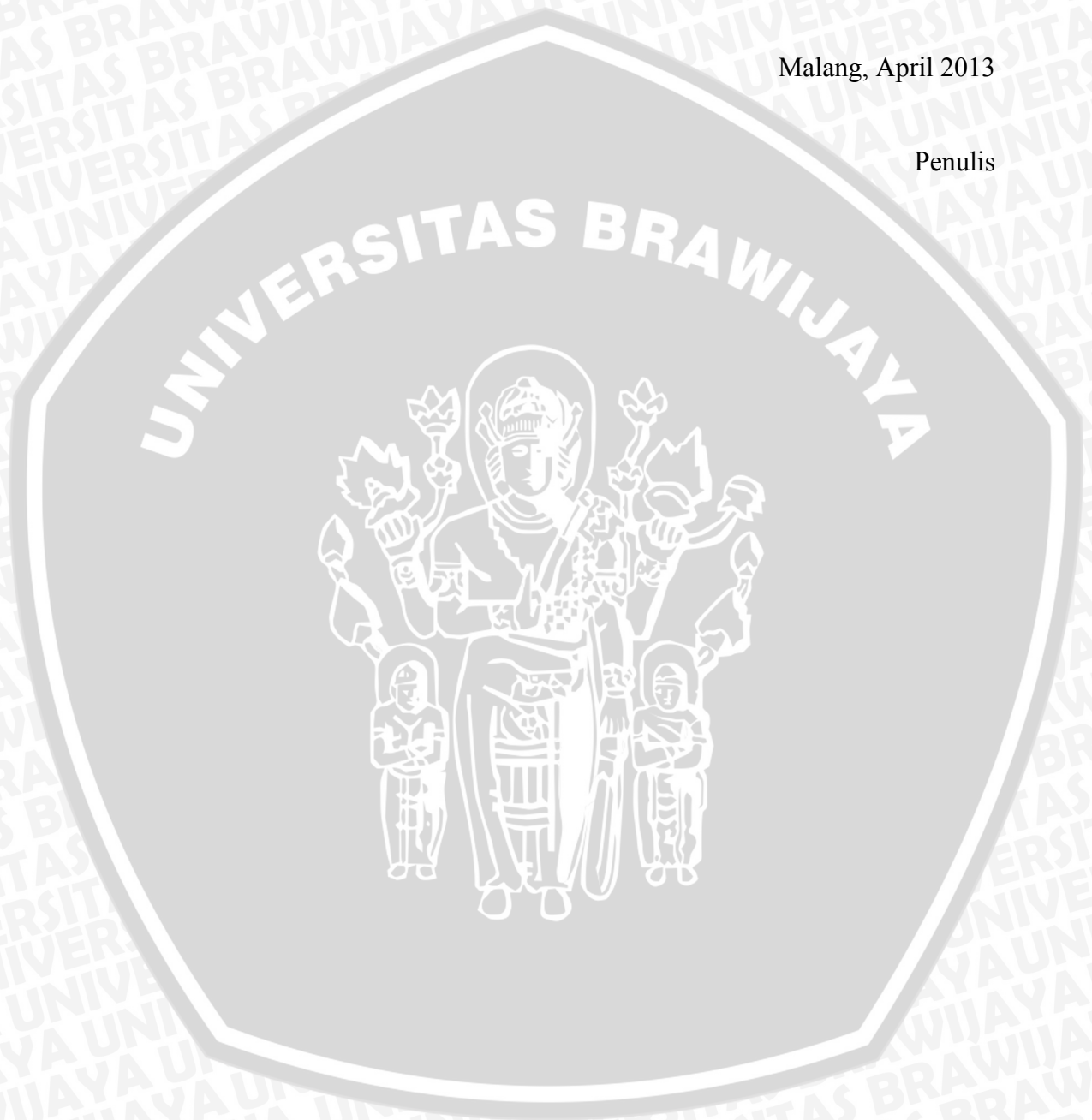
Puji syukur kepada Allah SWT, atas segala limpahan rahmat-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Konduktivitas Termal Dinding Combustor Terhadap Karakteristik Pembakaran dalam Meso-scale Combustor”**. Dalam pembuatan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, kakak dan adik saya yang telah memberikan dorongan, semangat dan mendo'akan saya.
2. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., M.T., selaku Ketua Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Dr.Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng., selaku Sekretaris Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya Malang.
4. Ibu Dr. Eng. Lilis Yuliati, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan menyusun skripsi ini.
5. Ibu Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan menyusun skripsi ini.
6. Bapak Agung Sugeng Widodo, ST., MT., Ph.D., selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Konversi Energi, Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya.
7. Bapak Sugiarto, ST., M.T., selaku Dosen Wali.
8. Seluruh Dosen Pengajar Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan yang sangat mendukung selama penyusunan skripsi.
9. Seluruh Staf Pengajar yang saya hormati.
10. Seluruh Staf Administrasi Jurusan Mesin dan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
11. Khoridatul Bahiyah, S.Si yang selalu memberi semangat dalam pengerjaan skripsi ini sampai selesai.
12. Seluruh sahabat KBMM Universitas Brawijaya khususnya Keluarga Besar EMPEROR.
13. Rezavani F, ST. dan Anggara Dharma P, ST. yang selalu memberi masukan pada pengerjaan skripsi ini.
14. Serta semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Tiada gading yang tak retak, begitu juga halnya dengan skripsi ini yang masih banyak ditemukan kekurangan-kekurangan. Oleh sebab itu, penulis menerima masukan, saran, ataupun kritik yang sifatnya membangun dari semua pihak untuk penyempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi masyarakat khususnya para akademisi.

Malang, April 2013

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 5
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	5
2.2 Pembakaran.....	7
2.2.1 Definisi Pembakaran.....	7
2.2.2 Reaksi Pada Proses Pembakaran.....	8
2.2.3 Pembakaran dan Campuran Stoikiometri.....	10
2.2.4 Rasio Udara dan Bahan Bakar.....	11
2.2.5 Rasio Ekuivalen.....	12
2.3 Jenis - Jenis Pembakaran.....	12
2.4 Pembakaran Premixed.....	13
2.4.1 Kecepatan Pembakaran.....	15
2.4.2 Kestabilan Api dan <i>Flammability Limit</i>	15
2.4.3 Fenomena <i>Flashback</i>	16
2.4.4 Fenomena <i>Lift – Off</i>	17
2.4.5 Fenomena <i>Blow – Off</i>	17
2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro (<i>Micro Power Generator</i>).....	18
2.6 <i>Micro dan Meso-Scale Combustor</i>	19
2.7 <i>Liquid Petroleum Gas (LPG)</i>	20

2.7.1	Jenis LPG.....	21
2.7.2	Persyaratan LPG.....	21
2.7.3	Sifat LPG.....	23
2.8	Konduktivitas Termal dan <i>Heat Loss Management</i> pada <i>Meso-Scale Combustor</i>	23
2.8.1	Perpindahan Panas Konduksi.....	23
2.8.2	<i>Heat Loss Management</i> pada <i>Meso-Scale Combustor</i>	24
2.9	Hipotesis.....	25
BAB III METODE PENELITIAN		26
3.1	Metode Penelitian	26
3.2	Tempat dan Waktu Pelaksanaan	26
3.3	Variabel Penelitian.....	26
3.4	Peralatan Penelitian.....	27
3.5	Susunan Instalasi Penelitian.....	31
3.6	Metode Pengambilan Data	31
3.7	Diagram Alir Penelitian	33
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		34
4.1	Data Hasil Penelitian dan Pembahasan.....	34
4.2	Perhitungan.....	37
4.3	Pembahasan.....	41
4.3.1	Visualisasi Nyala Api.....	43
4.3.2	Diagram Kestabilan Api dan <i>Flammability Limit</i>	50
BAB V PENUTUP		54
5.1	Kesimpulan	54
5.2	Saran	54

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

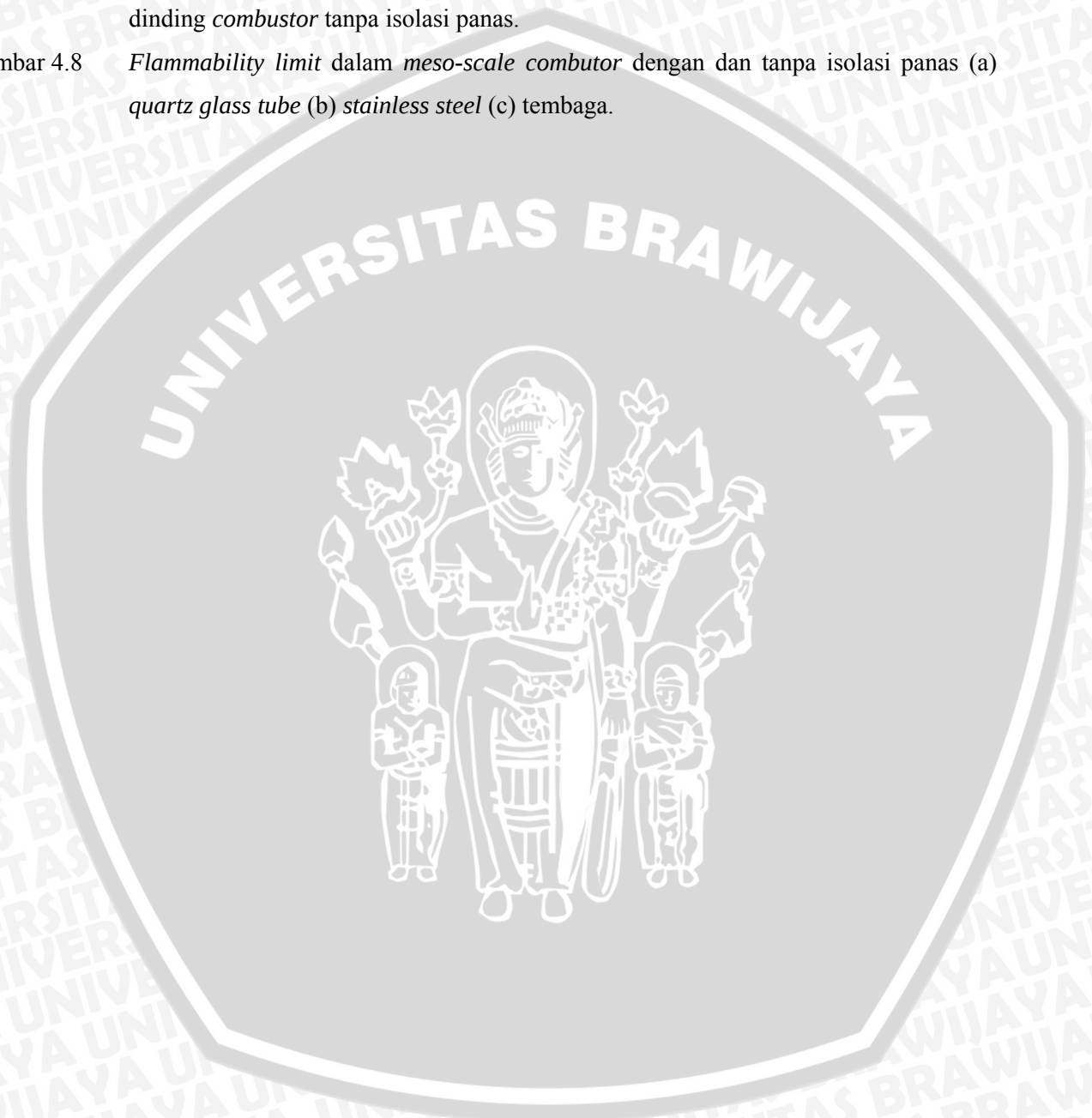
- Gambar 2.1 Diagram kestabilan api dalam *micro-combustor*
- Gambar 2.2 Diagram kestabilan api dan *flammability limit* dalam *meso-scale combustor*
- Gambar 2.3 Ilustrasi Proses Pembakaran
- Gambar 2.4 Keadaan molekul ketika tertabrak radikal bebas
- Gambar 2.5 Cara reaktan terbakar pada pembakaran difusi
- Gambar 2.6 Cara reaktan terbakar pada pembakaran premixed
- Gambar 2.7 Detail struktur didalam api premixed
- Gambar 2.8 Mekanisme kestabilan api premixed
- Gambar 2.9 Fenomena lift-off pada mini tube nozzle
- Gambar 2.10 Skema perpindahan panas dari nyala api melalui dinding *combustor* ke campuran udara-bahan bakar dan ke lingkungan.
- Gambar 3.1 *Meso-scale combustor* pada tiga *combustor* dengan konduktivitas termal yang berbeda
- Gambar 3.2 *Wire mesh* dalam *meso-scale combustor*
- Gambar 3.3 Kompresor udara
- Gambar 3.4 *Combustor holder*
- Gambar 3.5 *Glass wool*
- Gambar 3.6 *Liquid petroleum gas* (LPG)
- Gambar 3.7 *Ignitor*
- Gambar 3.8 *Flow meter* udara dan bahan bakar
- Gambar 3.9 *Pressure meter* LPG
- Gambar 3.10 Kamera dan lensa makro
- Gambar 3.11 Susunan instalasi penelitian
- Gambar 3.12 Diagram alir penelitian
- Gambar 4.1 Skematik perpindahan panas dalam *meso-scale combustor* tanpa *wire mesh*
- Gambar 4.2 Skematik perpindahan panas dalam *meso-scale combustor* dengan *wire mesh* didalamnya
- Gambar 4.3 Visualisasi nyala api pada *meso-scale combustor* tanpa isolasi panas pada keadaan stoikiometri.
- Gambar 4.4 Visualisasi nyala api pada *meso-scale combustor* pada keadaan stoikiometri dalam *combustor* dengan dan tanpa isolasi panas.

Gambar 4.5 Visualisasi nyala api pada *meso-scale combustor* dengan variasi rasio ekuivalen, tanpa isolasi panas

Gambar 4.6 Visualisasi nyala api pada *meso-scale combustor* dengan variasi rasio ekuivalen, dengan dan tanpa isolasi panas.

Gambar 4.7 *Flammability limit* pada *meso-scale combustor* dengan variasi konduktivitas termal dinding *combustor* tanpa isolasi panas.

Gambar 4.8 *Flammability limit* dalam *meso-scale combustor* dengan dan tanpa isolasi panas (a) quartz glass tube (b) stainless steel (c) tembaga.



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kompisisi Udara Kering
Tabel 4.1	Debit bahan bakar dan udara dimana api dapat menyala dalam <i>meso-scale combustor quartz glass tube</i> tanpa isolasi panas
Tabel 4.2	Debit bahan bakar dan udara dimana api dapat menyala dalam <i>meso-scale combustor quartz glass tube</i> dengan isolasi panas
Tabel 4.3	Debit bahan bakar dan udara dimana api dapat menyala dalam <i>meso-scale combustor stainless steel</i> tanpa isolasi panas
Tabel 4.4	Debit bahan bakar dan udara dimana api dapat menyala dalam <i>meso-scale combustor stainless steel</i> dengan isolasi panas
Tabel 4.5	Debit bahan bakar dan udara dimana api dapat menyala dalam <i>meso-scale combustor tembaga</i> tanpa isolasi panas
Tabel 4.6	Debit bahan bakar dan udara dimana api dapat menyala dalam <i>meso-scale combustor tembaga</i> dengan isolasi panas



RINGKASAN

M Syafiudin Julianto Saputro, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2013, Pengaruh konduktivitas termal dinding *combustor* terhadap karakteristik pembakaran dalam *meso-scale combustor*, Dosen Pembimbing : Lilis Yulianti dan Widya Wijayanti.

Meso-scale combustor merupakan komponen penting dari *micro power generator* yang berfungsi merubah energi kimia bahan bakar menjadi energi termal. Penelitian-penelitian sebelumnya pada *meso-scale combustor* telah dilakukan dengan menggunakan *quartz glass tube* yang disisipkan *single wire mesh*. Hasil yang dicapai api dapat stabil didalam *combustor* namun dengan debit reaktan yang relatif kecil, apabila debit reaktan diperbesar lagi maka api akan mengalami *blow off*. Maka dari itu dalam penelitian ini penulis menggunakan *combustor* dengan perbedaan konduktivitas termal dinding *combustor* diharapkan menghasilkan daerah kestabilan api dan *flammability limit* yang lebih luas.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan konduktivitas dinding *combustor* yang berbeda terhadap karakteristik pembakaran dalam *meso-scale combustor* dengan menggunakan bahan bakar LPG dan *wire mesh* didalamnya. *Combustor* dalam penelitian ini menggunakan ruang bakar berbentuk silinder dengan diameter dalam 3.5 mm. Dinding *combustor* terbuat dari *quartz glass tube*, *stainless steel* dan tembaga- dengan konduktivitas termal *quartz glass tube*, *stainless steel*, dan tembaga berturut-turut sebesar 1,3, 36, dan 365 W/mK. *Wire mesh* terbuat dari *stainless steel* dengan ukuran 60 mesh /inci.

Karakteristik pembakaran yang diamati adalah visualisasi nyala api dan *flammability limit*. Batas minimum dan maksimum Φ (*rasio ekuivalen*) dimana api dapat menyala dalam *combustor* pada *quartz glass tube* adalah 0,69 – 1,41, *stainless steel* adalah 0,703 – 1,44, dan tembaga adalah 0,64 – 1,49. Api dalam *combustor* berwarna biru gelap untuk campuran $\Phi = 1$ atau lebih kecil dan biru kehijauan untuk campuran $\Phi > 1$. Dan luas penampang api untuk campuran kaya bahan bakar lebih kecil bila dibandingkan dengan campuran *stoikiometri* atau campuran miskin bahan bakar. Luas penampang api paling kecil untuk *combustor* yang terbuat dari tembaga dan semakin besar berturut-turut untuk *combustor* yang terbuat dari *quartz glass tube* dan *stainless steel*. Hal ini disebabkan oleh konduktivitas termal tembaga yang tinggi sehingga panas yang dihasilkan dari proses pembakaran banyak berkurang karena adanya perpindahan panas secara konveksi dari api ke dinding, yang selanjutnya di konveksikan ke lingkungan dan sebagian dikonduksikan ke arah upstream untuk pemanasan awal reaktan. Hal ini menyebabkan terjadinya kehilangan kalor yang menyebabkan temperatur ruang bakar menjadi rendah. Fenomena tersebut mengakibatkan *radical quenching* yang semakin besar. Semakin besar *radical quenching* maka jarak antara api dengan dinding semakin besar dan luas penampang api menjadi semakin kecil. *Quartz glass tube combustor* memiliki *flammability limit* yang lebih sempit dibandingkan *combustor stainless steel* dan tembaga. Hal ini karena *quartz glass tube* memiliki konduktivitas termal rendah sehingga kalor yang menuju reaktan untuk proses *preheating* tidak begitu besar, sehingga temperatur reaktan ketika memasuki daerah pembakaran belum tinggi dan pembakaran terjadi pada kecepatan yang lebih rendah.

Kata kunci: *Meso-scale combustor*, konduktivitas termal, visualisasi api, *flammability limit*. LPG.

DAFTAR PUSTAKA

Anonymous www.chemical-science.blogspot.com diakses tanggal 10 juli 2013

Chen, J., Peng, X.F., Yang, Z.L. & Cheng, J. 2009. *Characteristics Of Liquid Ethanol Diffusion Flames From Mini Tube Nozzles*.

Chou, S.K., Yang, W.M., Li, J. & Li, Z.W. 2009. *Porous Media Combustion for Micro Thermophotovoltaic System Applications*.

D.G. Norton, D.G. Vlachos, *Combustion characteristics and flame stability at the microscale: a cfd study of premixed methane/air mixtures*, J. Chemical Engineering Science, 58 (2003) 4871 – 4882.

Ju, Y., Maruta, K. 2011. *Microscale Combustor: Technology Development and Fundamental Research*.

Lei, Y. 2005. *Combustion and Direct Energy Conversion In a Micro-Combustor*. Texas: A&M University.

N.I. Kim, S. Aizumi, T. Yokomori, S. Kato, T. Fujimori, K. Maruta, *Development and scale effects of small swiss-roll combustors*, Proceedings of the Combustion Institute, 31 (2007) 3243–3250.

Mikami, M., Maeda, Y., Matsui, K., Seo, T. & Yuliati, L. 2012. *Combustion of Gaseous and Liquid Fuels In Mesoscale Tubes With Wire Mesh*. PROCI: 1-8

Pello, C.F. *Micropower Generation Using Combustion: Issues and Approaches*. 883-899. Berkeley: University of California.

Turns, S.R. 2000. *An Introduction to Combustion, Concepts and Applications*. McGrawHill 2nd edition.

Wardana, I.N.G. 2008. *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*. PT. Danar Wijaya. Malang: Brawijaya University Press

Yuliati, L., Seo, T. & Mikami, M. 2011. *Liquid-Fuel Combustion In a Narrow Tube Using an Electropray Technique*

Table A.1 Properties of metallic solids

Metal	Properties at 20°C				Thermal Conductivity, k (W/m·K)									
	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg·K)	k (W/m·K)	α (10 ⁻⁵ m ² /s)	-170°C	-100°C	0°C	100°C	200°C	300°C	400°C	600°C	800°C	1000°C
Aluminums														
Pure	2,707	905	237	9.61	302	242	236	240	238	234	228	215	≈95 (liq)	
99% pure			211		220	206	209							
Duralumin (≈4% Cu, 0.5% Mg)	2,787	883	164	6.66		126	164	182	194					
Alloy 6061-T6	2,700	896	167	6.90			166	172	177	180				
Alloy 7075-T6	2,800	841	130	5.52	76	100	121	137	172	177				
Chromium	7,190	453	90	2.77	158	120	95	88	85	82	77	69	64	62
Cupreous metals														
Pure Copper	8,954	384	398	11.57	483	420	401	391	389	384	378	366	352	336
DS-C15715*	8,900	≈384	365	≈10.7			367	355	345	335	320			
Beryllium copper (2.2% Be)	8,250	420	103	2.97				117						
Brass (30% Zn)	8,522	385	109	3.32	73	89	106	133	143	146	147			
Bronze (25% Sn) [§]	8,666	343	26	0.86										
Constantan (40% Ni)	8,922	410	22	0.61	17	19	22	26	35					
German silver (15% Ni, 22% Zn)	8,618	394	25	0.73	18	19	24	31	40	45	48			
Gold	19,320	129	318	12.76	327	324	319	313	306	299	293	279	264	249
Ferrous metals														
Pure iron	7,897	447	80	2.26	132	98	84	72	63	56	50	39	30	29.5
Cast iron (4% C)	7,272	420	52	1.70										
Steels (C ≤ 1.5%)														
AISI 1010 ^{††}	7,830	434	64	1.88		70	65	61	55	50	45	36	29	
0.5% carbon	7,833	465	54	1.47			55	52	48	45	42	35	31	29
1.0% carbon	7,801	473	43	1.17			43	43	42	40	36	33	29	28
1.5% carbon	7,753	486	36	0.97			36	36	36	35	33	31	28	28

* Dispersion-strengthened copper (0.3% Al₂O₃ by weight); strength comparable to stainless steel.

§ Conductivity data for this and other bronzes vary by a factor of about two.

|| k and α for carbon steels can vary greatly, owing to trace elements.

†† 0.1% C, 0.42% Mn, 0.28% Si; hot-rolled.

Table A.2...continued.

Material	Temperature Range (°C)	Density ρ (kg/m ³)	Specific Heat c_p (J/kg·K)	Thermal Conductivity k (W/m·K)	Thermal Diffusivity α (m ² /s)
Pyrolytic graphite (<i>con't</i>)					
to layer planes	0			2230	
	27	2200	710	2000	
	227			1130	
	1027			400	
Cardboard	0-20	790		0.14	
Clay					
Fireclay	500-750			1.0	
Sandy clay	20	1780		0.9	
Coal					
Anthracite	900	≈1500		≈0.2	
Brown coal	900			≈0.1	
Bituminous in situ		≈1300		0.5-0.7	3 to 4 × 10 ⁻⁷
Concrete					
Limestone gravel	20	1850		0.6	
Portland cement	90	2300		1.7	
Sand : cement (3 : 1)	230			0.1	
Sand and gravel	20			1.8	
Slag cement	20			0.14	
Corkboard (medium ρ)	30	170		0.04	
Egg white	20				1.37 × 10 ⁻⁷
Glass					
Lead	36	3040		1.2	
Plate	20	2500		1.3	
Pyrex (borosilicate)	60-100	2210	753	1.3	7.8 × 10 ⁻⁷
Soda	20	2590		0.7	
Window	46	2490		1.3	
Glass wool	20	64-160		0.04	
Ice	0	917	2100	2.215	1.15 × 10 ⁻⁶
Ivory	80			0.5	
Kapok	30			0.035	
Lunar surface dust (high vacuum)	250	1500±300	≈600	≈0.0006	≈7 × 10 ⁻¹⁰
Magnesia (85%)	38			0.067	
	93			0.071	
	150			0.074	
	204			0.08	
Magnesium oxide					
polycrystalline (98% dense)	27	3500	900	48	1.5 × 10 ⁻⁵
single crystal	27	3580	900	60	1.9 × 10 ⁻⁵

H. Lienhard, John. 2000 A Heat Tranfer Text book. Department of Mechanical Engineering Houston University, Houstonhal 640 dan 642