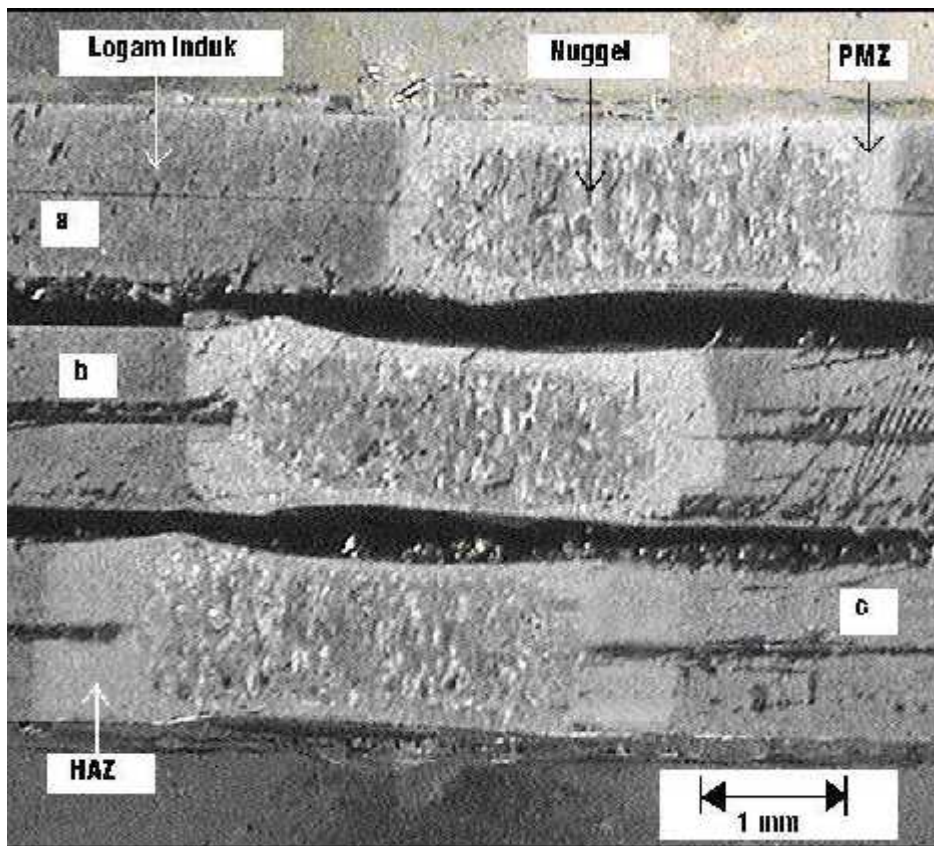


# MEKANIKA

---

Majalah Ilmiah Teknik Mesin



Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas  
Sebelas Maret

DAFTAR ISI

Editorial

Hasil Penelitian

1. PEMANFAATAN KOTORAN SAPI SEBAGAI BAHAN BAKAR DALAM PROSES PENGERINGAN RAMBAK DI DAERAH BOYOLALI UNTUK MENGURANGI KETERGANTUNGAN TERHADAP MINYAK TANAH  
Halaman 1-8  
Wahyu Purwo Raharjo, Zainal Arifin
2. SIMULASI NUMERIK KONVEKSI ALAMI DALAM KOTAK 2D DENGAN VARIASI KEMIRINGAN DENGAN METODE BEDA HINGGA  
Halaman 9-17  
Eko Prasetya Budiana, Budi Kristiawan , Aris Sulistyono.
3. KAJI EKSPERIMENTAL PENGARUH PANJANG TERHADAP LAJU PERPINDAHAN PANAS ALAT PENUKAR PANAS PIPA KONSENTRIK  
Halaman 18-27  
Budi Santoso
4. KORELASI EMPIRIK WAKTU Kerdam DAN KEBISINGAN DENGAN SPEECH INTELLIGIBILITY DALAM RUANG KULIAH JURUSAN SASTRA INGGRIS FAKULTAS SASTRA DAN SENI RUPA UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
Halaman 28-41  
R. Lullus Lambang G. Hidajat, Tri Istanto, Agus Dwi Priyanto
5. TEKNOLOGI PIROLISIS SEBAGAI SALAH SATU ALTERNATIF BAHAN BAKAR TERBARUKAN  
Halaman 42-50  
Syamsul Hadi.

**Volume 6 Nomor 1  
September 2007**

**ISSN : 1412-7962**

**MEKANIKA**  

---

**Majalah Ilmiah Teknik Mesin**

Penanggung Jawab :  
Ketua Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret  
Ketua Penyunting:  
Bambang Kusharjanta, ST, MT  
Wakil Ketua Penyunting:  
Dwi Aries Himawanto, ST, MT  
Sekretaris :  
Budi Santoso, ST, MT  
Bendahara :  
Teguh Triyono, ST  
Penyunting Pelaksana :  
Purwadi Joko Widodo, ST, M.Kom  
Syamsul Hadi, ST, MT  
Penyunting Ahli :  
Ir. Santosa, M.Eng.Sc.  
Ir. Agustinus Sujono, MT.  
Pelaksana Tata Usaha :  
Elliza Sandra Rusmala, A.Md

---

Redaksi menerima sumbangan tulisan yang belum pernah diterbitkan dalam media lain. Naskah diketik diatas kertas HVS kuarto 1.5 spasi maksimum 10 halaman disertai dengan softcopy artikel yang bersangkutan, dengan format seperti yang tercantum pada kulit belakang. Naskah yang masuk dievaluasi dan disunting untuk keseragaman format dan tata cara lainnya.

---

Alamat Sekretariat : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Sebelas Maret  
Jalan Ir. Sutami 36A Surakarta 576126  
Telp. (0271) 632163  
Fax. (0271) 662118  
e-mail : [mekanika@mesin.uns.ac.id](mailto:mekanika@mesin.uns.ac.id)

**EDITORIAL**

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kasih, yang senantiasa memberikan limpahan rahmat dan hidayah-Nya.

MEKANIKA merupakan wahana publikasi hasil-hasil penelitian dan hasil-hasil pemikiran ilmiah bagi seluruh staf pengajar di lingkungan Jurusan Teknik Mesin FT UNS. Sebagai salah satu media untuk mengimplementasikan dharma penelitian dari Tri Dharma Perguruan Tinggi, MEKANIKA diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang rekayasa mesin. Pada nomor ini isi majalah ilmiah hanya memuat paper yang berisi hasil penelitian staf pengajar dan alumni Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNS.

Mulai edisi ini MEKANIKA mengalami perubahan tampilan, semoga pembaca tidak terganggu dengan hal tersebut. Selain itu juga redaksi minta maaf ada keterlambatan penerbitan untuk beberapa edisi terakhir. Semoga ini menjadi cambuk bagi kita semua untuk dapat menjaga keberlanjutan majalah ilmiah ini.

Selanjutnya redaksi siap menerima naskah ilmiah yang seirama dengan tujuan penerbitan majalah ini, tanpa dibatasi waktu. Kita sebagai makhluk yang lemah tentu masih terbuka akan adanya kemungkinan yang masih belum sempurna. Oleh karena itu kritik yang bersifat konstruktif akan diterima dengan terbuka demi semakin menyempurnakan majalah ilmiah ini dalam edisi-edisi berikutnya.

Akhir kata, kami menyampaikan ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, baik berupa naskah, saran, dorongan maupun dana yang memungkinkan terwujudnya majalah ilmiah ini.

Penyunting

## PETUNJUK SINGKAT BAGI PENULIS

Naskah	Naskah ditulis dalam bahasa Indonesia yang baik dan benar, atau bahasa Inggris. Penulis disyaratkan untuk mengajukan naskah rangkap tiga yang diketik dengan 1,5 spasi. Ukuran kertas yang digunakan adalah A4 (297 x 210 mm) dengan jumlah halaman ( termasuk gambar, ilustrasi, dan daftar pustaka) maksimal 10 halaman. Naskah atau artikel yang telah dikirimkan ke Sekretariat Dewan Penyunting menjadi hak penerbit. Naskah yang tidak dimuat, tidak dikembalikan kecuali ada permintaan dari penulis, disertai biaya pengembalian.
Disks	Penulis disyaratkan untuk menyertakan word processor disc-nya (3 ½ inch disc dan pengetikan yang tidak terlalu banyak kesalahan akan mempercepat penerbitan) bersama dengan naskah yang dikirim.
Data Penulis	Penulis disyaratkan untuk mencantumkan detail institusi atau lembaganya (untuk memudahkan pembaca mengadakan kontak) beserta e-mail yang dimiliki
Sistematika	Sistematika penulisan terdiri atas judul, abstrak, pendahuluan, isi, dan penutup
Judul	Judul dan sub judul ditulis singkat, jelas dengan kata-kata kunci atau frasa kunci yang mencerminkan isi tulisan atau masalah yang akan dijelaskan. Khusus untuk judul ditulis seluruhnya dengan huruf kapital secara simetris (2 point lebih besar dari teks)
Abstrak	Setiap paper yang dikirimkan harus memiliki abstraksi yang ditulis dalam bahasa Inggris kurang lebih 100 kata dan diketik italic serta ditulis dalam satu alenia.
Pendahuluan	Pendahuluan memuat latar belakang, permasalahan, ruang lingkup dan metode yang digunakan.
Isi	Isi merupakan materi yang disajikan beserta dengan pembahasannya. Isi tulisan bukan tanggung jawab redaksi dan redaksi berhak mengedit redaksionalnya, tanpa mengubah arti.
Penutup	Penutup berisikan kesimpulan, saran dan daftar pustaka
Daftar Pustaka	Daftar pustaka disusun menurut alfabet pengarang atau nomor urut Urutan penulisan : nama pengarang, judul, penerbit, kota terbit, tahun. Nama pengarang mendahulukan nama keluarga, tanpa gelar. Kutipan acuan pustaka yang digunakan dinyatakan dengan menuliskan nama pengarangnya atau menuliskan nomor pustaka yang diacu pada akhir kalimat.
Singkatan dan Simbol	Penulis diminta memberikan penjelasan singkatan dan simbol-simbol yang dipakai.
Nomor Gambar dan Tabel	Nomor gambar dan tabel sesuai dengan aturan yang umum (gambar-dibawah; tabel diatas).
Ilustrasi	Gambar atau sketsa yang digunakan harus jelas dan memungkinkan untuk direproduksi dengan pengecilan 50% guna penerbitan bahkan bila perlu gambar diletakkan pada kertas tersendiri dengan dituliskan keterangan di sebalik gambar.

Keterangan lebih jelas dapat dilihat di kantor Sekretariat Dewan Penyunting  
Majalah Ilmiah MEKANIKA  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret  
Jalan Ir. Sutami no. 36A  
Telp. (0271) 623163

# PEMANFAATAN KOTORAN SAPI SEBAGAI BAHAN BAKAR DALAM PROSES PENGERINGAN RAMBAK DI DAERAH BOYOLALI UNTUK MENGURANGI KETERGANTUNGAN TERHADAP MINYAK TANAH

Wahyu Purwo Raharjo dan Zainal Arifin

Jurusan Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta

## Abstract

*By using biogas, the fuel cost can be reduced so that the production cost decrease and the product price can be more competitive in the market. The cattle feces as the byproduct of the biogas production can be used as fertilizer with higher selling price.*

*From this research, it can be concluded that the biogas can be used for solution alternative to decrease the dependency to the kerosene, especially in rambak industries. The application of biogas can reduce the fuel cost up to 63% compared to the using of fuel oil. Meanwhile the cow feces potency can be utilized as fuel by convert it to biogas.*

*To increase the performance of the biogas installation, it can be done by two methods, First, biogas resulted from the biogas installation is remove to the other tank and compressed up to 4,5 bar. Second, the existing biogas installation can be upgraded. To utilize the faeces potency up to 200 kg, the 16 m<sup>3</sup> biogas installation is required.*

## PENDAHULUAN

Kecamatan Teras Boyolali merupakan sentra pengrajin krupuk rambak. Krupuk rambak yang merupakan makanan pelengkap ini dibuat sebagai industri kecil atau industri rumah tangga. Di Desa Dopleng Kecamatan Teras terdapat kira-kira 25 pengrajin krupuk rambak. Apabila setiap harinya dihasilkan  $\pm 12$  ton (12000 kg) krupuk rambak, berarti setiap tahunnya diproduksi  $\pm 4.000$  ton krupuk rambak. Untuk Kecamatan Teras secara keseluruhan paling tidak dihasilkan 10.000 ton krupuk rambak per tahun (Sumber: Dinas Perindustrian dan Perdagangan Kab. Boyolali 2005).

Bahan baku utama krupuk rambak adalah singkong (*Manihot utilissima*). Pada umumnya dari 1 kg singkong dapat dihasilkan sekitar 0,25 kg krupuk rambak. Bila harga singkong per kilogramnya  $\pm$  Rp 600,-, sementara harga rambak mentah  $\pm$  Rp 5.000,-/kg dan rambak siap saji mencapai Rp 10.000,-/kg.

Secara singkat, proses pembuatan krupuk rambak dilakukan dengan memarut singkong kemudian dicampur air dan diperas. Air perasan singkong kemudian dipanaskan dan diberi bumbu secukupnya sambil terus diaduk hingga mengental. Adonan yang sudah kental kemudian dimasukkan ke dalam cetakan dan dikukus. Setelah dingin, rambak mentah dipotong-

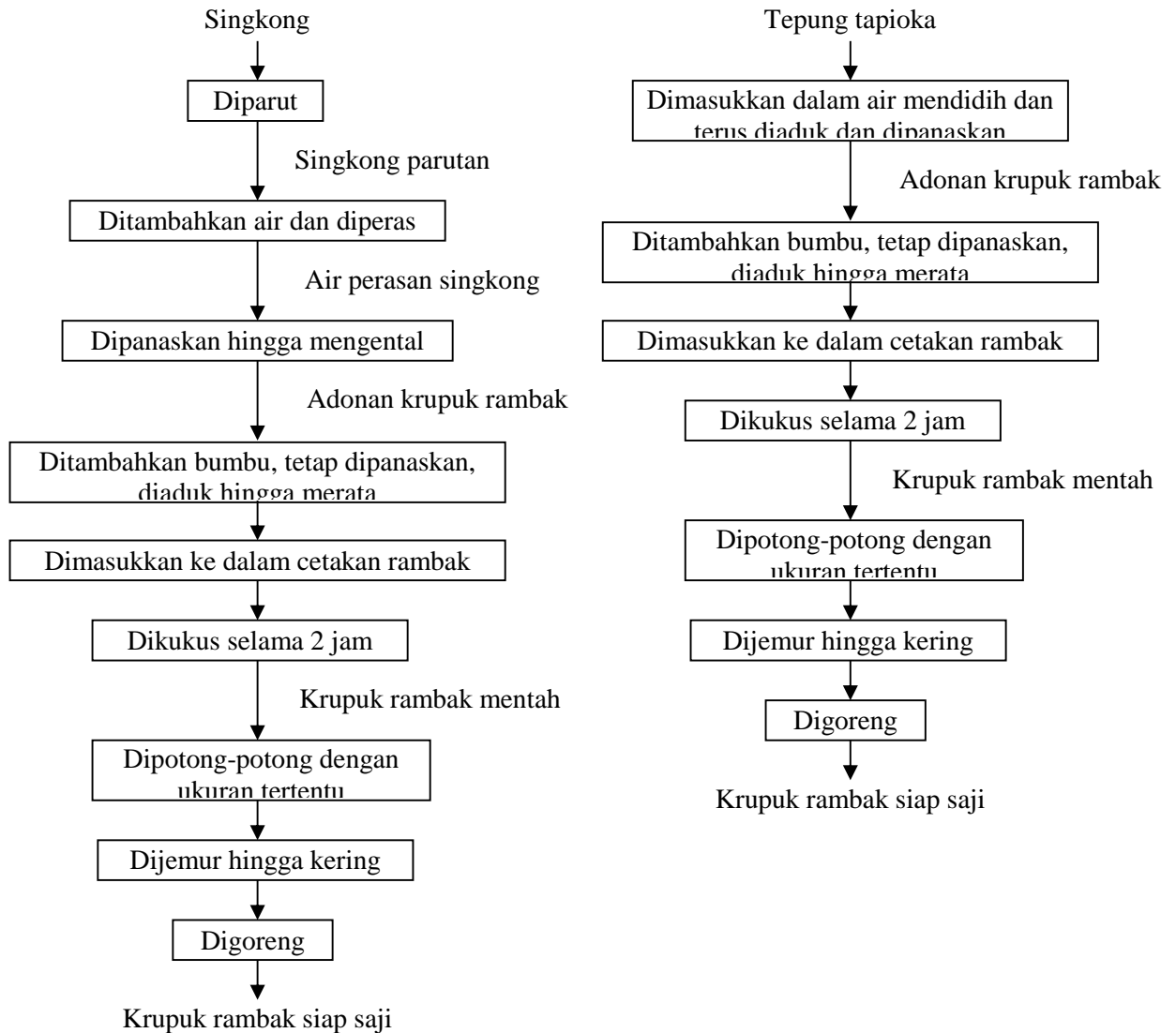
potong menurut ukuran yang dikehendaki dan dijemur supaya kering sebelum dimasukkan ke dalam kemasan untuk dijual mentah atau pun digoreng menjadi krupuk rambak siap saji.

Tujuan proses pengeringan adalah untuk menghilangkan kandungan air di dalamnya supaya tahan lama. Kadar air maksimum yang diperbolehkan adalah 2 %. Jika kadar air terlalu tinggi maka rambak mentah tersebut akan mudah ditumbuhi jamur yang akan menurunkan kualitasnya. Tujuan lainnya adalah agar ketika digoreng, rambak tersebut mudah mengembang dan renyah ketika disantap.

Pengeringan yang dilakukan selama ini adalah dengan menjemurnya dengan bantuan sinar matahari. Penjemuran dilakukan dengan menaruh rambak yang telah dipotong-potong secara merata pada papan-papan kayu atau bambu di tempat terbuka selama 1 hari penuh (dari pagi hingga sore hari). Cara ini hanya efektif dilakukan pada musim kemarau dimana sinar matahari cukup terik dan tidak banyak hujan. Pada saat musim hujan, dimana pengeringan dengan sinar matahari tidak efektif, proses pengeringan dapat dilakukan dengan bantuan pemanas berbahan bakar minyak tanah. Hal ini dilakukan dengan menempatkan rambak mentah di dalam rak-rak kemudian dipanasi bagian bawahnya dengan pemanas minyak tanah.

Yang menjadi masalah dengan penggunaan pemanas minyak tanah adalah biaya bahan bakar yang cukup tinggi. Pada umumnya untuk mengeringkan 10 kg rambak mentah diperlukan  $\pm$  1 liter minyak tanah, dengan waktu pengeringan selama  $\pm$  2 jam. Dengan kapasitas produksi pengrajin rambak yang mencapai 5 kuintal tiap hari dan harga minyak yang mencapai

Rp 5.000,- (untuk industri), berarti setiap harinya diperlukan biaya sebesar Rp 250.000,- atau Rp 6.250.000,- per bulan hanya untuk biaya proses pengeringan. Apalagi pada saat musim hujan permintaan krupuk rambak biasanya meningkat 20 – 30 %.



**Gambar1.** Proses pembuatan krupuk rambak

**Tabel 1.** Komponen penyusun biogas

	Nama gas	Prosentase		Nama gas	Prosentase
1.	Metana (CH <sub>4</sub> )	54% - 70%	5.	Karbon monoksida	0,1%
2.	Karbondoksida (CO <sub>2</sub> )	27% - 45%	6.	(CO)	0,1%
3.	Nitrogen (N <sub>2</sub> )	3% - 5%	7.	Oksigen (O <sub>2</sub> )	sedikit
4.	Hidrogen (H <sub>2</sub> )	1%		Hidrogen sulfida (H <sub>2</sub> S)	

## TINJAUAN PUSTAKA

### Kerupuk Rambak

Kerupuk rambak adalah makanan tambahan yang terbuat dari singkong. Pembuatan kerupuk rambak dapat dilakukan mulai dari singkong atau dapat pula langsung dari tepung tapioca (gambar 1 dan 2). Biasanya untuk menghemat biaya, para pengrajin krupuk rambak membuatnya dari singkong karena harga singkong yang lebih murah di pasaran. Sementara itu ampas yang berasal dari sisa-sisa perasan singkong dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak.

Pada saat musim kemarau dimana sinar matahari cukup terik, pengeringan rambak mentah memerlukan waktu  $\pm$  1 hari untuk mendapatkan rambak mentah dengan kadar air kurang dari 2 %. Pada saat musim penghujan, pengeringan harus dibantu dengan pemanas berbahan bakar minyak tanah sehingga biaya produksi meningkat.

### Biogas

Biogas adalah gas yang dihasilkan dari fermentasi kotoran ternak, seperti sapi,

kerbau, babi, kambing dan ayam (Widarto dan Sudarto, 1997). Komponen-komponen penyusun biogas diperlihatkan dalam tabel 1.

Pembuatan biogas dilakukan dengan cara mengumpulkan kotoran ternak ke dalam suatu tanki kedap udara yang disebut digester. Di dalam digester tersebut, kotoran difermentasi oleh bakteri dan menghasilkan gas metana dan lain-lain (tabel 1). Gas hasil fermentasi kotoran ini ditampung dalam digester dan makin lama makin banyak sehingga tekanannya makin besar dan dapat disalurkan dengan pipa.

Di daerah Teras Boyolali banyak terdapat peternakan sapi dan rumah pemotongan hewan (RPH) yang merupakan sumber kotoran ternak sebagai bahan baku pembuatan biogas. Di kecamatan Teras terdapat lebih kurang 150 peternakan sapi dengan jumlah sapi mencapai 3000 ekor.



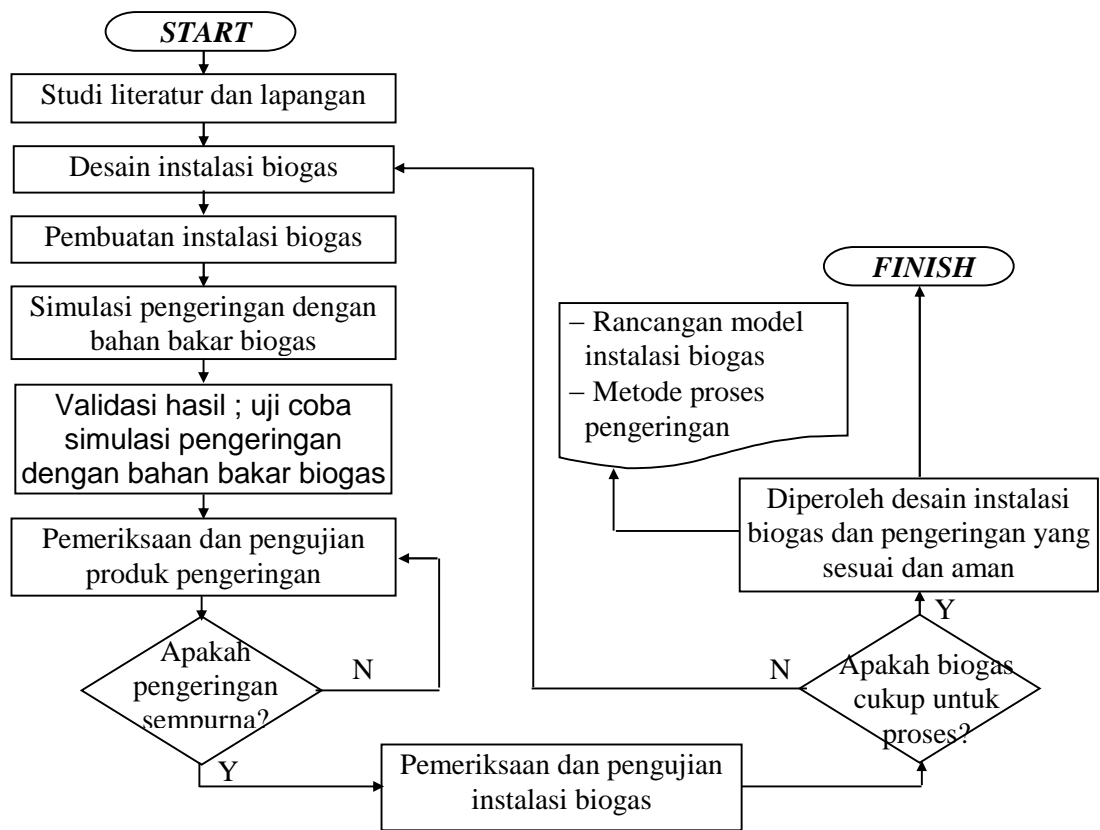
**Gambar 2.** Peternakan sapi di kecamatan Teras Boyolali

## METODE DAN ALAT

### Metode

Metode penelitian dilakukan dengan diagram alir seperti pada gambar 3 berikut ini.





**Gambar 3.** Diagram Alir Perancangan

Dalam desain instalasi biogas, yang harus ditentukan terlebih dahulu adalah

- Kapasitas instalasi biogas (terutama digester dan bak penampung gas)
- Lokasi instalasi biogas

Karena kebutuhan biogas untuk proses tidak dapat ditentukan berdasarkan literatur-literatur yang ada maka kapasitas instalasi biogas ditentukan berdasarkan jumlah ternak yang ada di dekat pengrajin krupuk rambak yaitu  $\pm 40$  ekor sapi. Apabila diasumsikan dari 1 ekor sapi yang menghasilkan 5 kg faeces per harinya dapat dihasilkan 400 liter biogas, maka kapasitas digester yang diperlukan untuk menampung faeces dari seluruh sapi tersebut =  $40 \times 400 \text{ liter} = 16.000 \text{ liter} = 16 \text{ m}^3$ .

Jika biogas yang dihasilkan oleh instalasi itu berlebih dapat dipergunakan untuk keperluan yang lain seperti memasak.

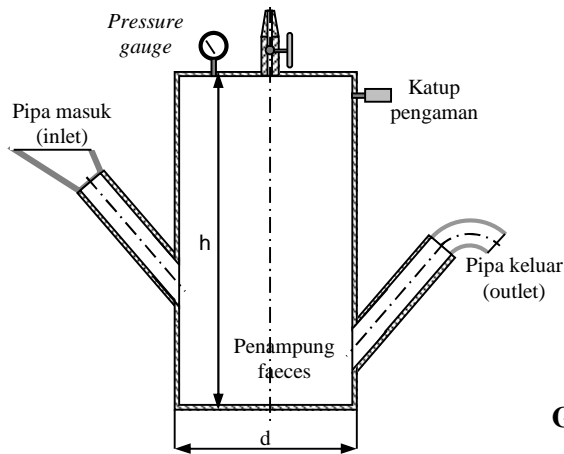
#### Alat

Dari proses perancangan instalasi biogas didapatkan desain digester dan tanki penampung biogas (gambar 4).

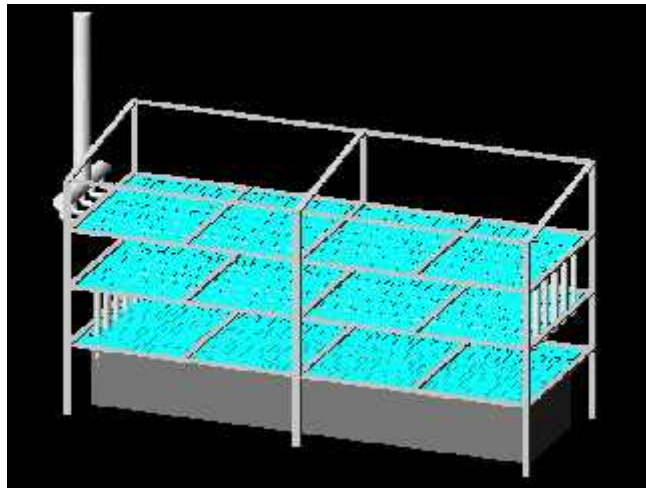
Berdasarkan ketersediaan bahan di pasaran, digunakan 2 buah drum yang disambungkan menjadi 1. Sambungan berupa baut yang berfungsi untuk memudahkan proses pembersihan dan perbaikan.

Pada bagian atas dari alat terdapat pengukur tekanan (*pressure gauge*) yang berfungsi untuk mengetahui besarnya tekanan gas di bagian dalam tabung serta katup pengaman yang berfungsi untuk membatasi besarnya tekanan gas dalam tabung, yaitu 2,5 bar.

Alat pengering rambak sendiri dimodifikasi dari alat pengering rambak dengan bahan bakar minyak tanah (gambar 5).



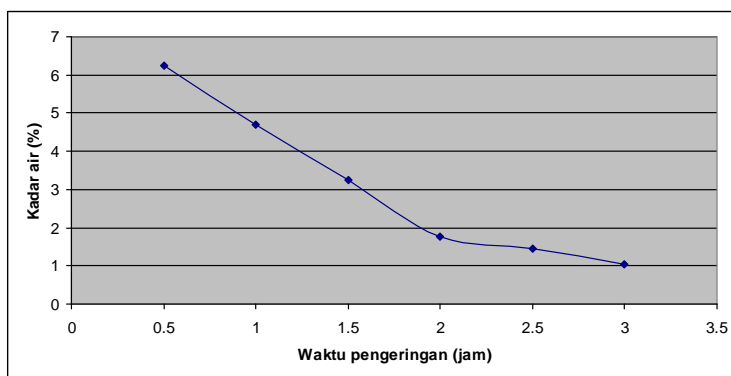
**Gambar 4.** Desain instalasi biogas



**Gambar 5.** Desain alat pengering rambak

**Tabel 2.** Kadar air rambak sebelum dan setelah proses pengeringan

Waktu pengeringan	Sebelum dikeringkan	0,5 jam	1 jam	1,5 jam	2 jam
Kadar air rata-rata	7,43%	6,24%	4,71%	3,26%	1,76%
Waktu pengeringan	2,5 jam	3 jam			
Kadar air rata-rata	1,45%	1,03%			



**Gambar 6.** Grafik kadar air sebagai fungsi dari waktu

## PENGUJIAN DAN ANALISIS

### Pengujian

Apabila diasumsikan bahwa masing-masing pengrajin rambak menghasilkan 5 kuintal rambak dan potensi kotoran ternak yang dihasilkan sebanyak 200 kg tiap harinya maka pengujian proses pengeringan dilakukan dengan rambak dan kotoran ternak sejumlah itu. Variabel yang dipakai adalah lama pengeringan (jam). Kadar air dari sample rambak diukur menggunakan hygrometer. Dari pengujian yang dilakukan didapatkan data-data (Tabel 2) yang kemudian dibuat grafik (gambar 6)

Dari gambar 6 didapatkan bahwa dari proses pengeringan di atas 2 jam didapatkan rambak mentah dengan kadar air di bawah 2 %, yaitu di bawah batas kadar air yang diperbolehkan. Oleh karena itu proses pengeringan ini dianggap memenuhi syarat.

### Analisis

Berdasarkan pengujian di atas, untuk mengeringkan  $\pm 5$  kuintal rambak dibutuhkan kotoran ternak sebanyak 200 kg. Bila harga kotoran ternak  $\pm$  Rp 200,-/kg, per harinya dibutuhkan biaya sebesar = Rp 200,-/kg x 200 kg = Rp 40.000,-

Bila digunakan minyak tanah dengan harga per liternya Rp 5.000,- (harga untuk industri), untuk mengeringkan 5 kuintal rambak dibutuhkan biaya per harinya = Rp 5.000,-/liter x 50 liter = Rp 250.000,-

Dengan menggunakan biogas, biaya yang dibutuhkan untuk mengeringkan rambak dapat dihemat sebesar 63% dibandingkan bila menggunakan minyak tanah.

## KESIMPULAN

Dari perancangan ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Biogas dapat dipakai sebagai alternatif solusi untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak, khususnya minyak tanah.
2. Penggunaan biogas dapat mengurangi biaya bahan bakar proses pengeringan

rambak sebesar 63 % dibandingkan bila menggunakan minyak tanah

3. Potensi kotoran sapi dapat dipakai sebagai bahan bakar proses pengeringan rambak dengan mengolahnya menjadi biogas.

## DAFTAR PUSTAKA

Callister, W.D., 1994, *Materials Science and Engineering*, John Wiley and Son, Canada.

*Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers*, 8<sup>th</sup> ed., McGraw-Hill Book Company, New York.

Widarto, L., & Sudarto, F.X., 1997, *Membuat Biogas*, 9<sup>th</sup> ed., Kanisius, Yogyakarta.

# SIMULASI NUMERIK KONVEKSI ALAMI DALAM KOTAK 2D DENGAN VARIASI KEMIRINGAN DENGAN METODE BEDA HINGGA

Eko Prasetya Budiana<sup>1</sup>, Budi Kristiawan<sup>2</sup>, Aris Sulistyono<sup>3</sup>

**Abstract :** *Numerical simulation of natural convection in 2D cavity with variations of inclination done to know the phenomenon of fluid flow profile, distribution of temperature and pressure. Simulation done by solving governing equations of natural convection with Bousinesq approximations consists of continuity equation, Navier Stokes equations, and energy equation using finite different approximation. For solving the governing equations done by ADI method for calculation momentum equation of x and y direction without enclose pressure unsure to get temporary velocity ( $u^*$  and  $v^*$ ). Then pressure calculated by Line Gauss Seidel Iteration method, and used to looking for true u and v value. Energy equation that contain temperature also solved by ADI method. Simulation's result at  $Ra 10^6$  with aspect ratio 1 : 2 show Benard Convection on  $0^\circ$  inclination (heated from bottom), and on  $180^\circ$  inclination (heated from top) convection heat transfer not occur. Thermal distribution and velocity vector on different inclination showing buoyancy force direct on natural convection in 2D cavity.*

**Keyword :** natural convection, Benard convection, finite different method, Navier Stokes equations.

## PENDAHULUAN

Proses perpindahan panas dapat terjadi melalui tiga cara, yaitu secara konduksi, konveksi dan radiasi. Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi di antara permukaan benda dengan fluida yang bergerak ketika temperatur keduanya berbeda. Perpindahan panas secara konveksi berdasarkan jenis penyebab aliran fluida yang terjadi dikategorikan menjadi dua kategori, yaitu konveksi paksa dan konveksi alami.

Konveksi paksa (*forced convection*) adalah konveksi yang mana aliran fluida yang terjadi disebabkan adanya alat-alat eksternal, seperti fan, pompa, aliran udara atmosfer (angin). Sedangkan konveksi alami (*natural convection*) adalah konveksi yang terjadi karena fluida yang berubah densitasnya (kerapatannya) disebabkan proses pemanasan dan fluida ini bergerak naik karena adanya gaya apung (*buoyancy force*).

Konveksi alami memegang peranan penting dalam rekayasa industri, seperti pada perancangan alat penukar kalor, pendinginan transformator, dan komponen elektronika.

---

<sup>1</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT UNS

<sup>2</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT UNS

<sup>3</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin FT UNS

Penelitian mengenai fenomena pada konveksi alami telah banyak dilakukan baik secara eksperimental maupun secara numerik. Penelitian secara eksperimen lab untuk mengetahui fenomena yang terjadi pada proses konveksi alami membutuhkan biaya yang cukup mahal dan proses yang cukup rumit.

Oleh karena itu, dikembangkan penelitian secara numerik yang membutuhkan biaya yang jauh lebih murah. Berbagai metode pendekatan numerik untuk mengetahui fenomena konveksi alami telah dilakukan, dengan menggunakan model matematika dari persamaan Navier Stokes yang meliputi persamaan kontinuitas, momentum dan energi.

Ramaswamy (1993) meneliti aliran kental tak mampat dengan menggunakan metode elemen hingga (*finite-element*). Lemos (1993) menggunakan pendekatan beda hingga (*finite different*) pada *staggered grid* untuk meneliti aliran fluida tak mampat. Pranowo dan Priyo Tri Iswanto (1999) menggunakan metode primitive variabel pada grid kolokasi untuk meneliti konveksi alami pada kotak 2D.

Penelitian ini mengacu pada penelitian yang dilakukan Pranowo dan Priyo Tri Iswanto dengan menambahkan variasi kemiringan pada kotak, sehingga diketahui fenomena yang terjadi pada konveksi alami pada kotak 2D dengan berbagai variasi kemiringan.

## **TINJAUAN PUSTAKA**

Berbagai metode telah digunakan untuk meneliti konveksi alami dalam kotak. Ramaswamy (1992) menggunakan metode elemen hingga untuk meneliti aliran fluida tak mampat. Metode ini menurunkan persamaan Navier-Stokes untuk fluida tak mampat. Dengan metode ini, dapat diketahui vektor kecepatan dan distribusi tekanan pada kotak 2D.

Le Querre (1990) menggunakan algoritma pseudo-spectral Chebyshev untuk meneliti konveksi alami pada kotak 2D dengan dinding bawah dipanasi dan dinding atas adiabatik. Dengan metode ini dapat menghilangkan osilasi numerik dan mencapai hasil yang akurat hingga nilai  $Ra = 10^8$ .

Metode Lattice Boltzmann digunakan oleh Dixit dan Babu (2006) untuk mengadakan simulasi konveksi alami dalam kotak pada Angka Rayleigh yang tinggi. Grid yang tidak seragam digunakan pada metode ini. Simulasi ini mencapai nilai yang akurat hingga  $Ra = 10^8$ .

Persamaan Navier-Stokes dua dimensi juga dapat diselesaikan dengan menggunakan *primitive variable* pada *non staggered grid* dengan diskritisasi beda hingga (Pranowo dan Priyo Tri Iswanto, 1999). Hasil simulasi dengan metode ini menunjukkan hasil yang akurat untuk  $Ra = 10^6$  dan  $Ra = 10^7$ .

Alexander Yu Gelfgat (1999) meneliti ketidak stabilan Rayleigh-Benard pada kotak 2D dan 3D. Dari hasil perhitungan dengan parameter yang telah ditentukan diketahui adanya ketergantungan angka Rayleigh kritis dengan aspek rasio dari kotak.

### KONVEKSI ALAMI

Konveksi alami adalah perpindahan panas di antara sebuah permukaan dan fluida yang bergerak di atasnya dengan gerakan fluida disebabkan gaya apung (*bouyancy force*) yang timbul karena perbedaan density akibat perbedaan tekanan di dalam aliran (Oosthuizen, 1999). Nilai batas kritis untuk terjadinya konveksi tergantung pada aspek rasio dari kotak 2D yang digunakan (Alexander Yu Gelfgat, 1999).

Pada konveksi alami dengan perbedaan temperatur yang kecil, maka berlaku pendekatan Boussinesq, yaitu dalam analisis mengenai aliran pada konveksi alami, properties fluida diasumsikan konstan kecuali perubahan density terhadap temperatur yang menyebabkan munculnya gaya apung (*buoyancy force*) (Oosthuizen, 1999). Sehingga persamaan atur untuk konveksi alami dapat dituliskan sebagai berikut (Le Querre, 1990) :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\text{Pr}}{\text{Ra}^{0.5}} \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \text{Pr} \cos w \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\text{Pr}}{\text{Ra}^{0.5}} \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \text{Pr} \sin w \quad (3)$$

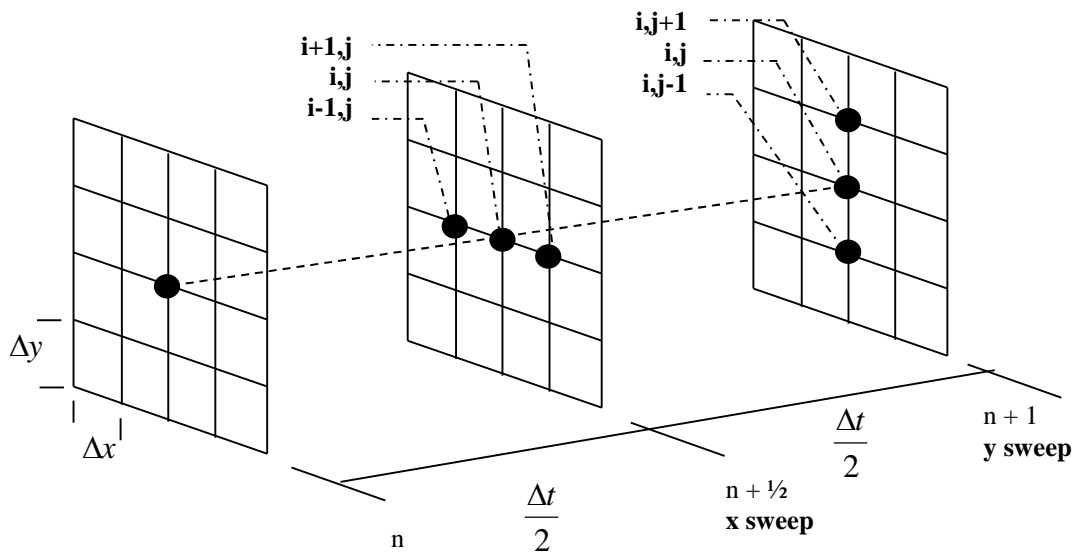
$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} = \frac{1}{\text{Ra}^{0.5}} \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

Persamaan di atas diperoleh dengan membagi variabel berdimensi dengan variabel referensi. Variabel referensi untuk panjang adalah  $L_r = H$ , untuk kecepatan  $V_r = (\alpha/H)\text{Ra}^{0.5}$ , untuk variabel waktu  $t_r = (H^2/\alpha) \text{Ra}^{0.5}$  dan untuk temperatur ( $\theta$ )

didefinisikan sebagai berikut :  $\theta = (T - T_r)/(T_h - T_c)$  dan  $T_r = (T_h + T_c)/2$  dimana  $T$  adalah variabel berdimensi untuk suhu,  $T_r$  adalah variabel referensi untuk suhu,  $T_h$  adalah variabel berdimensi untuk suhu yang tinggi, dan  $T_c$  adalah variabel berdimensi untuk suhu yang rendah.

### **METODE ADI (ALTERNATING DIRECTING IMPLICIT)**

Metode ADI digunakan untuk mendiskritisasi persamaan atur. Skema metode ADI adalah seperti berikut :



Gambar 1 Ilustrasi untuk metode ADI

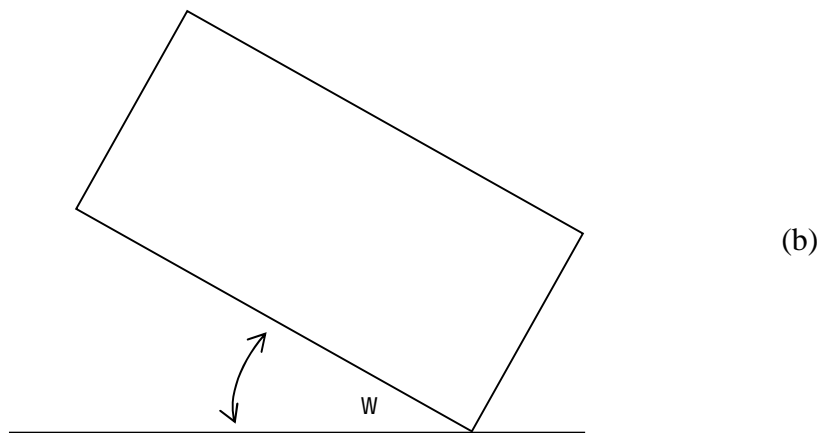
Metode ini dilakukan dengan dua langkah, yang pertama adalah penyelesaian variabel dalam arah  $x$  saja ( $x$ -sweep), kemudian penyelesaian variabel dalam arah  $y$  saja ( $y$ -sweep).  $X$ -sweep dilakukan pada langkah waktu  $n+1/2$  dan  $y$ -sweep dilakukan pada langkah waktu  $n+1$ .

### **KASUS YANG DISELESAIKAN**

Kasus yang diselesaikan pada penelitian ini adalah kotak 2D dengan aspek rasio 1 : 2 dengan dinding kiri dan kanan diisolasi ( $\frac{\partial \theta}{\partial x} = 0$ ), dinding bawah panas, dan dinding atas dingin, pada posisi  $w = 0^\circ$ .

Kecepatan ( $u, v$ ) bernilai nol di seluruh dinding, sedangkan syarat batas untuk tekanan dan temperatur adalah sebagai berikut :

$$\begin{array}{c}
 \text{"} = -0.5 \\
 \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \\
 \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \qquad \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \\
 \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \\
 \text{"} = 0.5
 \end{array}
 \quad \frac{\partial \text{"}}{\partial x} = 0 \qquad \frac{\partial \text{"}}{\partial x} = 0
 \tag{a}$$



Gambar 2 (a) Kondisi Batas (b) Kotak 2D dengan Kemiringan  $w$

### PENYUSUNAN ALGORITMA

Algoritma yang dipakai pada penelitian ini sama dengan algoritma yang dipakai Pranowo (1999). Kecepatan tingkat menengah ( $u^*$  dan  $v^*$ ) diperoleh dengan menyelesaikan persamaan momentum tanpa menyertakan unsur tekanan, kecepatan tingkat menengah ini belum memenuhi persamaan kekekalan massa, sehingga perlu dikoreksi dengan turunan tekanan yang ditung kemudian sehingga diperoleh kecepatan yang sesungguhnya ( $u^{n+1}$  dan  $v^{n+1}$ ), dimana tekanan dicari dengan menyelesaikan persamaan poisson.

Langkah-langkah algoritma tersebut dapat dituliskan sebagai berikut :

1. Membaca data masukan berupa jumlah dan susunan grid, konstanta-konstanta yang dipakai, ukuran kotak 2D yang digunakan, syarat awal dan syarat batas yang digunakan.



2. Hitung kecepatan tingkat menengah  $u^*$  dengan metode ADI

$$\frac{\partial u^*}{\partial t} + u^n \frac{\partial u^*}{\partial x} + v^n \frac{\partial u^*}{\partial y} = \frac{\text{Pr}}{\text{Ra}^{0.5}} \left( \frac{\partial^2 u^*}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u^*}{\partial y^2} \right) + \text{Pr}_n \cos w \quad (5)$$

3. Hitung kecepatan tingkat menengah  $v^*$  dengan metode ADI

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u^n \frac{\partial v^n}{\partial x} - \frac{\text{Pr}}{\text{Ra}^{0.5}} \frac{\partial^2 v^n}{\partial x^2} = -v^n \frac{\partial v^*}{\partial y} + \frac{\text{Pr}}{\text{Ra}^{0.5}} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \text{Pr}_n \sin w \quad (6)$$

4. Hitung  $p^{n+1}$  dengan metode Line Gauss Seidel

$$\frac{\partial^2 p^{n+1}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p^{n+1}}{\partial y^2} = \frac{1}{\Delta t} \left( \frac{\partial u^*}{\partial x} + \frac{\partial v^*}{\partial y} \right) \quad (7)$$

5. Hitung kecepatan sesungguhnya ( $u^{n+1}$  dan  $v^{n+1}$ )

$$u^{n+1} = u^* - \Delta t \frac{\partial p^{n+1}}{\partial x} \quad (8)$$

$$v^{n+1} = v^* - \Delta t \frac{\partial p^{n+1}}{\partial y} \quad (9)$$

6. Hitung  $u^{n+1}$  dengan metode ADI

$$\frac{\partial u^{n+1}}{\partial t} + u \frac{\partial u^{n+1}}{\partial x} + v \frac{\partial u^{n+1}}{\partial y} = \frac{1}{\text{Ra}^{0.5}} \left( \frac{\partial^2 u^{n+1}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u^{n+1}}{\partial y^2} \right) \quad (10)$$

7. Periksa konvergensi, jika belum konvergen, kembali ke langkah 2. Jika sudah konvergen tuliskan data.

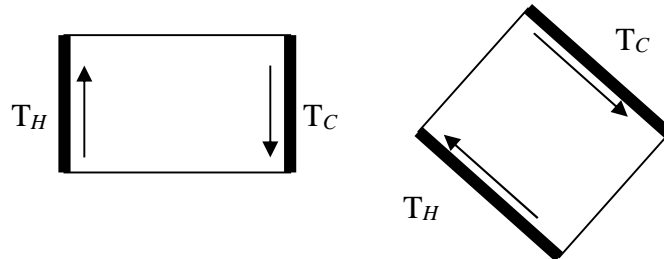
8. Tulis hasil

9. Selesai

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi kasus konveksi alami dalam kotak 2D ditampilkan dengan susunan grid 81 x 41 dengan  $\Delta x = \Delta y = 0.5$ , langkah waktu  $\Delta t = 0.01$  dan bilangan Prandtl ( $\text{Pr}$ ) = 0.7. Angka Rayleigh ( $\text{Ra}$ ) dalam simulasi menggunakan  $\text{Ra} = 10^6$ . Variasi kemiringan yang digunakan adalah  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ , dan  $180^\circ$ . Distribusi suhu pada berbagai kemiringan dapat dilihat pada gambar 4(a) sampai gambar 4(e). Pada gambar 4(a) pada sudut  $w = 0^\circ$  terlihat pergerakan fluida panas yang bergerak ke atas karena adanya gaya apung (*buoyancy force*) disebabkan density yang turun karena temperatur, sedang fluida dingin bergerak ke bawah karena density yang lebih besar dan karena adanya gaya gravitasi.

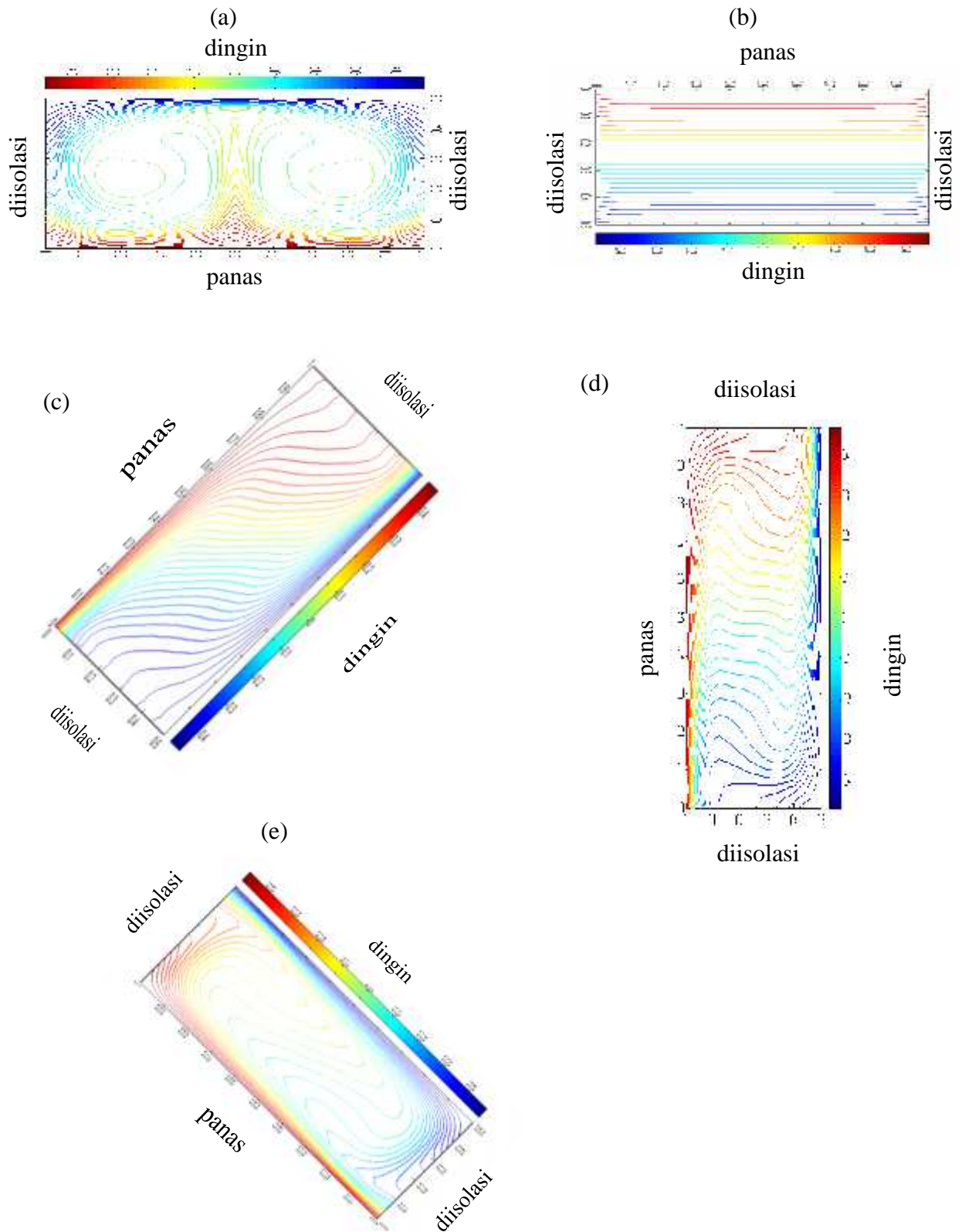
Pada kemiringan kotak  $45^\circ$  sampai kemiringan  $135^\circ$ , terlihat alur pergerakan fluida panas yang bergerak ke atas melalui dinding bagian sisi kiri dan sebaliknya fluida dingin bergerak ke bawah melalui dinding bagian kanan. Hal ini menjelaskan arah gaya apung untuk kotak 2D yang dapat digambarkan seperti gambar 3.



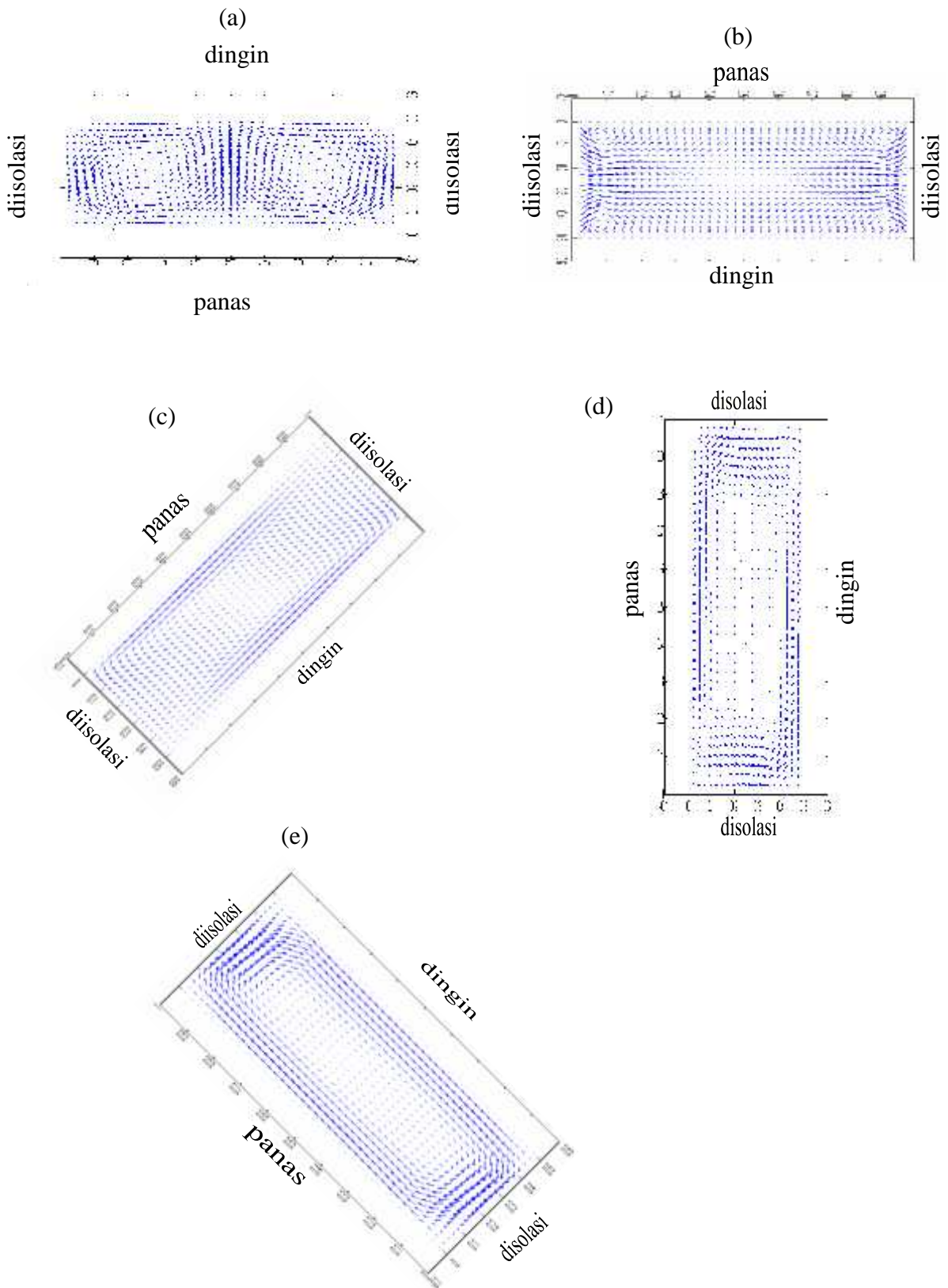
Gambar 3 Komponen gaya apung (*buoyancy force*) dalam kotak miring

Pada sudut  $180^\circ$  (Gambar 4(b)) tidak terlihat adanya pergerakan fluida panas ke atas maupun fluida dingin ke bawah. Hal ini menunjukkan tidak adanya gaya apung pada kemiringan  $180^\circ$ , yang berarti bahwa pada kondisi ini tidak terjadi perpindahan panas konveksi. Perpindahan panas yang terjadi adalah murni perpindahan panas konduksi ( $Nu = 1$ ).

Perbandingan vektor kecepatan hasil simulasi dengan kemiringan  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$  dan  $180^\circ$  dapat dilihat pada gambar 5(a) sampai gambar 5(e). Pada aliran dengan kemiringan kotak  $0^\circ$  (Gambar 5(a)) terlihat jelas adanya 2 gulungan sel yang biasa disebut dengan *Benard cells* atau *Benard Convection*. Pada vektor kecepatan untuk kemiringan  $45^\circ$  sampai  $135^\circ$  terlihat pergerakan pusat gulungan. Terlihat pula bahwa gradien kecepatan pada bagian dinding lebih tinggi dibandingkan gradien kecepatan pada bagian dalam kotak. Sedangkan pada kemiringan  $180^\circ$  (gambar 5(b)) pemanasan dari atas dan pendinginan dari bawah, tidak terlihat adanya gulungan sebagaimana pada sudut yang lain. Hal ini karena perpindahan panas terjadi secara konduksi sehingga tidak ada pergerakan fluida yang disebabkan oleh perbedaan density.



Gambar 4 Isothermal pada  $Ra = 10^6$ ,  $t = 30$ , (a) sudut  $w = 0^\circ$ , (b) sudut  $w = 180^\circ$ ,  
(c) sudut  $w = 135^\circ$ , (d) sudut  $w = 90^\circ$ , (e) sudut  $w = 45^\circ$



Gambar 5 Vektor kecepatan pada  $Ra = 10^6$ ,  $t = 30$ , (a) sudut  $w = 0^\circ$ , (b) sudut  $w = 180^\circ$ , (c) sudut  $w = 135^\circ$ , (d) sudut  $w = 90^\circ$ , (e) sudut  $w = 45^\circ$

## KESIMPULAN

Dari penelitian dan pembahasan hasil yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

- a. Pada kotak 2D dengan pemanasan dari bawah (sudut  $0^\circ$ ) terjadi konveksi alami dengan pola aliran udara membentuk sel Bernard (*Bernard cell* atau *Bernard Convection*).
- b. Arah pergerakan fluida pada kotak yang dimiringkan adalah mengikuti arah komponen *bouyancy force*, dimana pada sisi panas bergerak ke atas dan pada sisi yang dingin bergerak ke bawah.
- c. Pada kotak 2D dengan pemanasan dari atas (sudut  $180^\circ$ ) tidak terjadi perpindahan panas secara konveksi, tetapi perpindahan panas terjadi secara konduksi ( $Nu = 1$ ).
- d. Pola isothermal pada kasus konveksi alami mengikuti pola aliran fluida.

## DAFTAR PUSTAKA

- Dixit, H.N. and V. Babu. 2006. Simulation of High Rayleigh Number Natural Convection in a Square Cavity using the Lattice Boltzmann Method. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 49 (3-4), hal 727-739.
- Gelfgat, Alexander Yu. 1999. Different Modes of Rayleigh-Benard Instability in Two- and Three-Dimensional Rectangular Enclosures. *Journal of Computational Physics*, 156, hal. 300-324.
- Hoffman, Klaus A. 1989. *Computational Fluid Dynamis for Engineering*. Texas, USA : Engineering System <sup>TM</sup> Austin.
- Holman, J.P. 1997. *Perpindahan Kalor*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Oosthuizen, Patrick H. 1999. *An Introduction to Convective Heat Transfer Analysis*. New York, USA : McGrawHill.
- Pranowo dan Priyo Tri Iswanto. 1999. *Analisis Numerik Konveksi Alami Dalam Kotak dengan Primitive Variable pada Grid Kolokasi*. Makalah Seminar Regional Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
- Quere, P.L. 1990. Accurate Solutions to The Square Thermally Driven Cavity at High Rayleigh Number. *International Journal of Computers & Fluids*, Vol.20, No. 1, hal. 29-41.
- Ramaswamy. 1988. Theory and Implementation of a Semi-Implicit Finite Element Method for Viscous Incompressible Flow, *International Journal of Computers & Fluids*, Vol.22, No. 6, hal. 725-747.
- Soesianto F. Ir, dan Ir. Eko Nugroho. 1994. *Bahasa Fortran*. Yogyakarta : ANDI OFFSET.

# KAJI EKSPERIMENTAL PENGARUH PANJANG TERHADAP LAJU PERPINDAHAN PANAS ALAT PENUKAR PANAS PIPA KONSENTRIK

Budi Santoso \*)

**Abstract:** *This research analyzed the effect of length to the performance of the concentric pipe heat exchanger in parallel flow and counter flow. Three meter of length in concentric pipe heat exchanger were used, where lubricant SAE 20W-50 flowed in the shell side and water is flowed in the tube side. The heat exchanger was also analyzed for parallel flow and counter flow of the cold fluid. After testing, the performance of the heat exchanger with each temperature measurement distance, for counter flow heat exchanger shorter theoretic length obtained compared to the parallel flow. The heat transfer coefficient obtained for counter flow in three different temperature distance 1 meter, 2 meter and 3 meter were 166.27 W/m<sup>2</sup>.K, 128.45 W/m<sup>2</sup>.K and 128.5 W/m<sup>2</sup>.K, and for parallel flow 166.29 W/m<sup>2</sup>.K, 128.5 W/m<sup>2</sup>.K and 124.52 W/m<sup>2</sup>.K respectively. The heat exchanger effectiveness obtained from the experiment in three different temperature measurements 1 meter, 2 meter and 3 meter were 5.9 %, 10 % and 14.3 % for counter flow, and for parallel flow 7.2 %, 11.4 % and 13 % respectively.*

**Keywords:** *concentric pipe, heat exchanger, parallel flow, counters flow*

## PENDAUULAN

Dalam dunia industri menggunakan penukar panas. Alat penukar panas ini digunakan untuk memindahkan panas dari satu fluida ke fluida lain. Perpindahan panas dapat terjadi dengan cara bercampur dan tidak bercampur tergantung tipe/jenis alat penukar kalor.

Dalam penelitian yang dilakukan (Mokamati, S.V. dan Prasad, R.C., 1998) dengan penukar panas panjang 500 mm, diameter dalam tabung 7 mm, diameter luar tabung 8 mm, diameter dalam selongsong 13 mm dan diameter luar selongsong 14 mm, untuk fluida panas berada di dalam tabung dan fluida panas di luar tabung. Penilitain menggunakan CFD (*Computational Fluid Dynamics*) untuk mensimulasikan perpindahan panas dan rugi tekanan (*pressure drop*). Simulasi tersebut dilakukan pada rentang Bilangan Reynolds dengan memberikan variasi kecepatan fluida panas dari 3 m/s s.d. 10 m/s,

sedangkan fluida dingin dijaga pada kecepatan 6 m/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien perpindahan panas semakin besar dengan semakin besarnya harga bilangan Reynolds.

Menurut (Thorud, B., 2003) Yang melakukan penelitian tentang penukar panas dan ejektor SOFC – GT (*system of solid oxide fuel cells and a gas turbine*) mengemukakan bahwa penukar panas paling sederhana adalah tipe tabung konsentrik, dari penelitian tersebut diketahui bahwa pada aliran searah temperatur keluar fluida dingin tidak akan dapat melebihi emperatur fluida panas keluar, hal tersebut berbeda dengan aliran berlawanan, jika tidak ada batasan panjang maka aliran berlawanan memiliki kemungkinan temperatur keluar fluida dingin dapat melebihi temperatur keluar fluida panas. Oleh sebab itu aliran berlawanan adalah desain yang paling bagus.

Percobaan untuk mengetahui pengaruh dari panjang sebuah penukar panas terhadap

---

\*)Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT UNS

laju perpindahan panas pada penukar panas (*heat exchanger*) pipa ganda (konsentrik) dan perbandingan efektifitas perpindahan panas antara penukar panas aliran sejajar dan berlawanan arah. Batasan permasalahan adalah (1) fluida kerja adalah fluida *incompressible*, dengan fluida panas adalah minyak oli SAE 20W-50 dalam kondisi baru dan fluida dingin adalah air, (2) pengambilan data dilakukan pada kondisi aliran dan temperatur *steady*, (3) seksi uji adalah penukar panas (*heat exchanger*) berupa pipa ganda (konsentrik) selongsong dan tabung (*shell and tube*) horizontal, (4) penelitian dilakukan dengan variasi jarak pengambilan data temperatur pada satu meter, dua meter dan tiga meter sepanjang penukar panas (*heat exchanger*), (5) penelitian dilakukan dengan aliran sejajar (*parallel flow*) dan aliran berlawanan arah (*counter flow*), (6) alat penukar panas diisolasi dari lingkungan, dimana diharapkan panas yang hilang ke lingkungan dapat seminimal mungkin sehingga diharapkan pula hanya terdapat perpindahan panas antara fluida panas dan dingin, (7) konduksi pada arah aksial dari tabung diabaikan, (8) perubahan energi potensial dan energi kinetik diabaikan, (9) tidak ada perubahan fase dalam fluida, (10) aliran fluida sisi selongsong (Oli) secara gravitasi.

### LANDASAN TEORI

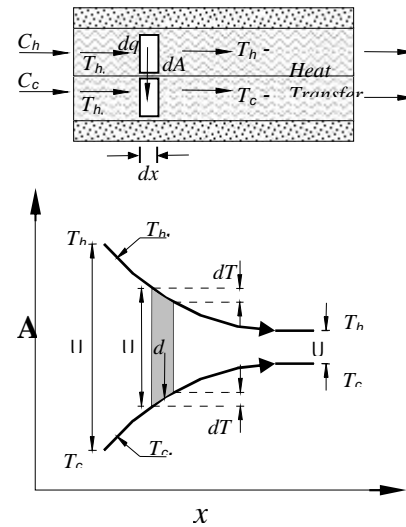
Mekanisme perpindahan panas dari penukar panas pipa ganda aliran searah (*parallel flow*) dan aliran berlawanan (*counter flow*) dapat dilihat pada Gambar 1. dan Gambar 2.

Panas yang dipindahkan dapat dituliskan sebagai,

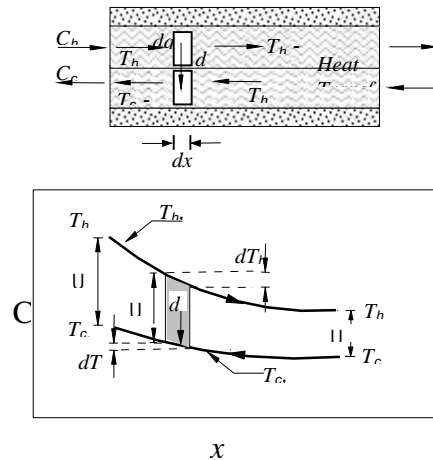
$$dq = -m.c_{p,h}.dT_h = m.c_{p,c}.dT_c \quad (1)$$

Dapat pula dinyatakan dengan

$$dq = U(T_h - T_c) dA \quad (2)$$



Gambar 1. Perpindahan panas pada penukar panas pipa ganda aliran searah



Gambar 2. Perpindahan panas pada penukar panas pipa ganda aliran berlawanan arah

atau,

$$q = UA\Delta T_{LMTD} \quad (3)$$

dan

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{h2} - T_{c2}) - (T_{h1} - T_{c1})}{\ln((T_{h2} - T_{c2}) / (T_{h1} - T_{c1}))}$$

Efektifitas suatu penukar panas (*heat-exchanger effectiveness*) didefinisikan sebagai berikut,

$$\text{Efektifitas} = \epsilon = \frac{\text{perpindahan panas nyata}}{\text{perpindahan panas yang mungkin}}$$

perpindahan panas nyata (*actual*) dihitung dari energi yang dilepaskan oleh fluida panas atau energi yang diterima oleh fluida dingin. Untuk penukar panas aliran searah (*parallel flow*) dirumuskan sebagai berikut,

$$q = m_h c_h (T_{hi} - T_{ho}) = m_c c_c (T_{co} - T_{ci}) \quad (4)$$

untuk aliran berlawanan arah (*counter flow*):

$$q = m_h c_h (T_{hi} - T_{ho}) = m_c c_c (T_{ci} - T_{co}) \quad (5)$$

Perpindahan panas maksimum dari suatu alat penukar panas diperoleh bila salah satu fluida mengalami perubahan suhu mengalami beda suhu maksimum yang terdapat dalam penukar panas tersebut, yaitu selisih fluida masuk dari fluida panas dan fluida dingin. Fluida yang memiliki beda suhu maksimum adalah fluida yang memiliki harga  $mc$ -nya minimum, hal ini disebabkan pada kesetimbangan energi mensyaratkan bahwa energi yang diterima fluida sama dengan energi yang lepas oleh fluida yg lain. Sehingga persamaan untuk perpindahan panas maksimum diperoleh :

$$q_{maks} = (mc)_{\min} (T_{h_{masuk}} - T_{c_{masuk}}) \quad (6)$$

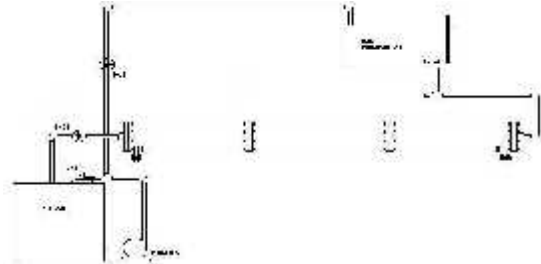
fluida minimum dapat terjadi pada fluida panas maupun fluida dingin tergantung dari laju aliran massa dan panas-spesifiknya. Efektifitas suatu penukar panas adalah,

$$\epsilon = \frac{q}{q_{\max}} \quad (7)$$

## PERALATAN

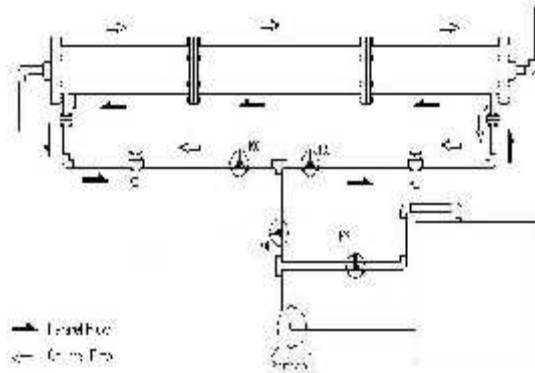
Untuk fluida panas pipa yang digunakan adalah pipa besi  $\frac{3}{4}$  dengan sambungan berupa sambungan ulir dengan maksud agar

mudah dalam bongkar pasang. Pada sistem perpipaan fluida panas terdapat tiga buah katup untuk pengaturan fluida, seperti diperlihatkan pada Gambar 3.



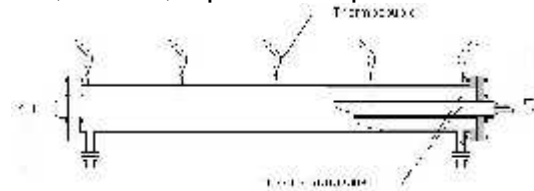
Gambar 3. Sistem perpipaan fluida panas

Untuk fluida dingin pipa yang digunakan adalah pipa PVC, seperti diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Sistem perpipaan fluida dingin

Untuk mengetahui temperatur ini digunakan *thermocouple* tipe K dengan dilengkapi satu set personal komputer (PC) untuk display data yang diperoleh. Thermocouple dipasang pada jarak 0 m, 1 m, 2 m, dan 3 m, seperti terlihat pada Gambar 5.



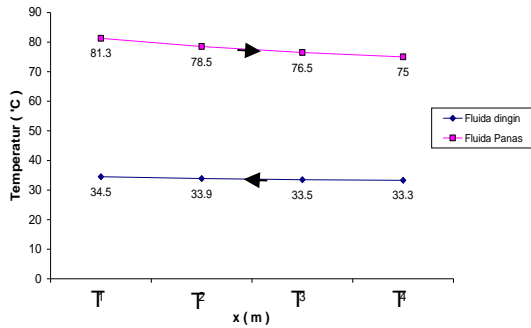
Gambar 5. Penempatan Thermocouple



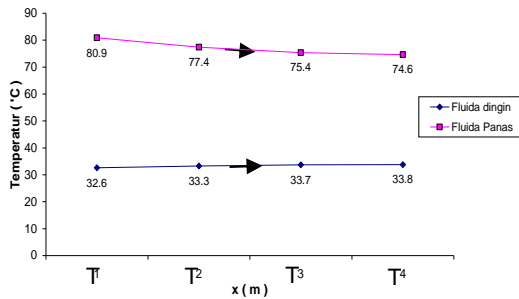
Parameter-parameter yang diukur dalam penelitian ini adalah (1) temperatur Oli masuk ( $T_{hi}$ ), (2) temperatur Oli keluar ( $T_{ho}$ ), (3) temperatur air masuk ( $T_{ci}$ ), (4) temperatur air keluar ( $T_{co}$ ), (5) debit aliran oli ( $m$ ), dan (6) debit aliran air, ( $m_b$ )

### HASIL DAN PEMBAHASAN

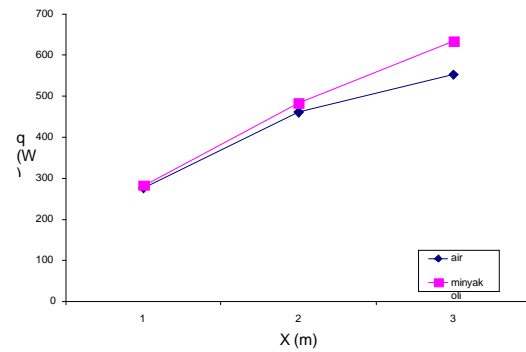
Dari pengujian aliran berlawanan dan aliran sejajar diperoleh rata-rata temperatur pada tiap-tiap titik pengambilan data seperti terlihat pada Gambar 6a dan Gambar 6b.



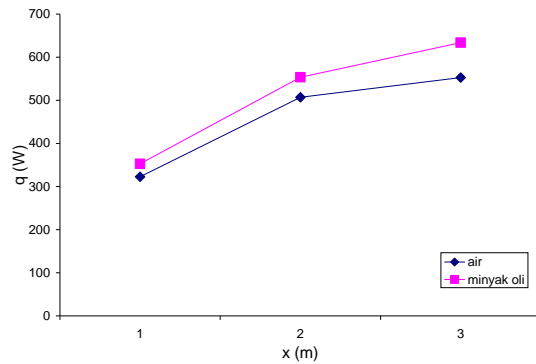
Gambar 6a. Grafik hasil pengujian temperatur untuk aliran berlawanan



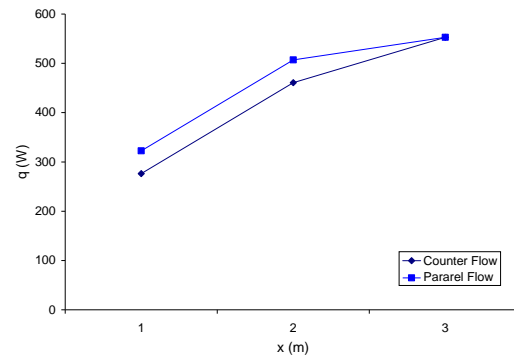
Gambar 6b. Grafik hasil pengujian temperatur untuk aliran sejajar



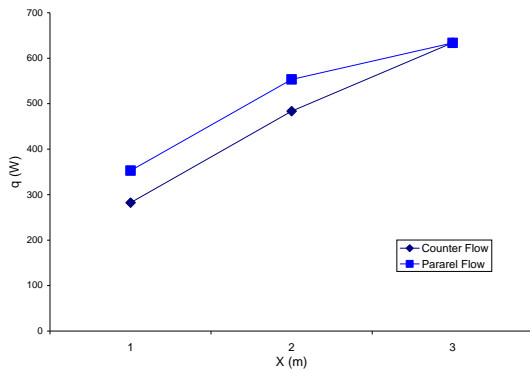
Gambar 7a. Grafik hubungan panjang penukar panas dengan laju perpindahan panas pada aliran berlawanan,



Gambar 7b. Grafik hubungan panjang penukar panas dengan laju perpindahan panas pada aliran sejajar



Gambar 7c. Grafik hubungan panjang penukar panas dengan laju perpindahan panas air untuk aliran searah dan berlawanan,

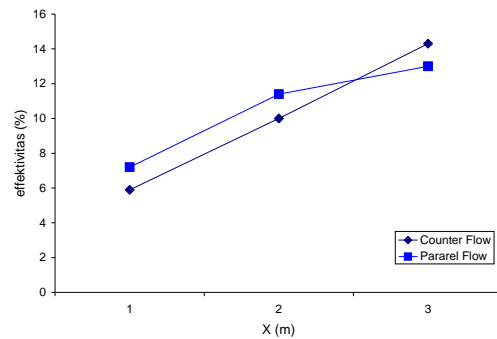


Gambar 7d. Grafik hubungan panjang penukar panas dengan laju perpindahan panas minyak oli untuk aliran searah dan berlawanan

Dari Gambar 7 terlihat bahwa semakin panjang penukar panas maka laju perpindahan panas akan makin besar, hal ini dikarenakan semakin panjang penukar panas maka luas permukaan kontak akan semakin besar, kondisi ini mengakibatkan temperatur keluar ( $T_{hi}$ ) minyak oli akan makin turun dan temperatur air ( $T_{\infty}$ ) akan bertambah naik sehingga selisih beda temperatur akan makin besar untuk masing masing fluida.

Dari Gambar 7 juga terlihat laju perpindahan panas pada penukar panas aliran sejajar lebih tinggi dari penukar panas aliran berlawanan, Laju perpindahan panas pada aliran berlawanan pada panjang 1 meter 275,48 W untuk air dan 280,31 W untuk oli, pada panjang 2 meter 459,14 W untuk air dan 479,4 W untuk oli, pada panjang 3 meter 551,5 W untuk air dan 628,6 W untuk oli. Laju perpindahan panas pada aliran sejajar panjang 1 meter 321,4 W untuk air dan 349,9 W untuk oli, pada panjang 2 meter 505,1 W untuk air dan 548,5 W untuk oli, pada panjang 3 meter 551 W untuk air dan 628 W untuk oli. Hal ini dikarenakan pada aliran berlawanan temperatur air yang memasuki penukar panas lebih tinggi dibandingkan dengan yang akan memasuki penukar panas aliran sejajar, hal

tersebut mengakibatkan perbedaan temperatur ( $\Delta T$ ) menjadi lebih kecil. Pada penukar panas aliran berlawanan temperatur air yang memasuki penukar panas adalah 33,3°C, sedangkan temperatur air yang memasuki penukar panas aliran sejajar adalah 32,6°C seperti terlihat pada Gambar 6a. dan 6b.



Gambar 8. Grafik hubungan dimensi panjang dengan efektifitas penukar panas

Dari Gambar 8 terlihat bahwa semakin panjang penukar panas maka efektifitas akan makin meningkat hal tersebut dikarenakan semakin bertambah panjang penukar panas maka beda temperatur yang dihasilkan akan makin besar, hal tersebut menyebabkan laju pendinginan oli ( $q_{oil}$ ) akan makin besar sedangkan perubahan pada laju pendinginan maksimum ( $q_{max}$ ) hanya dipengaruhi oleh konduktivitas termal dari minyak oli, karena temperatur masing masing fluida yang akan memasuki penukar panas tidak mengalami perubahan sehingga perubahan yang terjadi pada laju pendinginan maksimum ( $q_{max}$ ) ini tidak terlalu signifikan.

Dari hasil perhitungan efektifitas yang di tunjukkan pada Gambar 8. terlihat bahwa pada panjang penukar panas 1 meter dan 2 meter penukar panas aliran sejajar memiliki harga efektifitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan penukar panas aliran berlawanan, sedangkan pada panjang 3

meter penukar panas aliran berlawanan lebih tinggi dibandingkan aliran sejajar. Seperti yang telah di utarakan sebelumnya dari penukar panas diperoleh hasil untuk aliran sejajar pada panjang 1 meter adalah 5,9 %, untuk 2 meter adalah 10 % dan untuk 3 meter diperoleh harga 14,3 %. Sedangkan untuk aliran berlawanan diperoleh hasil pada panjang penukar panas 1 meter adalah 7,2 %, untuk 2 meter 11,4 % dan untuk 3 meter 13 %.

## KESIMPULAN

Dari hasil-hasil yang di paparkan di atas terlihat bahwa pada penukar panas aliran sejajar memiliki harga efektifitas yang lebih tinggi dari aliran berlawanan, hal ini dikarenakan pada aliran berlawanan air yang akan memasuki penukar panas melewati tepat diatas boiler sehingga menyebabkan temperatur air yang akan memasuki penukar panas naik dan mengakibatkan efektifitas penukar panas aliran berlawanan menjadi lebih rendah dibandingkan dengan aliran sejajar. Pengaruh dari temperatur masuk ini makin lama akan makin berkurang sehingga pada panjang 3 meter diperoleh efektifitas penukar panas berlawanan lebih tinggi dari penukar panas aliran sejajar.

Dari hasil penelitian dan pembahasan maka dapat diambil kesimpulan bahwa laju pendinginan minyak oli akan bertambah seiring dengan pertambahan panjang penukar panas. Laju pendinginan pada aliran berlawanan pada titik 1 meter 280,31 W, pada titik 2 meter 479,4 W, pada titik 3 meter 628,6 W. Laju pendinginan pada aliran sejajar titik 1 meter 349,9 W, pada titik 2 meter 548,5 W, pada titik 3 meter 628 W. Efektivitas perpindahan panas dari penukar panas (*heat exchanger*) jenis pipa konsekririk akan meningkat seiring dengan panjang dari penukar panas. Pada penukar panas aliran sejajar pada panjang 1 meter adalah 5,9%, untuk 2 meter adalah 10 % dan untuk 3 meter

diperoleh harga 14,3%. Sedangkan untuk aliran berlawanan diperoleh hasil pada panjang penukar panas 1 meter adalah 7,2 %, untuk 2 meter 11,4 % dan untuk 3 meter 14 %.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Sukimo dan Metri yang telah membantu terlaksananya penelitian ini dan Program Semi-Que IV yang telah memberikan dukungan peralatan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Holman, J.P. 1994, *Perpindahan Kalor*, Erlangga, Jakarta
- Incropera, F.D. 1996, *Fundamental Heat and Mass Transfer*, John Wiley and Sons, Canada.
- Kreith Frank, 1997, *Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas*, Erlangga, Jakarta
- Saunders, E.A.D, 1988, *Heat Exchanger Selection, Design And Construction*, Longman Grup UK Limited, England.
- The American Society for Testing Material, 1978 *Annual Handbook of ASTM Standart*, Part 1
- Mokamati, S.V. and Prasad, R.C., 1998. *Numerical Simulation of Fluid Flow and Heat Transfer In a Concentric Tube Heat Exchanger*, University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada.
- Thorud, B. 2003, *Heat exchangers and ejectors for the SOFC-GT system*, The Norwegian University of Science and Technology.

**Korelasi Empirik Waktu Kerdam dan Kebisingan dengan  
Speech Intelligibility dalam Ruang Kuliah Jurusan Sastra Inggris  
Fakultas Sastra dan Seni Rupa Universitas Sebelas Maret**

R. Lullus Lambang G. Hidajat, ST., MT \*)

Tri Istanto, ST, MT \*)

Agus Dwi Priyanto, SS \*\*)

**ABSTRACT**

*This research is conducted to evaluate empirical correlation of speech intelligibility with the conditions of background noise and reverberation time. Sound pressure of source is measured as signal to noise ratio (SN) and reverberation time (RT) is measured in actual class rooms in building of faculty of English Letter Department of Sebelas Maret University.*

*SN is measured with SPL meter using dBA and dBC modes in order to determine gross dominant frequency of background noise. RT is evaluated using impulse method according to the ISO Standard 3382 (1997). Data records impuls and the responses of room are acquired in personal computer and evaluate with digital signal processing program. The development of program is part of this own researcher. Output of program is plot of SPL against time and then it is used to determine the room's reverberation time (RT<sub>30</sub>).*

*Measurement and analysis which conducted in this research conclude that empirical correlation SI with SN and RT for specified rooms is according to  $SI (\%) = 0,2774 SN + 0,2774 RT_{30} (500 \text{ Hz}) - 69,258\%$ . Value of SI determines the acoustic condition of class room to provide students good hearing condition for every words of the lecturer spoken. Higher SI means class room is suitable for learning activities and the lower SI is considered not suitable and not comfortable for learning activities. By the equations, SI could be improve by adjust RT and decrease background noise.*

*: impuls response, Pemrosesan Sinyal Digital (DSP), Speech Intelligibility (SI), Signal to Noise Ration (SN), waktu kerdam*

**LATAR BELAKANG**

Proses belajar mengajar di Perguruan Tinggi yang baik dipengaruhi oleh mutu kegiatan yang terjadi di dalam ruang kuliah. Seorang dosen memberikan materi kuliah kepada mahasiswa dengan cara ceramah. Proses akustik yang terjadi didalam ruang kuliah ini adalah komunikasi verbal. Kuantitas yang dapat diukur dalam proses ini adalah *speech intelligibility* (SI). SI adalah persentase ucapan pembicara yang dapat didengar oleh rata-rata pendengar dengan jelas dan benar. Pendengar dalam hal ini adalah mahasiswa usia muda dengan pendengaran normal. SI mengabaikan warna suara, aksen dan artikulasi dari pembicara.

SI dipengaruhi oleh faktor akustik ruangan yang berupa beda level sinyal terhadap kebisingan (*signal to noise level*

*difference*, (SN)) yang merupakan beda antara level sinyal suara terhadap level kebisingan sekitar dan waktu kerdam (*Reverberation Time* (RT)) yang dapat dinyatakan dengan RT<sub>60</sub> atau RT<sub>30</sub>

Komunikasi verbal terjadi antara dosen sebagai pembicara dan mahasiswa sebagai pendengar dapat diukur tingkat efektifitasnya dengan SI. SI merupakan kuantitas subyektif sesuai dengan kondisi pendengar dan kualitas perhatian pendengar terhadap pembicara di dalam ruang kuliah. Tetapi faktor-faktor akustik yang mempengaruhi SI (SN dan RT) adalah kuantitas fisik yang dapat diukur. Oleh karena itu penelitian ini berusaha mendapatkan korelasi antara kondisi subyektif ini dengan kuantitas-kuantitas

terukur yang mempengaruhi secara empirik.

Selanjutnya penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan korelasi empirik antara SI dengan SN dan RT. Tingkat kehadiran pendengar atau kondisi *occupancy* yang semakin besar akan menurunkan RT. Nilai RT yang rendah menyebabkan kondisi akustik ruangan yang rentan terhadap gangguan *background noise*. Jadi dapat diperkirakan SI akan bernilai rendah jika kondisi *occupancy* dan SN yang tinggi untuk volume ruangan yang tertentu.

Penelitian akustik ini dilaksanakan dalam ruang-ruang kuliah di Fakultas Sastra dan Seni Rupa UNS. Adanya keluhan dari beberapa staf pengajar Jurusan Sastra Inggris Fakultas Sastra dan Seni Rupa UNS mengenai ruang kuliah yang belum efektif untuk kegiatan belajar mengajar juga menjadi alasan dilakukannya penelitian ini.

## LANDASAN TEORI

### 1. Kuantitas Akustik yang Mempengaruhi *Speech Intelligibility*

SI adalah persentase ucapan pembicara yang dapat didengar oleh rata-rata pendengar dengan jelas dan benar. SI dipengaruhi oleh faktor akustik ruangan yang berupa beda level sinyal terhadap kebisingan (SN) dan waktu kerdam (RT). SN menyatakan beda level sinyal dengan level kebisingan sekitar (*background noise*). Suara dihasilkan oleh pembicara dan pendengar akan menerima sinyal suara ini dengan baik jika tidak terganggu oleh kebisingan atau sumber suara lain yang dapat menimbulkan efek *masking* atau gema. SN menyatakan efektifitas konstruksi ruangan dalam menahan kebisingan (*noise barrier*).

Waktu kerdam (RT) menyatakan laju penurunan energi suara dalam ruangan. RT berhubungan langsung dengan sifat absorpsi permukaan-permukaan dalam ruangan dan dimensi ruangan. Pengukuran RT dilakukan pada nilai frekuensi yang sering dipilih yaitu 250,500 dan 1000 Hz. Sifat-sifat absorpsi suara suatu bahan

biasanya dinyatakan pada frekuensi-frekuensi ini.

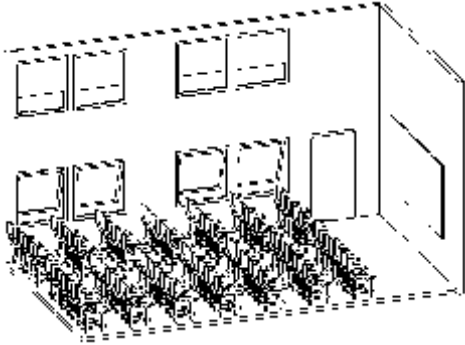
Secara teoritis RT dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan Sabine atau Eyring. Cara ini memerlukan data akurat sifat absorpsi suara bahan, luasan permukaan bahan absorber, dan distribusi permukaan tersebut dalam ruangan serta volume ruangan. Kondisi *occupancy* atau tingkat kehadiran pendengar dalam suatu ruang juga mempengaruhi RT. Perubahan kehadiran pendengar akan menyebabkan perubahan luasan absorpsi suara.

Penelitian yang dilakukan oleh Kahn dan Tichy (1984) menyimpulkan bahwa SI akan menurun secara kontinyu sebagai fungsi jarak dari sumber suara dengan laju penurunan bergantung pada penempatan permukaan absorber di dalam ruangan. Penelitian ini menunjukkan kekuatan medan suara *reverberant* di atas tempat duduk pendengar bergantung pada luas dan penempatan dari permukaan-permukaan absorber. Penempatan permukaan absorber suara pada langit-langit akan menghasilkan waktu kerdam yang lebih lama. Penempatan permukaan absorber di dinding depan ruangan akan menghasilkan waktu kerdam yang lebih pendek dan menurunkan besarnya *sound pressure level* (SPL) yang diukur di dalam ruangan.

Penelitian yang dilakukan oleh Hodgson (2000) menunjukkan hubungan *speech level* ditentukan dengan jarak antara pembicara dengan pendengar pada kondisi ruangan yang kosong dan ruangan yang penuh dengan pendengar. Untuk ruang kelas yang besar dengan kondisi pendengar penuh dengan jarak antara pembicara dan pendengar sebesar 1 m dan posisi pembicara di depan ruangan, akan menurunkan *speech level* sebesar 0,3 sampai dengan 3,1 dBA. Jika posisi pembicara berada dibelakang ruangan dalam ruang kuliah yang sama maka SL akan turun sebesar 3 sampai 7 dBA dibandingkan dengan posisi pembicara di depan ruang kuliah.

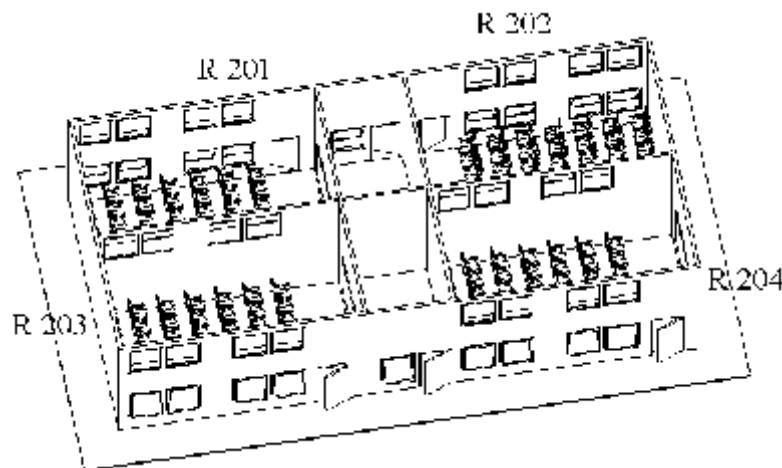
Pengaruh perubahan kondisi *occupancy* atau tingkat kehadiran pendengar terhadap perubahan waktu kerdam

juga telah diteliti oleh Hidajat (2002). Berdasarkan persamaan RT Sabine dapat ditunjukkan bahwa waktu kerdam berbanding terbalik terhadap luasan permukaan absorpsi. Jika diketahui RT pada kondisi kosong maka RT pada kondisi kehadiran pendengar tertentu dapat diketahui.



Gambar 1. Sketsa 3 dimensi ruang kuliah

Selanjutnya berdasarkan latar belakang dan landasan teori ini maka dapat dilakukan penelitian untuk mendapatkan data kondisi akustik RT dan *background noise* dari ruang-ruang kuliah di Fakultas Sastra dan Seni Rupa UNS dan *speech intelligibility* (SI) untuk kemudian dianalisis secara empirik. Kecenderungan *speech intelligibility* terhadap kondisi akustik ini dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan ruang kuliah yang berfungsi efektif dalam pelaksanaan proses belajar mengajar. Sketsa 3 dimensi untuk ruang kuliah Fakultas Sastra dan Seni Rupa Universitas Sebelas Maret yang digunakan oleh Jurusan Bahasa Inggris dapat dilihat pada Gambar 1.

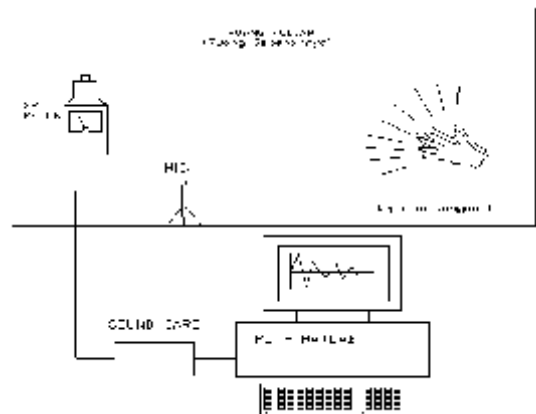


Gambar 2. Sketsa Lantai 2 (sebagian) Gedung Kuliah Fakultas Sastra dan Seni Rupa UNS. Ruang Kuliah R 201, R 202, R203 dan R 204,

## 2. Pengukuran RT

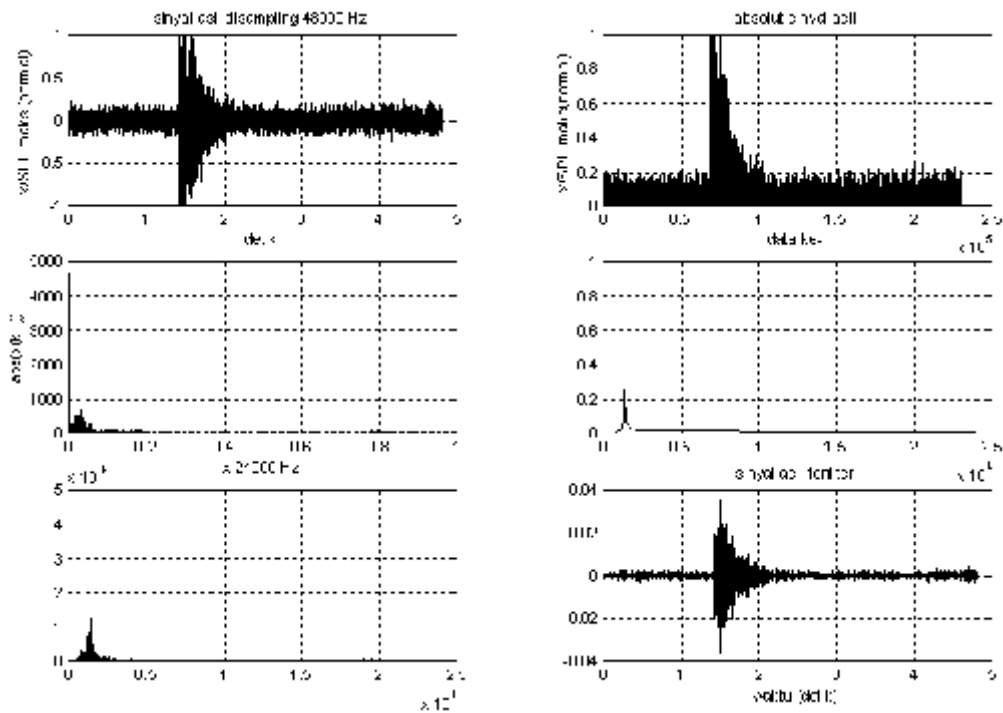
Pengukuran waktu kerdam dalam penelitian ini dilakukan dengan metode respon impuls terintegrasi (*integrated impuls response*) (ISO 3382,1997). Gambar 3 menunjukkan cara pengukuran yang digunakan dalam penelitian ini.

Suara kejutan dihasilkan oleh suara tepukan tangan 1 kali. Data SPL tepukan tangan diukur dengan menggunakan SPLmeter. Mikropon dan *sound card* berfungsi untuk merekam data suara impuls tepukan tangan yang selanjutnya diolah menggunakan komputer. Data rekaman suara tepukan ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 3. Cara pengukuran RT yang digunakan dalam penelitian





Gambar 6. Pengolahan sinyal digital impuls respon.

Urutan gambar yaitu dari kiri ke kanan ( Gb. 6.1 – 6.2) kemudian ke bawah (gb. 6.3 -6.4) dan seterusnya..

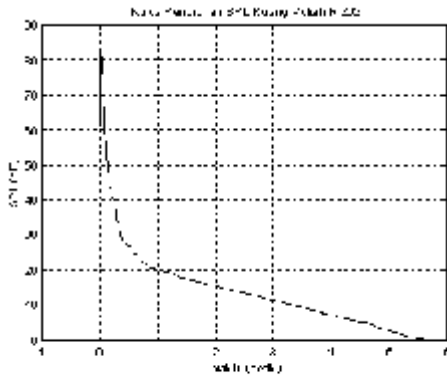
Frekuensi dominan untuk pembicaraan dalam ruangan adalah 500 Hz dan data pengukuran *background noise* menunjukkan frekuensi dominan 500 sampai dengan 1000 Hz. Untuk mendapatkan impuls respon pada frekuensi 500 Hz diperlukan proses filter. Proses filter sinyal ditunjukkan pada Gambar 6.

Gambar 6.1 menunjukkan sinyal suara awal yang diperoleh dari rekaman digital respon impuls tepukan tangan terhadap domain waktu (detik). Gambar 6.2 adalah data absolut nilai sinyal yang akan digunakan untuk menentukan posisi /nomor data dengan nilai sinyal maksimum. Gambar 6.3 merupakan keluaran dari pengolahan FFT untuk menentukan kandungan frekuensi keseluruhan dari sinyal suara awal. Gambar 6.4 menunjukkan karakteristik filter yang digunakan yaitu cheby1 (Matlab). Frekuensi yang diteruskan adalah 500 Hz yang dapat ditentukan dari perhitungan  $0,0208 \times 24000 \text{ Hz} = 500 \text{ Hz}$  (mendekati). Gambar 6.5 menunjukkan hasil pengolahan FFT untuk sinyal yang

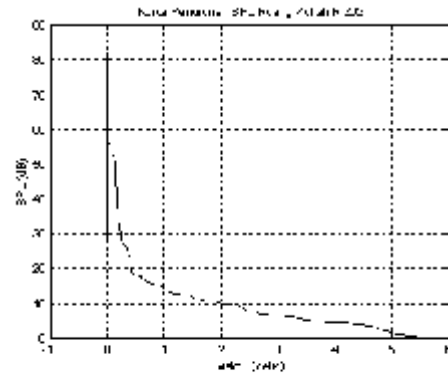
telah difilter. Dapat dilihat bahwa frekuensi dominan yang diteruskan adalah  $0,02 \times 25000 \text{ Hz} = 500 \text{ Hz}$ . Gambar 6.6 menunjukkan sinyal suara frekuensi 500 Hz terhadap domain waktu. Sinyal pada Gambar 6.6 ini menjadi data masukan untuk mendapatkan kurva penurunan SPL yang diperoleh dengan cara *backward integration* (ISO 3382).

Dalam penelitian ini digunakan kriteria RT 30 yaitu waktu kerdam ditentukan berdasarkan penurunan SPL  $-5 \text{ dB}$  dari nilai awal (SPL maksimum dari pengukuran dalam ruangan dengan suara tepukan tangan) sampai dengan  $-30 \text{ dB}$  (ISO 3382). Gambar 7.1 menunjukkan kurva penurunan SPL terhadap waktu untuk sinyal suara awal tanpa filter 500 Hz (data suara Gambar 4.1). Gambar 7.2 adalah kurva penurunan SPL terhadap waktu untuk sinyal suara frekuensi 500 Hz yang diperoleh dari Gambar 6.6. Seperti telah ditunjukkan pada Gambar 5, selanjutnya nilai RT untuk masing-masing ruangan dapat ditentukan.





Gambar 7.1 Kurva penurunan SPL terhadap waktu sinyal impuls awal



Gambar 7.2 Kurva penurunan SPL frekuensi 500 Hz terhadap waktu

## 2. Pengukuran SI Subyektif

*Speech intelligibility* merupakan persentase ucapan pembicara yang dapat didengar oleh rata-rata pendengar dengan jelas dan benar. Penelitian ini mencari data SI secara subyektif yaitu dengan pengambilan data dengan cara angket. Materi angket dapat dilihat pada Lampiran 1. Angket Untuk Staf Pengajar dan Lampiran 2. Angket untuk Mahasiswa. *Speech intelligibility* dihitung berdasarkan

Tabel 2. Perhitungan Skor Angket

Soal	Bobot	Skor	Jawaban	S x J	Bobot x N.item
Soal no.2	30 menit pertama	0,4	0,7	0,28	
	30 menit kedua	0,4	0,7	0,28	
	menit-menit dst	0,3	0,7	0,21	
Nilai item				0,77	0,231
Soal no.3	30 menit pertama	0,4	0,5	0,20	
	30 menit kedua	0,4	0,5	0,20	
	menit-menit dst	0,3	0,7	0,21	
Nilai item				0,61	0,122
Soal no.4	30 menit pertama	0,4	0,7	0,28	
	30 menit kedua	0,4	0,7	0,28	
	menit-menit dst	0,3	0,7	0,21	
Nilai item				0,77	0,385
Nilai mahasiswa					0,738

Untuk angket mahasiswa soal nomor 2 menilai tentang kejelasan suara dosen. Dengan pertanyaan ini dapat diketahui presentase mahasiswa secara subyektif menilai kejelasan suara dosen di dalam ruang kuliah. Hal ini berhubungan dengan SN yaitu SPL suara terhadap *background noise*. Hal ini juga dipengaruhi oleh RT tetapi dalam penelitian ini tidak menunjukkan keadaan yang signifikan.

jenis kegiatan. Contoh perhitungan berdasarkan tabel 2 adalah sebagai berikut:

> Nilai item soal no.4 sebesar 77 %, nilai mahasiswa dari hasil angket sebesar 73,8 %. Jenis kegiatan adalah ceramah dengan lama kegiatan 100 menit, maka diperoleh :  
 > Nilai item no.4 x jenis kegiatan x nilai mahasiswa x lamanya kegiatan = 73,8% x 75 kata/50 menit x 77% x 100 menit = 85,24 kata

$$SI = (85,24 / 150) \times 100\% = 56,83\%$$

Soal nomor 3 menilai pemahaman mahasiswa terhadap ucapan dosen. Dengan pertanyaan ini dapat diketahui presentase mahasiswa secara subyektif paham terhadap ucapan dosen. Hal ini dipengaruhi oleh perhatian mahasiswa dan kependaiannya juga jawaban yang diberikan pada soal angket nomor 2. Soal angket nomor 4 menilai secara langsung SI. Bobot nilai untuk soal ini 50%.

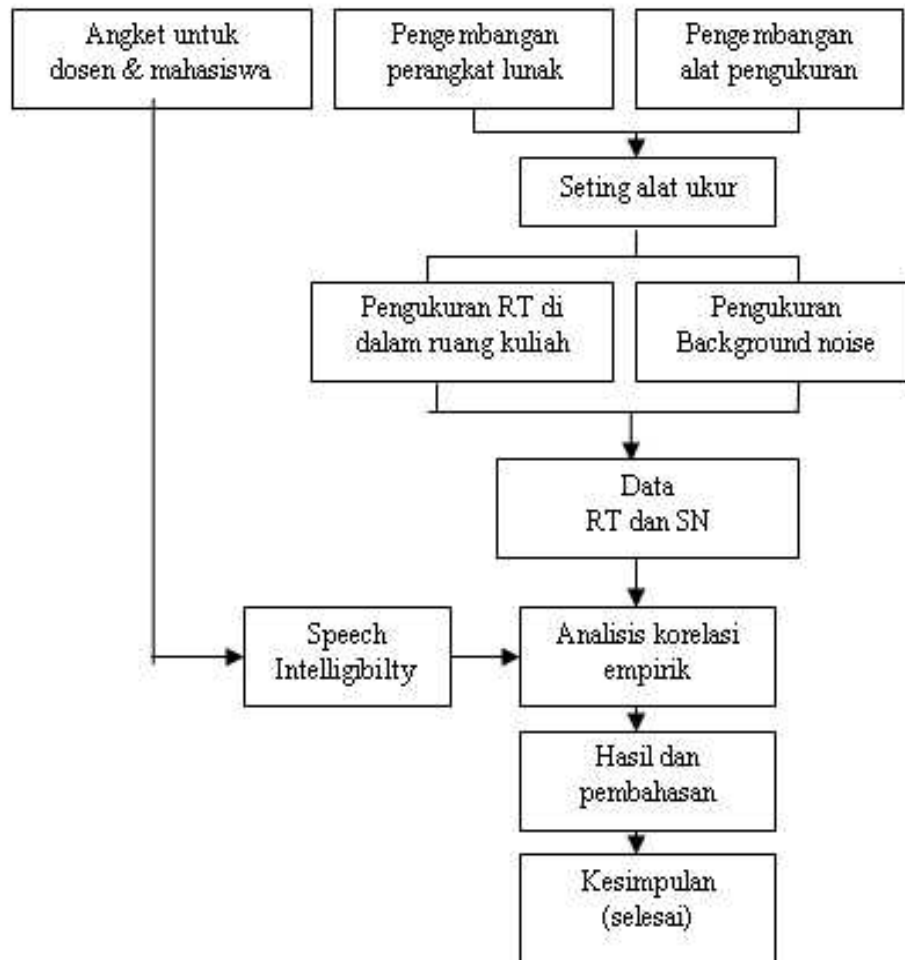
Jawaban soal ini dipengaruhi oleh posisi duduk mahasiswa, SN dan RT.

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 8. Pengembangan perangkat lunak pengukuran RT menggunakan Matlab dan alat ukur adalah Soundcard external USB. Seting alat ukur yaitu melakukan pemeriksaan kepekaan mikropon dan menentukan frekuensi sampling yang sesuai. Dalam tahap ini, hasil data dengan frekuensi sampling 48 kHz dapat diproses dengan baik oleh komputer prosesor AMD Athlon 2,0 GHz. Frekuensi sampling ini telah memenuhi kriteria frekuensi Nyquist yaitu  $f_{\text{sampling}} > 2 \times f_{\text{maksimum}}$  sinyal suara 20 kHz.

Hasil RT pengukuran yang diperoleh dalam penelitian ini dibandingkan dengan hasil perhitungan teoritis dan data-data dari studi pustaka.

Setelah diperoleh data kondisi akustik yaitu RT dan *background noise*

dari ruang-ruang kuliah yang digunakan oleh Jurusan Sastra Inggris Fakultas Sastra dan Seni Rupa UNS serta *speech intelligibility*, penelitian dilanjutkan dengan melakukan analisis empirik. Analisis empirik bertujuan untuk membuat model empirik yang berupa persamaan matematis yang menyatakan bagaimana suatu variabel mempengaruhi respon. Fungsi respon yang sebenarnya tidak diketahui. Penelitian ini menggunakan analisis empirik untuk memberikan pendekatan terhadap fenomena SI yang belum diketahui hubungannya secara eksak dengan RT dan SN. Namun demikian jika penelitian ini dapat dilakukan, maka kecenderungan *speech intelligibility* terhadap kondisi akustik ini dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan ruang kuliah yang berfungsi efektif dalam pelaksanaan proses belajar mengajar.



Gambar 8. Diagram alir penelitian

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 1. RT Teoritis dan RT Pengukuran

Perhitungan RT teoritis berdasarkan persamaan Sabine memerlukan data luasan permukaan dalam ruangan dan koefisien absorpsinya. Tabel 3 menunjukkan nilai koefisien absorpsi rata-rata permukaan-permukaan dalam ruang kuliah R201 Gedung FSSR UNS.

Data RT teoritis untuk kondisi *occupancy* kosong, setengah penuh dan penuh untuk ruang kelas R 201 ditunjukkan pada Tabel 4. Pengukuran RT dengan menggunakan metode impuls

respon memberikan nilai yang rendah, yaitu kurang dari 0,5 kali RT teoritis untuk kondisi *occupancy* penuh (52 orang mahasiswa hadir).

Perbedaan RT teoritis dan RT penelitian ini dapat disebabkan kondisi ruangan kuliah pada saat pelaksanaan perekaman data impuls respon dengan jendela atau pintu yang terbuka, sehingga suara impuls dengan mudah keluar ruangan dan tidak mengalami reverberasi. Namun demikian kondisi ini aktual dengan keadaan kelas pada saat perkuliahan, yaitu tetap membiarkan pintu atau jendela terbuka untuk ventilasi udara.

Tabel 3. Data luasan permukaan dan koefisien absorpsi ruang kelas ukuran sedang  
Volume ruang kelas 382,8 m<sup>3</sup>

No	Komponen	Bahan	Luas (m <sup>2</sup> )	Koefisien absorpsi rata-rata		
				250 Hz	500 Hz	1000 Hz
1	Lantai ruang	Tegel	66	0,03	0,03	0,03
2.	Dinding samping kanan	Bata plester dicat	61,16	0,05	0,06	0,07
3	Dinding samping kiri	Bata plester dicat	36,41	0,05	0,06	0,07
4	Dinding depan	Bata plester dicat	30,96	0,05	0,06	0,07
5	Dinding belakang	Bata plester di cat	34,8	0,05	0,06	0,07
6	Langit-langit	Asbes	66	0,01	0,01	0,01
7	Jendela	Kaca nako dan kaca bening	24,75	0,01	0,01	0,01
8	Pintu	Kayu multiplex	5,28	0,25	0,20	0,17
9	Papan tulis	White board multiplex	3,84	0,20	0,20	0,20
10	Bangku mahasiswa	Kayu standar	@ 0,6 x 52 bh	0,25	0,20	0,17

Tabel 4. RT Sabine dan RT Penelitian

No	Item	250 Hz	500 Hz	1000 Hz
<i>Occupancy</i> : kosong				
1	$S_i$ (m <sup>2</sup> )	0,058	0,0576	0,06
2		20,95	20,76	21,30
3	RT 60 (detik)	2,978	2,879	2,76
<i>Occupancy</i> : setengah penuh				
1	$S_i$ (m <sup>2</sup> )	0,11	0,12	0,13
2		43,05	48,39	52,83
3	RT 60 (detik)	1,44	1,32	1,22
<i>Occupancy</i> : setengah penuh				
1	$S_i$ (m <sup>2</sup> )	0,153	0,179	0,198
2		65,2	76,01	84,35
3	RT 60 (detik)	0,959	0,819	0,741
RT penelitian (metode impuls respon)				
1	RT 30 (detik)	0,45	0,35	0,25
2	RT 30 untuk semua frekuensi (detik)	0,4		

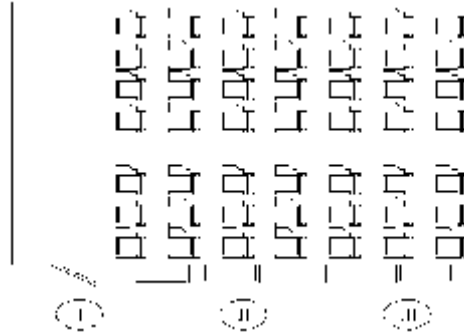
### 2. Pengukuran SN

Data pengukuran SPL *background noise* ditunjukkan pada Tabel 5. SPL *background noise* diukur dari sisi luar ruangan seperti ditunjukkan pada Gambar

9. Sedangkan SPL sinyal suara dosen ditentukan sebesar 56 dB maksimum (Nilai normal SPL untuk *speech* adalah 50 dB sampai dengan 70 dB).

Tabel 5. Pengukuran SPL *background noise* dan perhitungan SN Ruang 201

No	Posisi Pengukuran	dBA	dBC	SPL sinyal (dBA)	SN (dBA)
1	I (depan)	52	56	56	3
2	II (tengah)	52	55	56	3
3	III (belakang)	52	56	56	3



Gambar 9. Posisi pengukuran SPL *background noise* untuk ruang R 201

Dari tabel 1 dan tabel 5 dapat diketahui bahwa *background noise* mempunyai frekuensi dominan sekitar 500 Hz. Sehingga dapat ditentukan bahwa sumber *noise* ini adalah *speech* atau percakapan yang terjadi diluar ruangan kuliah. SN untuk ruang kuliah R 201 ini adalah 3 dB yaitu sumber sinyal mempunyai level suara 3 dB diatas level suara kebisingan dari luar ruang kuliah. Kondisi ini menyebabkan nilai SI yang rendah apabila RT ruangan rendah. Suara dosen tidak akan mencapai mahasiswa yang duduk di bangku deretan belakang.

### 3. Hasil Angket Mahasiswa

Angket dilakukan untuk mendapatkan data subyektif mahasiswa mengenai kejelasan suara dosen, pemahaman ucapan dosen oleh mahasiswa dan apakah mahasiswa dapat mendengar setiap kata yang diucapkan dosen. Pemilihan sasaran angket kepada mahasiswa Jurusan Sastra Inggris dengan

maksud agar dalam penelitian dimungkinkan diperoleh nilai SI yang kritis karena bahasa pengantar dalam kuliah adalah bahasa Inggris yang bukan merupakan bahasa ibu (bahasa indonesia). *Speech intelligibility* yang diperoleh adalah SI dugaan (*assesment*) yang bersifat subyektif karena berdasarkan keadaan dosen dan mahasiswa pendengar. Angket yang diberikan juga bersifat terbuka, karean mahasiswa diperbolehkan untuk memikirkan kembali apa yang telah didengarnya. Metode-metode pengukuran SI subyektif telah banyak dikembangkan, Salah satunya adalah dengan menentukan hubungan SI subyektif dengan *Speech Transmission Index* (STI). Nilai STI berdasarkan analisis sinyal buatan yang menggantikan sinyal suara sebenarnya. Pengukuran SI berdasarkan STI ini akan dilaksanakan pada penelitian-penelitian lanjutan yang lebih canggih. Selanjutnya untuk penelitian ini, hasil angket dapat dilihat pada Tabel 6, 7 dan 8.

Tabel 6. Hasil angket mahasiswa dan SI subyektif ruang R 201

No.	Item	Nilai rata-rata
1	Kejelasan suara dosen	19
2	Pemahaman ucapan dosen oleh mahasiswa	12
3	Mahasiswa dapat mendengar dgn jelas setiap kata (75%)	25
Nilai mahasiswa		56
4	Speech Intelligibility (SI) subyektif	29 %

Tabel 7. Hasil angket mahasiswa dan SI subyektif ruang R 202

No.	Item	Nilai rata-rata
1	Kejelasan suara dosen	17
2	Pemahaman ucapan dosen oleh mahasiswa	10
3	Mahasiswa dapat mendengar dgn jelas setiap kata (75%)	23
Nilai mahasiswa		51
4	Speech Intelligibility (SI) subyektif	25 %

Tabel 8. Hasil angket mahasiswa dan SI subyektif ruang R 204

No.	Item	Nilai (%)
1	Kejelasan suara dosen	24
2	Pemahaman ucapan dosen oleh mahasiswa	14
3	Mahasiswa dapat mendengar dgn jelas setiap kata (75%)	34
Nilai mahasiswa		73
4	Speech Intelligibility (SI) subyektif	51 %

Nilai rata-rata yang dimaksud pada tabel-tabel diatas adalah nilai rata-rata dari persentase bobot x nilai angket seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Jawaban soal angket nomor 4 mengenai apakah mahasiswa dapat mendengar dengan jelas setiap kata yang diucapkan dosen mempunyai bobot 50%. Sehingga berpengaruh pada nilai SI yaitu untuk ruang R 201 : 25% diperoleh SI 29% ,untuk ruang R 202 : 23% diperoleh SI 25% dan untuk ruang R 204 : 34% diperoleh SI 51%..

#### 4. Korelasi Empirik SI dengan SN dan RT

Penelitian dilanjutkan dengan menentukan korelasi empiris antara SI dengan SN dan RT30 untuk frekuensi 500 Hz. Hasil pengukuran SN dan RT untuk tiap ruangan ditunjukkan pada Tabel 8, 9 dan 10.

Berdasarkan tabel 8, 9 dan 10 dapat diketahui bahwa untuk nilai SN yang lebih

tinggi akan diperoleh nilai SI yang lebih tinggi pula. Penelitian ini menunjukkan pengaruh waktu kerdam (RT) terhadap SI tidak begitu signifikan. Hal ini dapat disebabkan oleh metode pengukuran yang dilakukan, kondisi ruangan pada saat pengukuran. Nilai RT dapat berubah cukup besar jika kondisi *occupancy* berubah. Absorpsi suara yang disebabkan oleh pendengar (orang) dapat menurunkan kekuatan medan suara *reverberant* dan melemahkan level suara sinyal. Selain itu kondisi *occupancy* juga mempengaruhi SN dalam ruangan kuliah.

Nilai SI maksimal yang mungkin diperoleh jika seluruh jawaban angket bernilai penuh adalah 81 % ditunjukkan pada lampiran 1. Jadi jika nilai SI sebesar 51 % maka nilai SI tersebut adalah  $51/81 = 0,63$  (63%) dari SI yang terbaik atau SI 100% yang berarti mahasiswa dapat mendengar dengan jelas seluruh ucapan dosen selama perkuliahan berlangsung.

Tabel 8. Data Angket, Nilai SN dan RT ruang R201

No.	Item	Nilai rata-rata	SN	RT <sub>30</sub> 500 Hz
1	Kejelasan suara dosen	0,19	3	0,35 s
2	Pemahaman ucapan dosen oleh mahasiswa	0,12	3	0,35 s
3	Mahasiswa dapat mendengar dengan jelas setiap kata	0,25	3	0,35 s
Nilai mahasiswa		0,56	3	0,35 s
4	“Speech Intelligibility” (SI)	0,29 (29%)	3	0,35 s

Tabel 9. Data Angket, Nilai SN dan RT ruang R202

No.	Item	Nilai rata-rata	SN	RT <sub>30</sub> 500 Hz
1	Kejelasan suara dosen	0,17	3	0,4 s
2	Pemahaman ucapan dosen oleh mahasiswa	0,10	3	0,4 s
3	Mahasiswa dapat mendengar dengan jelas setiap kata	0,23	3	0,4 s
	Nilai mahasiswa	0,51	3	0,4 s
4	“Speech Intelligibility” (SI)	0,25 (25%)	3	0,4 s

Tabel 10. Data Angket, Nilai SN dan RT ruang R204

No.	Item	Nilai rata-rata	SN	RT <sub>30</sub> 500 Hz
1	Kejelasan suara dosen	0,24	4	0,45 s
2	Pemahaman ucapan dosen oleh mahasiswa	0,14	4	0,45 s
3	Mahasiswa dapat mendengar dengan jelas setiap kata	0,34	4	0,45 s
	Nilai mahasiswa	0,73	4	0,45 s
4	“Speech Intelligibility” (SI)	0,51 (51 %)	4	0,45 s

Analisis untuk menentukan persamaan empirik dilakukan dengan terlebih dulu menyusun persamaan linier yang menghubungkan SN dan RT dengan SI. Penelitian yang dilakukan telah memberikan 3 pasang data untuk menentukan 2 buah koefisien sehingga diperoleh sistem persamaan yang *overdetermined*. Dengan metode matrik dapat ditentukan koefisien-koefisien tersebut dengan mudah. Jika ditentukan besarnya kontribusi SN dan RT terhadap

nilai SI prediksi adalah sama maka diperoleh persamaan :

$$SI (\%) = 0,2774 SN + 0,2774 RT_{30} (500 \text{ Hz}) - 69,258\%$$

Faktor koreksi -69,258 % diperoleh dengan cara *trial & error* seperti ditunjukkan pada lampiran 10 Perhitungan Matlab untuk meentukan koefisien SN dan RT. Tabel 11 menunjukkan selisih SI yang diperoleh dari persamaan diatas dengan SI hasil angket.

Tabel 11. SI Angket dan SI Empiris

Pengukuran			Model Empirik	Selisih
SN	RT	SI	SI	
3.	0.35	0.287	0.237	-0.050
3.	0.4	0.248	0.251	0.003
4.	0.45	0.511	0.542	0.031

## KESIMPULAN

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan korelasi empirik antara SI dengan SN dan RT untuk ruang-ruang kuliah Jurusan Sastra Inggris FSSR UNS. Kuantitas akustik SN dan RT ditentukan dengan cara pengukuran. Nilai SN dan RT yang diperoleh digunakan untuk menyusun persamaan empiris yang menghubungkan SI dengan SN dan RT. Persamaannya

adalah  $SI (\%) = 0,2774 SN + 0,2774 RT_{30} (500 \text{ Hz}) - 69,258 \%$ . Penerapan persamaan ini adalah jika diinginkan persentase SI yang tinggi maka harus mengusahakan SN yang tinggi, yaitu suara dosen harus lebih tinggi sekitar 5 – 10 dB dari SPL *background noise*. Nilai RT untuk ruang-ruang kuliah adalah antara 0,4 - 0,5 detik (*Classroom acoustics booklet, Acoustical Society of America*). Nilai RT ini dapat

dinaikkan dengan menambahkan permukaan pemantul suara di dinding depan ruangan kelas (Kahn dan Tichy, 1984).

Pengukuran RT dengan metode impuls respon telah digunakan dalam penelitian ini. Pelaksanaan pengukuran berdasarkan standar ISO 3382 1997 : *Acoustics – Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters*. Metode *backward integration* digunakan untuk mendapatkan kurva penurunan SPL terhadap waktu berdasarkan data rekaman impuls respon.

Seperti telah ditekankan dalam penelitian ini, SI merupakan kriteria akustik untuk ruang kuliah yang penting. Jika nilai SI sebesar 75% ,dapat dikatakan untuk setiap dosen mengucapkan satu kalimat yang terdiri dari empat kata (SPOK) maka mahasiswa dapat mendengar kalimat tersebut terdiri dari tiga kata. Kondisi ini akan menurunkan mutu proses belajar mengajar dalam ruang kuliah dan menimbulkan kesulitan belajar bagi mahasiswa. Dengan demikian hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai alasan untuk meningkatkan efektifitas kegiatan dalam ruang kuliah pada khususnya dan memajukan proses belajar mengajar di perguruan tinggi pada umumnya.

#### **UCAPAN TERIMAKASIH**

Peneliti mengucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada semua pihak yang memberi bantuan untuk terselenggaranya penelitian ini. Penelitian ini dibiayai oleh Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional, sesuai dengan surat perjanjian pelaksanaan pekerjaan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat nomor 033/SPPP/PP-PM/DP3M/IV/2005 tanggal 11 April 2005

#### **DAFTAR PUSTAKA**

Akil, Husein A., 1996, *Pengembangan sistem pengukuran waktu dengung (reverberation time) dengan komputer PC dan menggunakan sumber suara kejut*

(*impulse sound*), Jurnal PPI-KIM 1996 ISSN 0852-002 X, Puslibang KIM-LIPI Puspipstek Serpong Tangerang

Hidajat, R. Lullus Lambang G., 2002, *Analisis Reverberation Time Ruang Auditorium Graha Sabha Pramana Universitas Gadjah Mada dengan pemodelan akustik skala 1 : 20*, Prosiding Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri, ISBN. 979-96890- 0-7, Yogyakarta

Hodgson, Murray., 2000, *Empirical Prediction of Speech Levels and Reverberation in Classrooms.*, Building Acoustics, Volume 8, number 1, 2001 pp 1 - 14

ISO 3382, 1997, *Acoustics – Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters*, second edition, International Organization for Standardization

Kahn, David W., Tichy, Jiri., 1986, *An investigation of the sound field above the audience in large lecture halls with scale model*, J. Acoustical Society of America 80 (3), pages 815-827

Kuttruff, Heinrich., 1979, *Room Acoustics*, second edition., Applied Science Publisher Ltd. London

Steeneken, Herman J.M, *TNO Human Factors*, Sosterberg, *The Measurement of Speech Intelligibility*, internet

# TEKNOLOGI PIROLISIS SEBAGAI SALAH SATU ALTERNATIF BAHAN BAKAR TERBARUKAN

Syamsul Hadi <sup>1</sup>

Abstrak: Since the global energy crises there has been a trend towards use of alternative energy sources to replace fossil fuel worldwide . The fuel potential of many waste, biomass, and poor coals is a valuable resource and considerable interest has been devoted to it recently to exploit its potential. However, it has been found out that the energy content that could be practically recovered from that source would be a small percentage of the total energy required in any nation. This suggests that energy recovery from alternative source will only serve as a supplement to the total energy required. Pyrolytic technology among other methods is a way of harnessing the energy in these alternative sources, providing a good method without affecting the ecological system.

Kata Kunci: Pyrolysis

## PENDAHULUAN

Pirolisis biomassa merupakan salah satu teknologi alternatif yang dikembangkan untuk mengisolasi senyawa kimia yang kemudian dapat dikonversi menjadi sumber energi hidrokarbon alternatif. Dengan menggunakan proses pirolisis, kayu yang mengandung selulose mengalami degradasi lignin sebagai akibat dari kenaikan temperatur sehingga dihasilkan senyawa-senyawa karakteristik sesuai dengan jenis kayu. Pada umumnya metode optimasi pirolisis dilakukan sesuai dengan tujuan pirolisis, apakah untuk menghasilkan biofuel (hidrokarbon non aromatik) atau menghasilkan senyawa aromatik. Pada proses-proses tersebut, sangat penting dikaji variasi laju pemanasan pirolisis karena laju pemanasan ini merupakan salah satu parameter penting dalam proses pirolisis. Perbedaan laju pemanasan dapat menentukan distribusi senyawa atau komponen biofuel sehingga berpengaruh pula terhadap reaksi yang terlibat dalam proses.

Analisis Termogravimetri adalah teknik analisis yang biasa digunakan untuk bahan polimeric. Percobaan tersebut tergolong sederhana yaitu sejumlah sampel, dalam kisaran miligram, ditempatkan dalam suatu tempat, kemudian diukur beratnya ketika suhu dinaikkan secara konstan. Prosedur penelitian ini dilakukan di kondisi atmosfer yang diam ( $N_2$ ), meskipun secara prinsip gas lainnya juga bisa digunakan. Ketika sampel dipanaskan, sampel tersebut akan

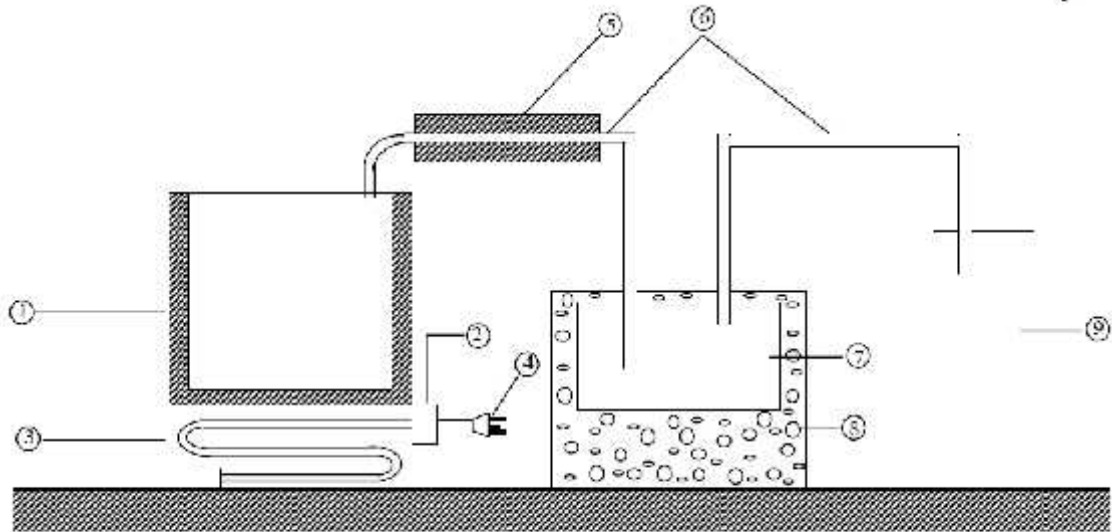
---

<sup>1</sup> Staff Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-Universitas Sebelas Maret Surakarta



berubah secara kimiawi, dan komponen penyusunnya akan menyusut. Jumlah degradasi volatile dan heat-induced dari polimer akan didapatkan.

Differential scanning calorimetry adalah teknik lain yang lebih powerful. Sampel dan sampel referensi ditempatkan pada tempat dan pemanasan terpisah. Daya yang digunakan untuk menjaga sampel dan referensi pada suhu tertentu di monitor. Dengan demikian perubahan entalpi karena transformasi sample, seperti pelelehan atau glass transitions dapat didapatkan. Secara garis besar model peralatan penelitian untuk pirolisis adalah seagai berikut:



1 Fibre glass; 2 Temperature control unit; 3 Heating element; 4 Power source; 5 Lagging; 6 Copper pipes; 7 Condensate receiver; 8 Ice; 9 Gas holder.

Gambar 1. Skema alat penelitian (Goerner, 2003)

## TINJAUAN PUSTAKA

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bamgboye (2005) melakukan percobaan dengan metode pirolisis pada bahan baku limbah padat sampah pemukiman (Municipal Solid Waste/MSW) untuk memproduksi bahan bakar dan mengurangi limbah tersebut. Dari fakta bahwa di Nigeria setiap tahun dihasilkan MSW sebesar  $29,78 \times 10^9$  kg, dan dengan sebagian besar terdiri dari kertas, plastik, besi, dan lainnya (Ojolo, 2004), serta penanganan yang dilakukan dengan cara penimbunan (sanitary landfill) yang berpotensi mengganggu kesehatan lingkungan dan boros, memberikan alasan yang kuat bagi Bamgboye melakukan penelitian tersebut. Penelitian yang dilakukan adalah dengan mula-mula melakukan menjemur MSW selama 4-6 jam perhari selama 8 hari untuk mengurangi kandungan air sampai 8-10%. Kemudian Bamgboye menggiling MSW sehingga menjadi partikel dan memasukkannya sebanyak 12 kg ke reactor selama 4 jam pada suhu  $400-650^{\circ}\text{C}$ , serta laju pemanasan sebesar 1 s/g. Hasil yang didapatkan, yang berupa minyak, gas, dan char, diukur berat dan volumenya. Hasil pyrogas tersebut kemudian dianalisis sifat mampu bakarnya dengan burner Bunsen, sedangkan semua hasil diuji kandungan energy dengan formula Doulong Peti. Dari hasil analisis yang dilakukan didapatkan data bahwa dari setiap kg MSW didapatkan sebesar 0,25 kg char, 0,52 kg minyak, dan 1,09 lt pyrogas (Tabel 1). Sedangkan energy yang

terkandung dari setiap hasil adalah minyak sebesar 151,66 MJ atau 59,61% energy dari MSW dan char sebesar 89,89 MJ atau 35,33% energy dari MSW (Tabel 2). Dari penelitian juga didapatkan pengurangan volume yang terjadi selama proses pirolisis yaitu sebesar 65,79%, dan char sebesar 25% yang kemudian dapat digunakan sebagai bahan bakar (refuse-derived-fuel/RDF) seperti batubara, lihat di tabel 3.

Table 1. Products of MSW pyrolysis

Exp. No.	Wt. of MSW (kg)	Wt. of char (kg)	Wt. of tar oil (kg)	Vol. of nitrogen (l)	Operating temp. (°C)
1	10.0	2.5	5.27	0.92	500
2	11.0	2.8	5.92	0.96	550
3	12.0	3.0	5.25	1.02	600
4	12.5	3.1	5.48	1.20	600
5	13.5	2.5	5.85	1.50	650
Ave.	11.8	2.98	5.15	1.02	

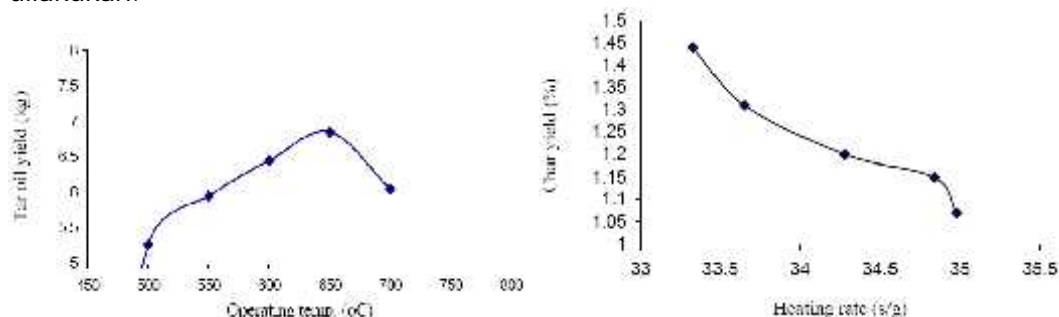
Table 2. Energy content in the products of pyrolysis, MJ

Exp. No.	Energy cont. in char (MJ)	Energy cont. in Tar oil (MJ)	Energy content in nitrogen (MJ)
1	78.40	130.17	3.37
2	81.45	116.22	3.14
3	90.48	153.38	4.15
4	93.50	138.32	4.15
5	105.56	169.20	4.76
Ave.	89.89	151.66	4.03

Table 3. MSW volume reduction after pyrolysis

Exp. No.	Duration (hr)	Operating temp. (°C)	Quantity of MSW (kg)	Residence time per unit weight (s/g)	% waste vol. Red. (v/v)
1	4	500	10.0	1.44	66.67
2	4	550	11.0	1.31	66.35
3	4	600	12.0	1.20	65.72
4	4	600	12.5	1.15	65.76
5	4	650	13.5	1.07	65.02
Ave.				1.00	65.79

Sedangkan hasil penelitian tentang pengaruh perubahan suhu terhadap tar yang dihasilkan ditunjukkan pada grafik di bawah ini. Hasil penelitian menyatakan bahwa semakin tinggi suhu akan semakin banyak tar yang dihasilkan, tetapi pada suhu 650°C hasil tar tersebut akan turun dan mencapai penurunan sebesar 11,8% pada suhu 700°C. Juga dinyatakan bahwa pembentukan char akan naik seiring dengan turunnya laju pemanasan yang dilakukan.



Gambar 2. Pengaruh suhu terhadap minyak tar dan dan laju pemanasan terhadap char (Bamgboye, 2005)

Penelitian lainnya dilakukan oleh Wahi dkk (2006) dengan menggunakan pirolisis microwave pada suhu rendah. Penelitian ini juga menganalisis limbah

pemukiman tapi berbentuk cair. Penelitian dilakukan dengan peralatan fluidized bed pyrolysis seperti skema seperti gambar berikut:

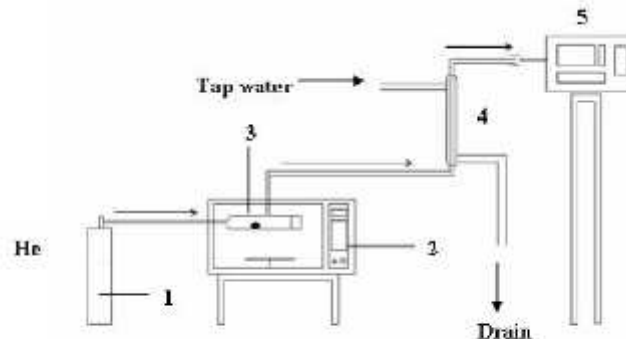


Figure 1: Schematic diagram of fluidized bed pyrolysis of sewage sludge system. 1) Helium gas tank, 2) microwave oven, 3) quartz reactor, 4) condenser, and 5) gas analyzer.

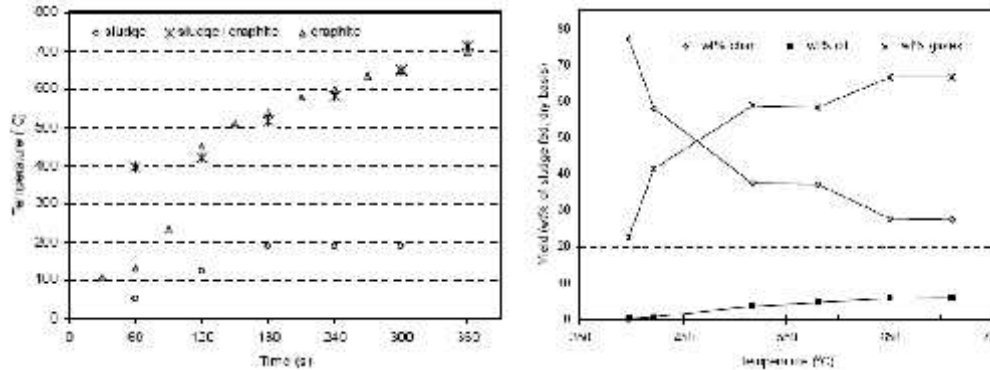
Gambar 3. Skema penelitian (Wahi, 2006)

Bahan dasar penelitian diteliti dengan analisis proksimat dan ultimat dengan hasil sebagai berikut:

<b>Proximate analysis (wt%)</b>	
Moisture (as fed)	50.41
Ash (dry basis)	30.83
Volatile matter (dry and ash free basis)	54.70
Fixed carbon (dry and ash free basis)	14.17
<b>Ultimate analysis (wt%, dry and ash free basis)</b>	
C	33.79
H	5.35
N	5.74
S	0.03
O (by difference)	54.18
<b>Calorific value (kJ/kg, dry basis)</b>	<b>12.365</b>

Langkah percobaan adalah sebagai berikut: mula-mula limbah cair dicampur dengan tepung graphite sebanyak 5 wt%. Tepung graphite digunakan dengan alasan mudah dalam proses pencampuran dan menghasilkan pemanasan yang seragam serta menghindari titik panas pada awal proses pemanasan. Kemudian 30 gram sampel dimasukkan di reactor quartz yang ada di dalam microwave. Reaktor berukuran diameter 50 mm dan panjang 200 mm, dengan diameter dalam quartz 13 mm untuk masuk dan keluar gas. Daya microwave yang digunakan adalah 700 W, frekuensi 2,45 MHz, serta gas Helium digunakan untuk menghasilkan efek hampa udara dialirkan 100 ml/menit selama 10 menit. Percobaan dilakukan selama 1, 2, 3, 4, 5, 6 menit untuk tiap sampel. Gas hasil pirolisis dianalisis dengan MRU Air Fair Emission Monitoring System: Exhaust Gas Analyzer DELTA 1600L. Sedangkan suhu sampel selama percobaan dimonitor oleh termometer infra merah Raytek Raynger ST80. Dari hasil penelitian didapatkan data pengaruh waktu pemanasan terhadap suhu sampel antar limbah murni, limbah dengan campuran graphite, dan graphite murni. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penambahan sedikit graphite maka pirolisis limbah mampu dilakukan. Sedangkan hasil pirolisis menunjukkan bahwa kenaikan suhu

akan meningkatkan prosentase hasil berupa gas, menurunkan hasil berupa char sampai mencapai 27,7 wt%, dan menaikkan hasil berupa minyak.



Gambar 4. Pengaruh waktu terhadap suhu dan pengaruh suhu terhadap produksi char, tar, dan gas

Analisis ultimat terhadap minyak hasil pirolisis menunjukkan hasil sebagai berikut:

Ultimate analysis (wt%, dry and ash free basis)	
C	52.52
H	6.47
N	1.47
S	0.56
O (by difference)	39.09
Calorific value (kJ/kg, dry basis)	
	28.852

Skodras dkk (2006) melakukan penelitian tentang pirolisis batu bara bermutu rendah untuk memproduksi bahan bakar yang lebih ramah lingkungan. Batubara yang diteliti adalah lignit Yunani Ptolemais, lignit Bulgaria Elhovo, dan batubara Australia. Sampel dipanaskan sampai 105°C dalam atmosfer N<sub>2</sub> selama 24 jam, dan diayak sampai 150-250m. Hasil analisis proksimat dan ultimat dijabarkan pada tabel berikut.

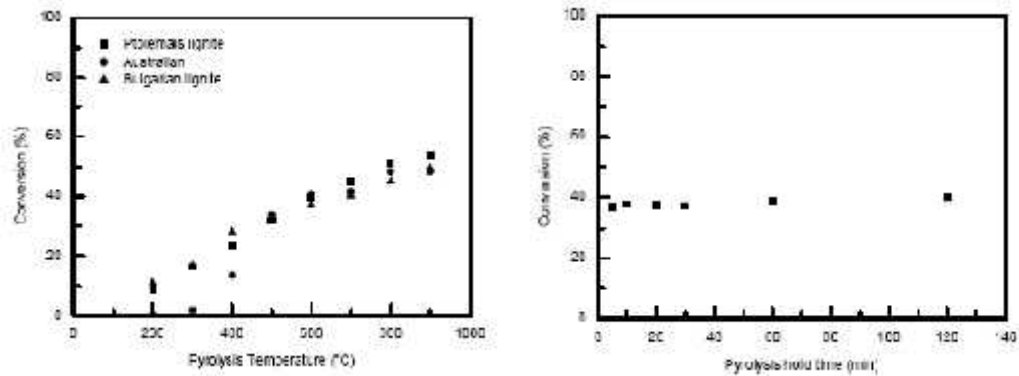
Samples	Proximate analysis (wt% dry basis)				Ultimate analysis (wt% db)				Cl (µg g <sup>-1</sup> )	Hg (µg g <sup>-1</sup> )
	Moisture	V.M. <sup>a</sup>	F.C. <sup>b</sup>	Ash	C	H	N	S		
Ptolemais	55.02	44.04	35.17	19.99	40.55	4.17	1.40	0.72	129.2	0.105
Bulgarian	53.27	45.73	21.74	15.20	42.83	3.91	0.60	0.68	148.3	0.380
Australian	2.47	40.93	47.09	11.88	71.60	5.42	1.57	2.60	179.5	0.370

<sup>a</sup> Volatile matter, <sup>b</sup> Fixed Carbon

Pirolisis dilakukan pada fixed bed reactor pada tekanan ruangan dibawah aliran Helium antara suhu 200-900°C selama 5-120 menit. Analisis proksimat menggunakan metode ASTM D 3172-89, analisis gas C, N, H, dan S dengan ThermoFinnigan CHNS EA1112, analisis kandungan Chlorine dan merkuri di char dengan metode ASTM D 4208-88 dan EPA 7471A, serta tes termogravimetri dengan menggunakan SDTQ600. Semua sampel dipanaskan dengan laju pemanasan konstan 20°C/min dari temperatur lingkungan ke 1000°C dengan aliran udara konstan 100 ml/min.

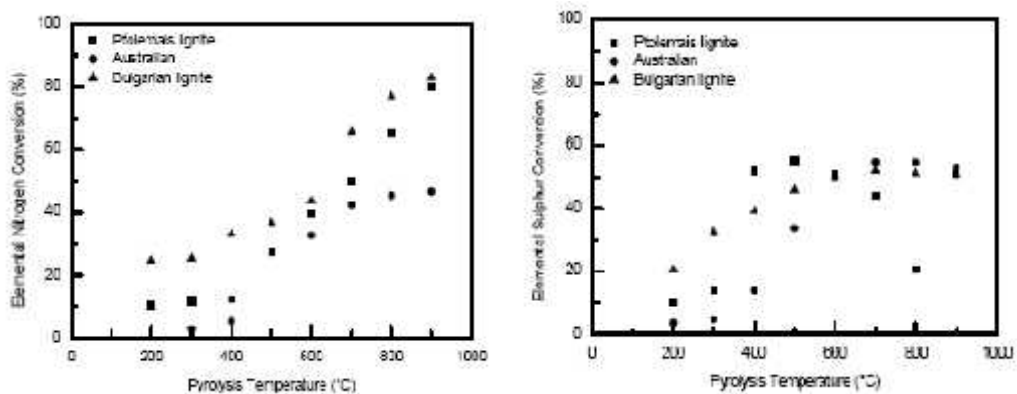
Hasil penelitian menunjukkan pengaruh temperature terhadap konversi char seperti gambar 5 di bawah. Untuk semua sampel saat suhu naik terjadi kenaikan konversi char dan menjadi konstan setelah mencapai suhu 450°C. Sedangkan efek residence time untuk batubara Ptolemais pada suhu 600°C dan

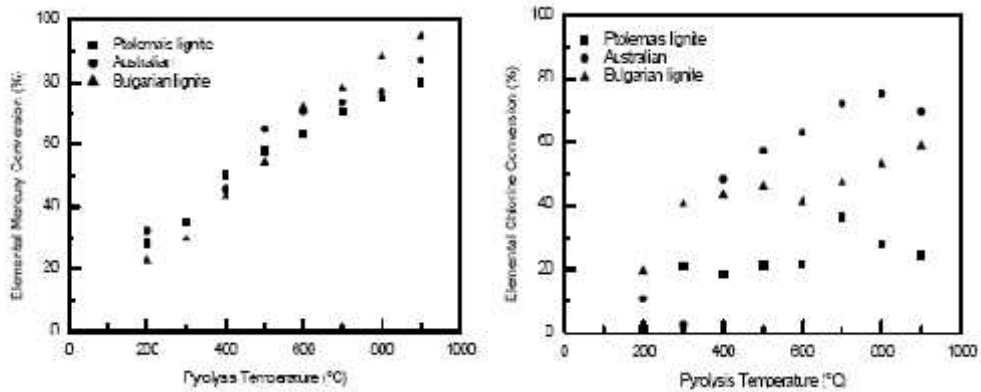
berbagai variasi waktu (5-120 menit) menunjukkan terjadinya penurunan massa tetapi hanya kecil yang membuktikan bahwa proses pirolisis sudah selesai pada waktu awal proses. Dan efek waktu karbonisasi tidak mempengaruhi pembentukan elemen polutan.



Gambar 5. Pengaruh suhu dan holding time terhadap produksi

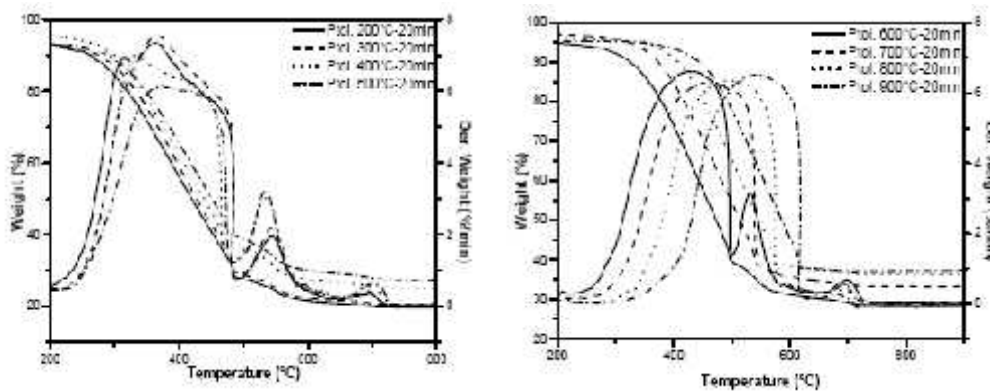
Hasil penelitian Skodras juga menunjukkan nitrogen, sulfur, merkuri dan klorin yang dihasilkan sebagai hasil pirolisis dalam gambar 6 berikut. Pada suhu rendah pembentukan nitrogen hanya sedikit (kurang dari 10%) dan meningkat pada kenaikan suhu. Diantara 500-600°C sekitar 30-45% nitrogen dihasilkan pada suhu karbonisasi rendah, sehingga mengurangi resiko pembentukan NOx selama pembakaran batubara. Pada suhu pirolisa rendah pembentukan sulfur juga rendah dan meningkat sejalan dengan kenaikan suhu. Untuk lignit Ptolemias pembentukan sulfur naik secara kontinyu sampai suhu 400°C dan konstan pada suhu 450-550°C. Sedangkan pada lignit Bulgaria dan Australia pembentukan sulfur konstan pada suhu 600°C. Pembentukan merkuri naik secara linear bersamaan dengan kenaikan suhu pirolisis dan mencapai hasil maksimal pada suhu tinggi (lebih dari 70% di atas suhu 800°C). Pada lignit Bulgaria terbentuk 40-50%, sedangkan Australia terbentuk 55-65% pada suhu 400-700°C. Proses pirolisis memberikan solusi untuk mencegah





Gambar 6. Pengaruh suhu terhadap pembentukan Nitrogen, Sulfur, Merkuri, dan Klorin

Penelitian Skodras menunjukkan juga oksidasi char yang terjadi akibat pengaruh suhu.



Gambar 7. Pengaruh suhu terhadap oksidasi char

Tsamba dkk (2006) melakukan penelitian pirolisis untuk Coconut Shell/CcNS (dari pohon *Anacardium occidentale* L) dan Cashew Nut / CNS (dari pohon *Cocos nucifera* L) didegradasi secara termal dengan menggunakan termogravimetri dan meneliti karakteristik profil devolatisasi dan analisa kinetika dari suhu 250-900°C pada variasi laju pemanasan.

Percobaan dilakukan dengan mula-mula memperkecil bentuk sampel CNS dan CcNS sampai ukuran 15 mg (tidak seragam). Dengan menggunakan termogravimetri terprogram SETARAM 92(TG), aliran gas Argon 50 ml/min, dan perlakuan suhu sebagai berikut: dari suhu lingkungan dinaikkan sampai 110°C dengan laju pemanasan 10°C/min untuk mengeringkan sampel, kemudian dinaikkan suhunya ke 990°C untuk proses pirolisis pelepasan volatilitas dengan laju pemanasan 5, 10, 20, 40, dan 50°C/min, dan terakhir transformasi isothermal pada 900°C selama 10 menit untuk proses produksi char dan devolatisasi lanjut, maka laju dan total pengurangan massa dapat diukur sebagai fungsi suhu dan waktu.

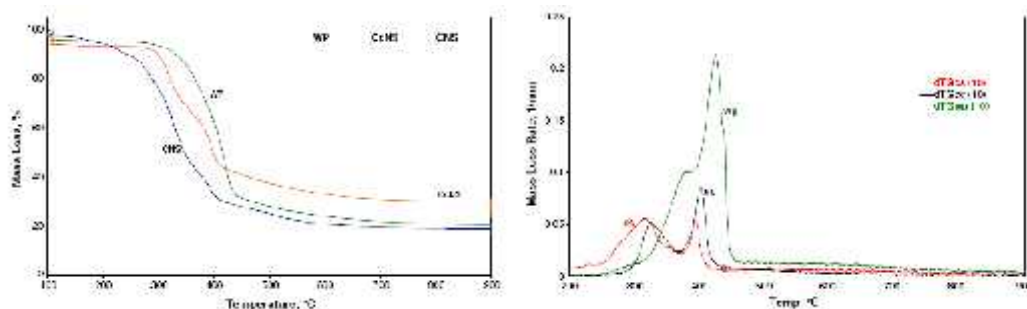
Tabel berikut menyatakan hasil analisis proksimat dan ultimat sampel biomass yang diteliti. Kandungan hidrokarbon yang tinggi dan oksigen yang

rendah serta heating value dan densitas yang tinggi merupakan karakteristik biomassa dibandingkan dengan wood pellet (WP). Karbon dan hidrogen merupakan indikasi hidrokarbon yang dilepaskan selama proses pirolisis. Juga dengan kandungan oksigen yang tinggi mengindikasikan kandungan energi HHV yang rendah. Perbedaan ini memainkan peranan yang penting selama proses pirolisis, serta gas dan char yang dihasilkan.

*Proximate and ultimate analysis of the biomass samples studied in the present work*

Biomass type	Ultimate analysis (db, % w/w)							Prox. analysis (db, % w/w)			HHV, MJ/kg	Density, kg/m <sup>3</sup>
	C	H	N	O	S	Cl	Tr. El	Volat	Fix-C	Ash		
Coconut shells	53.9	5.7	0.1	39.44	0.00	0.12	0.72	74.9	24.4	0.7	20.515	1070
Cashew nut shells	58.3	7	0.7	32.95	0.05	0.03	1.56	81.8	17.3	0.9	24.051	1412
Wood pellets	50.9	6.2	0.2	42.06	0.01	0.02	0.61	81.2	15.1	0.6	20.265	554

Gambar 8 menunjukkan pengurangan massa untuk sampel kering di atas 100°C dengan laju panas 10°C/min. Kandungan massa volatil WP di atas CcNS tapi lebih rendah bila dibandingkan dengan CNS. Sedangkan pada interval suhu 247-420, 280-415, dan 260-450°C pengurangan massa yang terjadi sebesar 77%, 75%, dan 70%.



Gambar 8. Pengaruh suhu terhadap pengurangan massa

## KESIMPULAN

Dari beberapa penelitian yang sudah dilakukan di atas dapat diambil kesimpulan bahwa perkembangan penelitian untuk menghasilkan energy alternative dari teknologi pirolisis mempunyai prospek yang cerah. Dengan beberapa teknik yang sudah disajikan di atas perlu dilakukan penelitian yang menggunakan bahan baku yang ada di sekitar kita sehingga dapat meningkatkan pengetahuan akan energy alternatif dari proses pirolisis.

## DAFTAR PUSTAKA

- AJ. Tsamba, W. Yang, dan W. Blasiak, 2006, Pyrolysis characteristics and global kinetics of coconut and cashew nut shells, *Fuel Processing Technology* 87 p 523–530, Royal Institute of Technology, School of Industrial Engineering and Management, Department of Materials Science and Engineering, Division of Energy and Furnace Technology; Brinellvägen 23, SE-100 44, Stockholm Sweden
- G. Skodras, P. Natas, P. Basinas, dan G.P. Sakellariopoulos, 2006, Effects of Pyrolysis Temperature, Residence Time on The Reactivity of Clean Coals Produced From Poor Quality Coals, *Global NEST Journal*, Vol 8, No 2, pp 89-94, 2006
- Goerner, K., 2003, Waste Incineration European State of The Art and New Developments, *IFRF Combustion Journal*, July 2003, ISSN 1562-179X.

- R. Wahj, A. Idris, M.A.Mohd. Salleh dan K. Khalid, 2006, Low-Temperature Microwave Pyrolysis of Sewage Sludge, International Journal of Engineering and Technology Vol. 3 No.1 pp. 132-138 ISSN 1823-1039
- S. Ojolo and A. Bamgboye, 2005, Thermochemical Conversion of Municipal Solid Waste to Produce Fuel and Reduce Waste, Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal Vol. VII, Manuscript EE 05 006. September, 2005.