



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGUJIAN *PROTOTYPE* DIGESTER ANAEROB TIPE *PLUG-FLOW*
DAN ANALISA REAKSI PEMBENTUKAN BIOGAS MELALUI
SIMULASI *SOFTWARE CFD*SOF**

SKRIPSI

**ADHI WASKITAJATI
0806368300**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JUNI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGUJIAN *PROTOTYPE* DIGESTER ANAEROB TIPE *PLUG-FLOW*
DAN ANALISA REAKSI PEMBENTUKAN BIOGAS MELALUI
SIMULASI *SOFTWARE* *CFDSOF***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**ADHI WASKITAJATI
0806368300**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JUNI 2011**

Universitas Indonesia

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

**PENGUJIAN *PROTOTYPE* DIGESTER ANAEROB TIPE *PLUG-FLOW*
DAN ANALISA REAKSI PEMBENTUKAN BIOGAS MELALUI
SIMULASI *SOFTWARE* *CFDSOF***

yang dibuat untuk melengkapi sebagai persyaratan menjadi sarjana teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah di publikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Skripsi ini merupakan bagian yang dikerjakan bersama saudara Andianto (0806368326) dengan judul **ALIRAN *SLURRY* DI DALAM DIGESTER BIOGAS TIPE ALIRAN KONTINYU**. Sehingga harap maklum jika ada beberapa bagian dari buku ini ada kesamaan dengan skripsi tersebut.

Nama : Adhi Waskitajati

NPM : 0806368300

Tanda Tangan :



Tanggal : 27 Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Adhi Waskitajati

NPM : 0806368300

Program Studi : Teknik Mesin

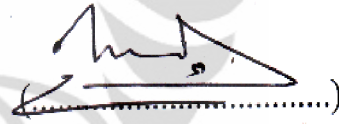
Judul Skripsi :

**PENGUJIAN *PROTOTYPE* DIGESTER ANAEROB TIPE *PLUG-FLOW*
DAN ANALISA REAKSI PEMBENTUKAN BIOGAS MELALUI
SIMULASI *SOFTWARE CFD***

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Ahmad Indra Siswantara



Penguji : Prof. Dr. Ir. Budiarmo, M.Eng



Penguji : Dr. Ir. Engkos A. Kosasih, MT



Penguji : Dr.Eng. Ir. Warjito, M.Eng



Ditetapkan di : Universitas Indonesia, Depok

Tanggal : 27 Juni 2011

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis mendedikasikan skripsi ini untuk Ayahanda, Ibunda dan keluarga tercinta atas segala do'a, kesabaran, dan dukungannya yang berlimpah selama penulis menempuh pendidikan.

Telah banyak tenaga, pikiran dan waktu yang penulis curahkan untuk menyelesaikan skripsi ini dan banyak pula bantuan-bantuan dari pihak-pihak yang dengan ikhlas membantu terselesaikannya skripsi ini. Penghargaan yang tinggi serta ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis ditujukan kepada :

- 1) Dr. Ir. Ahmad Indra Siswantara, selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai tersusun.
- 2) Seluruh staf pengajar Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia yang telah memberikan ilmunya, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dengan ilmu yang telah didapat.
- 3) Seluruh staf karyawan Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia yang telah membantu menyediakan sarana dan prasarana untuk penulis dalam melakukan kegiatan penelitian.
- 4) Andianto, Abdul Rachman dan rekan-rekan satu bimbingan yang telah bekerja sama dengan baik selama pengerjaan skripsi ini.
- 5) Gangka Kobo dan Iquebar Changcuy untuk *printing support*, Yuda dan Raksa untuk perlengkapan sidang.
- 6) Raksa Aulia sahabat sejak SMA dan teman-teman KOPASKONG atas kebersamaan serta kekompakannya baik dalam keadaan suka dan duka.
- 7) Seluruh teman seperjuangan PPSE T. Mesin 2008 atas do'a dan kerjasamanya yang baik selama menjalani perkuliahan sampai skripsi ini selesai tersusun.

Depok, 11 Juni 2011

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Adhi Waskitajati
NPM : 0806368300
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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


PENGUJIAN *PROTOTYPE* DIGESTER ANAEROB TIPE *PLUG-FLOW* DAN ANALISA REAKSI PEMBENTUKAN BIOGAS MELALUI *SIMULASI SOFTWARE CFD*

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

Demikian Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 27 Juni 2011

Yang menyatakan,



(Adhi Waskitajati)

ABSTRAK

Nama : Adhi Waskitajati
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Pengujian Prototype Digester Anaerob Tipe *Plug-Flow* Dan Analisa Reaksi Pembentukan Biogas Melalui Simulasi *Software CFDSOF*.

Cadangan energi primer yang terus menipis mendorong manusia untuk berusaha mencari sumber energi lain sebagai penggantinya. Energi alternatif sebagai energi yang mampu diperbarui diharapkan dapat menjadi solusi untuk diversifikasi bahkan menjadi pengganti sumber energi primer seperti bahan bakar minyak. Salah satu pemanfaatan energi alternatif adalah konversi biomassa menjadi biogas yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar. Untuk mengaplikasikan energi alternatif tersebut, dalam penelitian ini dilakukan pembuatan *prototype*, pengujian dan simulasi pada satu digester anaerob sebagai alat utama penghasil biogas. Tujuannya adalah ingin mengetahui berapa banyak biogas yang mampu dihasilkan oleh alat uji dan mensimulasikan reaksi kimia yang terjadi di dalam digester serta mempelajari faktor-faktor yang mempengaruhinya. Pengujian dilakukan dengan memberikan input *slurry* dengan substrat eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) sebanyak $4 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{hari}$ pada temperatur 29°C dengan periode *hydraulic retention time* 40 hari. Pada pengujian di peroleh volume biogas total yang dihasilkan sebesar $461 \times 10^{-3} \text{ m}^3$. Sedangkan pada simulasi CFD dilakukan simulasi reaksi $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ menjadi CH_4 dan CO_2 . Hasil yang diperoleh pada simulasi menunjukkan bahwa fraksi massa untuk CH_4 dan CO_2 yang diperoleh masing-masing sebesar 0,2477 dan 0,7129. Selisih fraksi massa antara CH_4 dan CO_2 secara teoritis terhadap fraksi massa hasil simulasi secara berturut-turut bernilai 9,81 % dan 2,34 %.

Kata kunci:

Energi terbarukan, produksi biogas, digester, eceng gondok, reaksi kimia, simulasi CFD.

ABSTRACT

Name : Adhi Waskitajati
Program : Mechanical Engineering
Judul : Plug-Flow Anaerobic Digester Prototype Testing And
Reaction Analysis of Biogas Formation Using CFDSOF
Simulation Software.

Primary energy reserves are going declining and people seek other energy sources as a replacement. Today, alternative energy sources or renewable energy sources are being constantly developed and utilized. Alternative energy is the energy that can be renewed and expected become a solution to diversify or even be a substitute for primary energy sources such as fuel oil. One of the utilization of alternative energy is the biomass conversion into biogas which can be utilized as a fuel source. In this study, the author develop prototyping, testing and simulation of anaerobic digester to produce biogas. The objective is to find out how much biogas could be produced by a prototype and to simulate the chemical reaction occur inside the digester and also to study the factors that influence the performance of biogas production. Testing conducted by feeding the slurry of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) as much as $4 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{day}$ at a temperature of 29°C with 40 days hydraulic retention time. For the result, total volume of biogas reached $461 \times 10^{-3} \text{ m}^3$. The CFD simulations conducted reaction of $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ into CH_4 and CO_2 . The simulation results obtain the range of mass fraction for two species CH_4 and CO_2 are 0 - 0.2477 and 0 - 0.7529, respectively. Difference mass fraction value between CH_4 and CO_2 theoretically against the simulation results are about 9,81% and 2,34%, respectively.

Keywords :

Alternative energy, biogas production, digester, water hyacinth, chemical reaction, CFD simulation.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Sistematika Penulisan	3
BAB 2 KAJIAN LITERATUR.....	5
2.1. Energi Biomassa.....	5
2.2. Proses Pembentukan Biogas.....	6
2.3. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Proses Fermentasi Anaerob	8
2.4. Jenis-Jenis Reaktor Biogas	13
2.5. Kekekalan Massa— Persamaan Kontinuitas	17
2.6. Persamaan Reaksi Kimia Pada Simulasi <i>CFD</i>	18
2.7. Komposisi Campuran	18
2.6. <i>Computational Fluid Dynamic</i>	19
BAB 3 PERANGKAT DAN ASPEK PENGUJIAN.....	23
3.1. Metode Penelitian	23
3.2. Skematik Alat Uji	24
3.3. Alat Pengujian Dan Komponen.....	25
3.4. Uji Kebocoran	32
3.5. Metode Pengambilan Data	32
3.6. Uji Nyala Biogas	33
3.7. Metode Simulasi <i>CFD</i>	33
BAB 4 HASIL DAN ANALISA.....	36
4.1. Hasil dan Analisa Produksi Biogas pada Pengujian <i>Prototype</i> Digester.....	36
4.2 Hasil dan Analisa Simulasi <i>CFD</i>	39
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	46
Daftar Pustaka	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Siklus karbon biomassa.....	5
Gambar 2.2.	Proses pembentukan biogas	7
Gambar 2.3.	Grafik temperatur produksi biogas	10
Gambar 2.4.	Perbandingan tingkat produksi gas pada 15 ⁰ dan 35 ⁰	12
Gambar 2.5.	Grafik pengaruh luas permukaan substrat terhadap produksi biogas	13
Gambar 2.6.	Reaktor kubah tetap	14
Gambar 2.7.	Reaktor kubah mengambang	15
Gambar 2.8.	Manometer tabung U	16
Gambar 2.9.	Penjumlahan massa tiap spesies sama dengan massa campuran	19
Gambar 2.10.	Bentuk diskritisasi subdomain	20
Gambar 2.11.	Penggambaran <i>mesh</i> berdasarkan bentuk domain.....	21
Gambar 3.1.	Diagram alir metodologi penelitian	23
Gambar 3.2.	Skematik alat uji biogas	25
Gambar 3.3.	Tangki umpan.....	26
Gambar 3.4.	(a) <i>Inlet</i> digester, (b) <i>Outlet</i> digester, (c) Digester anaerob.....	26
Gambar 3.5.	Eceng gondok sebagai bahan baku biogas.....	27
Gambar 3.6.	Grafik hubungan produksi biogas dengan HRT.....	28
Gambar 3.7.	Produksi biogas dengan berbagai konsentrasi eceng gondok dengan air.....	29
Gambar 3.8.	<i>Gas holder</i>	30
Gambar 3.9.	Manometer U H ₂ O	31
Gambar 3.10.	Termokopel dan <i>display</i> pada digester.....	31
Gambar 3.11.	Kertas lakmus sebagai indikator <i>pH</i>	32
Gambar 3.12.	Tampilan <i>window CFDSOF</i> saat awal simulasi.....	33
Gambar 3.13.	Grid model digester	34

Gambar 4.1.	Grafik hubungan volume produksi biogas dan temperatur terhadap waktu.....	36
Gambar 4.2.	Dekomposisi anaerob material organik pada digester biogas	37
Gambar 4.3.	Persentasi pertumbuhan bakteri methanogen pada temperatur 29 ⁰ C	38
Gambar 4.4.	Kontur fraksi massa C ₆ H ₁₂ O ₆ di dalam digester.....	40
Gambar 4.5.	Grafik fraksi massa C ₆ H ₁₂ O ₆ terhadap panjang digester.....	40
Gambar 4.6.	Kontur fraksi massa CH ₄ di dalam digester.....	41
Gambar 4.7.	Kontur fraksi massa CO ₂ di dalam digester	41
Gambar 4.8.	Grafik fraksi massa CH ₄ terhadap panjang digester.....	42
Gambar 4.9.	Grafik fraksi massa CO ₂ terhadap panjang digester.....	42
Gambar 4.10.	Kontur temperatur reaksi kimia di dalam digester.....	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Komposisi gas penyusun biogas	8
Tabel 2.2.	Kandungan methana substrat.....	9
Tabel 2.3.	Rasio C/N substrat	9
Tabel 2.4.	Kebutuhan nutrisi dan logam bakteri fermentasi.....	11
Tabel 3.1.	Spesifikasi tangki umpan.....	25
Tabel 3.2.	Spesifikasi digester anaerob	26
Tabel 3.3.	Komposisi kimia eceng gondok	27
Tabel 3.4.	Spesifikasi <i>Gas Holder</i>	30
Tabel 3.5.	Spesifikasi termokopel	31
Tabel 3.6.	Properti bahan $C_6H_{12}O_6$, CH_4 , dan CO_2	34
Tabel 4.1.	Kesetimbangan massa produksi biogas.....	38
Tabel 4.2.	Selisih fraksi massa antara hasil simulasi dan teoritis	43

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Pengembangan dan pemanfaatan sumber energi alternatif di berbagai negara dewasa ini semakin giat dilakukan. Tingginya permintaan energi primer seperti minyak bumi dan batu bara yang tidak di iringi dengan ketersediaan cadangan yang cukup, harga energi yang mahal dan fluktuatif, serta isu lingkungan seperti pemanasan global, merupakan beberapa faktor yang mendorong dunia untuk mengembangkan dan memanfaatkan energi alternatif.

Untuk mengantisipasi kondisi tersebut, Indonesia sampai saat ini telah berupaya memanfaatkan dan mengembangkan berbagai macam energi alternatif. Kebijakan pemerintah mengenai konservasi energi diputuskan untuk mendukung koordinasi dalam penyediaan dan pemanfaatan energi alternatif.

Dengan mempertimbangkan keberadaan sumber daya alam Indonesia yang berlimpah khususnya biomassa serta ditunjang dengan kultur sosial masyarakat Indonesia yang agraris, maka salah satu pemanfaatan energi alternatif yang potensial digunakan adalah biogas.

Biogas adalah gas yang dihasilkan dari proses fermentasi anaerob bahan *organic biodegradable* seperti bahan biomassa, limbah peternakan, limbah pertanian dan limbah domestik (rumah tangga). Biogas mengandung gas methana yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber pemanas baik untuk keperluan rumah tangga maupun untuk digunakan dalam skala besar sebagai bahan bakar bagi keperluan pembangkit energi listrik.

Selain pemanfaatan biogas sebagai sumber energi, pengolahan limbah dengan proses ini memiliki manfaat lain bagi lingkungan diantaranya mengurangi jumlah kadar methana pada lapisan atmosfer sebagai penyebab efek rumah kaca, gas buang hasil pembakaran biogas relatif lebih bersih dibandingkan dengan gas buang bahan bakar fosil. Selain itu, karbon yang terdapat pada biogas adalah karbon yang berasal dari proses fotosintesis tanaman sehingga tidak menambah jumlah karbon apabila dilepas kembali ke atmosfer serta mengurangi volume

limbah sekaligus menghancurkan bakteri *pathogen* yang berasal dari limbah tersebut.

Terdapat beberapa metode atau konfigurasi sistem untuk menghasilkan biogas. Sistem biogas yang akan dipilih harus mempertimbangkan beberapa faktor diantaranya ketersediaan bahan baku organik, kondisi lingkungan seperti temperatur, kemudahan teknologi pembuatan dan pengoperasian biogas, dan biaya produksi. Dengan memilih konfigurasi sistem biogas yang tepat diharapkan dapat dicapai produksi biogas yang optimal.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Dalam penelitian ini, penggunaan sumber energi biomasa dimanfaatkan untuk menghasilkan biogas dalam skala kecil yang mudah dalam pembuatan dan pengoperasiannya, terjangkau dari segi biaya, aman, dan ketersediaan biogas yang dihasilkan dapat bersifat kontinyu.

Penelitian dilakukan dengan membuat *prototype* sistem biogas kemudian mensimulasikan sistem tersebut sesuai dengan kondisi objek penelitian. Simulasi menggunakan perangkat komputasi berbasis *Computational Fluid Dynamics (CFD)* untuk mendapatkan model yang mendekati referensi berdasarkan validasi dan verifikasi data. Simulasi dilakukan dengan mensimulasikan reaksi kimia bahan organik biomasa dalam kondisi anaerob yang terjadi di dalam suatu digester kemudian mempelajari komposisi produk biogas yang terdiri dari beberapa spesies kimia.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini diantaranya adalah

1. Mengetahui produksi biogas yang terbentuk pada pengujian *prototype* digester yang dibuat.
2. Mensimulasikan reaksi kimia bahan organik biomassa di dalam digester anaerob berupa temperatur reaksi serta fraksi masa CH_4 dan CO_2 sebagai spesies produk reaksi dengan menggunakan aplikasi *CFDSOF*.
3. Mempelajari fenomena-fenomena reaksi yang terjadi dan pengaruhnya terhadap produk biogas.

1.4 BATASAN MASALAH

Hal yang akan dibahas dalam laporan tugas akhir ini dilakukan dengan asumsi dan batasan sebagai berikut :

1. *Prototype* digester biogas yang dibuat dan disimulasikan adalah digester jenis *plug-flow*.
2. Pengujian digester dilakukan pada debit *slurry* konstan $4,92 \times 10^{-8} m^3/s$ dengan *Hydraulic Retention Time* 40 hari.
3. Persentase kandungan CH_4 dan CO_2 di dalam biogas hasil pengujian diasumsikan masing-masing sebesar 50% dan 30%.
4. Simulasi model produksi biogas adalah satu fasa dan ditampilkan dalam bentuk dua dimensi (2D) dengan menggunakan perangkat lunak *CFDSOF*.
5. Reaksi kimia yang disimulasikan merupakan persamaan reaksi:



1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Penulisan laporan tugas akhir ini dibagi menjadi beberapa bab agar maksud dan tujuan yang ingin disampaikan oleh penulis dapat tercapai dengan baik.

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang yang melandasi penulisan skripsi, perumusan masalah, tujuan penulisan, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB 2 KAJIAN LITERATUR

Bab ini berisi tentang teori-teori yang mendasari penelitian ini. Kajian literatur yang ditulis merupakan kutipan dari beberapa buku dan referensi lain yang telah dikumpulkan sebelumnya, baik dalam bentuk buku maupun buku elektronik untuk mendukung penulisan laporan ini.

BAB 3 PERANGKAT DAN ASPEK PENGUJIAN

Bab ini menjelaskan tentang metode penelitian yang telah dilakukan. Bab ini terbagi dalam tiga subbab yang terdiri dari metode pembuatan alat, metode pengujian, dan metode simulasi *CFD*.

BAB 4 HASIL DAN ANALISA

Bagian 4 berisikan data dan analisa dari hasil yang diperoleh dari proses pengujian alat dan simulasi.

BAB 5 KESIMPULAN

Pada bab ini berisi kesimpulan dari hasil data dan analisa percobaan dan saran yang diberikan untuk perbaikan pada percobaan selanjutnya.



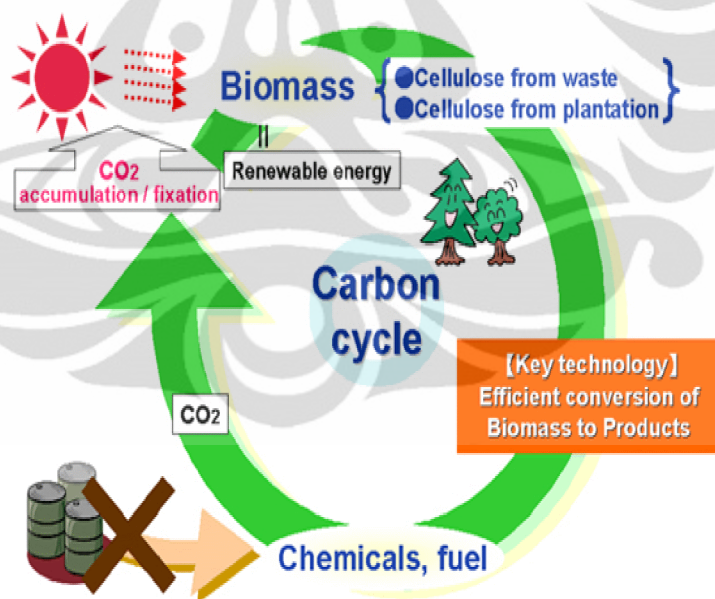
BAB 2

KAJIAN LITERATUR

2.1 Energi Biomassa

Biomassa merupakan material organik atau material yang berasal dari makhluk hidup. Energi yang tersedia atau dilepaskan yang berasal dari biomassa ketika dikonsumsi, dibakar atau dikonversi menjadi bahan bakar disebut juga sebagai energi biomassa.

Apabila dibandingkan dengan energi fosil, biomassa menyediakan energi yang terbarukan, bersih, dan menghasilkan sedikit emisi. Tidak seperti pembakaran energi fosil, energi biomassa tidak berakibat efek rumah kaca (*green house effect*) karena karbon berasal dari proses fotosintesis tanaman sehingga apabila dilepas kembali ke atmosfer tidak menambah jumlah karbon secara keseluruhan. Gambar berikut ini menunjukkan siklus sederhana karbon energi biomassa.



Gambar 2.1 Siklus karbon biomassa

(Sumber: Prof.Dr.Ir. Bambang Suryawan, MT, 2009)

Teknologi konversi biomassa menjadi energi dapat dikategorikan menjadi dua macam, yaitu

1. Proses Biologis (*Biological*)

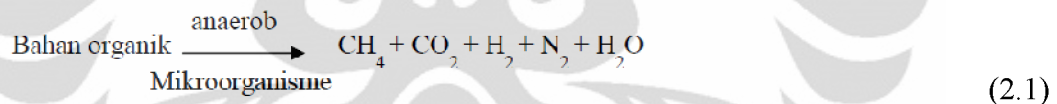
Pada proses ini, konversi biomassa menjadi energi melibatkan mikroorganisme seperti bakteri dan jamur. Proses yang termasuk konversi energi secara biologis diantaranya *anaerobic digestion* dan fermentasi aerob.

2. *Thermal Process*

Proses ini menggunakan pemanasan, pengeringan dan pembakaran untuk mengkonversi biomassa menjadi energi. Contoh proses yang termasuk di dalamnya, yaitu pembakaran langsung, gasifikasi, pyrolisis, dan *liquefaction*.

2.2 Proses Pembentukan Biogas

Biogas adalah campuran gas yang dihasilkan dari proses fermentasi material organik (biomassa) oleh mikroorganisme bakteri *methanogenic* pada kondisi tanpa udara (*anaerobic*). Biogas mengandung berbagai macam zat, baik yang dapat dibakar maupun yang tidak dapat dibakar. Zat yang tidak dapat dibakar merupakan kendala yang dapat mengurangi mutu pembakaran gas tersebut. Reaksi sederhana penguraian senyawa organik secara anaerob adalah sebagai berikut:



Untuk dapat menghasilkan biogas dalam suatu proses fermentasi anaerob, bahan organik harus melalui empat tahap proses kimia dan biologi diantaranya hidrolisis, asidogenesis, asitogenesis dan tahap methanogenesis.

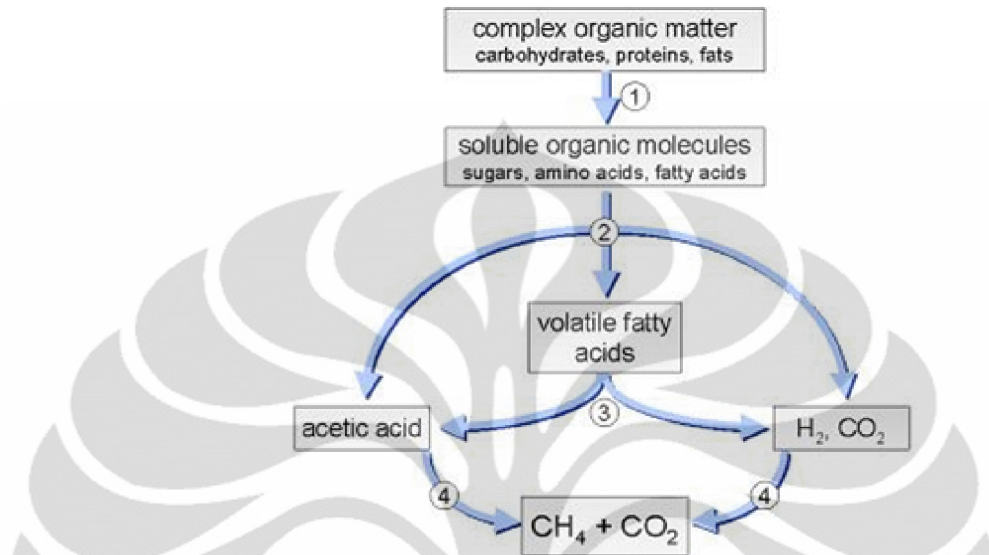
1. Tahap Hidrolisis (*Hydrolysis*)

Pada proses awal ini senyawa organik baik yang terlarut maupun yang tersuspensi dari berat molekul besar (*polymer*) dirubah menjadi senyawa organik sederhana (*monomer*) yang dilakukan oleh kelompok bakteri hidrolisa, seperti *streptococci*, *bacteriodes*, dan beberapa jenis *enterobacteriaceae*.

2. Tahap Asidogenesis (*Acidogenesis*)

Proses asidogenesis, yaitu dekomposisi *monomer* organik menjadi asam-asam organik (asam lemak) dan alkohol. Pada proses asidogenesis, monomer organik diuraikan lebih lanjut oleh *acidogenic bacteria* menjadi asam-asam

organik seperti asam format, asetat, butirrat, propionat, valeriat, serta dihasilkan juga CO₂, H₂, dan methanol.



Gambar 2.2 Proses pembentukan biogas

(Sumber: Prof.Dr.Ir. Bambang Suryawan, MT, 2009)

3. Tahap Asitogenesis (*Acetogenesis*)

Proses asitogenesis, yaitu perubahan asam organik dan alkohol menjadi asam asetat. Pada proses ini senyawa asam organik dan metanol diuraikan oleh *acetogenic bacteria* menjadi asam format, asetat, metanol, CO₂, dan H₂.

4. Tahap Methanogenesis

Proses methanogenesis, yaitu perubahan dari asam asetat menjadi methana. Pada proses ini asam asetat diuraikan oleh *methanogenic bacteria* menjadi CH₄, CO₂, dan H₂O. Pembentukan methana sebagian besar (70%) berasal dari asam asetat, sisanya dari asam format, CO₂, dan H₂.

Proses yang kompleks dalam pembentukan biogas dapat dituliskan dalam persamaan reaksi berikut. Dimulai dari proses hidrolisis dengan reaksi kimia:



Pada proses asidogenesis, bakteri pembentuk asam menguraikan glukosa menjadi,

$$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \rightarrow 2C_2H_4O_2 + 2CO_2 + 4H_2 \quad (2.3)$$

Asam asetat kemudian di urai menjadi,



Pada tahap methanogenesis,



Dengan menjumlahkan persamaan (2.3), (2.4), (2.5) diperoleh reaksi penguraian glukosa menjadi:



Konsentrasi gas methana (CH_4) yang terkandung dalam biogas berkisar antara 50% - 70%, karbon dioksida (CO_2) 30% - 40% dan beberapa zat penyusun lainnya. Secara lengkap kandungan substansi penyusun biogas terdapat pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Komposisi gas penyusun biogas

Substansi	Simbol	Persentase
Methana	CH_4	50-70
Carbon dioxide	CO_2	30-40
Hydrogen	H_2	5-10
Nitrogen	N_2	1-2
Water Vapor	H_2O	0.3
Hydrogen Sulfide	H_2S	Traces

(Sumber: *Food And Agriculture Organization Of The United Nations*, 1986)

2.3 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Proses Fermentasi Anaerob

Kinerja proses fermentasi anaerob untuk menghasilkan biogas dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya:

1. Substrat

Substrat adalah biomasa yang mampu difermentasikan. Tiap jenis substrat memiliki sifat fisika dan kimia yang berbeda sehingga mempengaruhi jumlah biogas yang dihasilkan.

a. Kandungan Methana (*Methane Content*)

Kandungan methana menunjukkan seberapa banyak konsentrasi methana di dalam biogas.

Tabel 2.2 Kandungan methana substrat

No	Substrate	Methane Content (%)
1	<i>Algae</i>	63
2	<i>Cattle manure</i>	65
3	<i>Farmyard manure</i>	55
4	<i>Grass</i>	70
5	<i>Leaves</i>	59
6	<i>Kitchen waste</i>	70
7	<i>Poultry manure</i>	60
8	<i>Pig manure</i>	67
9	<i>Straw</i>	59
10	<i>Water Hyacinths</i>	52

(Sumber: Sasse, Ludwig, 1988)

b. Rasio C/N

Rasio C/N merupakan perbandingan antara jumlah kandungan karbon dan nitrogen dalam suatu material organik. Rasio C/N yang optimal dalam proses fermentasi anaerob adalah sekitar 20-30. Berikut tabel yang menunjukkan rasio C/N untuk beberapa jenis substrat.

Table 2.3 Rasio C/N substrat

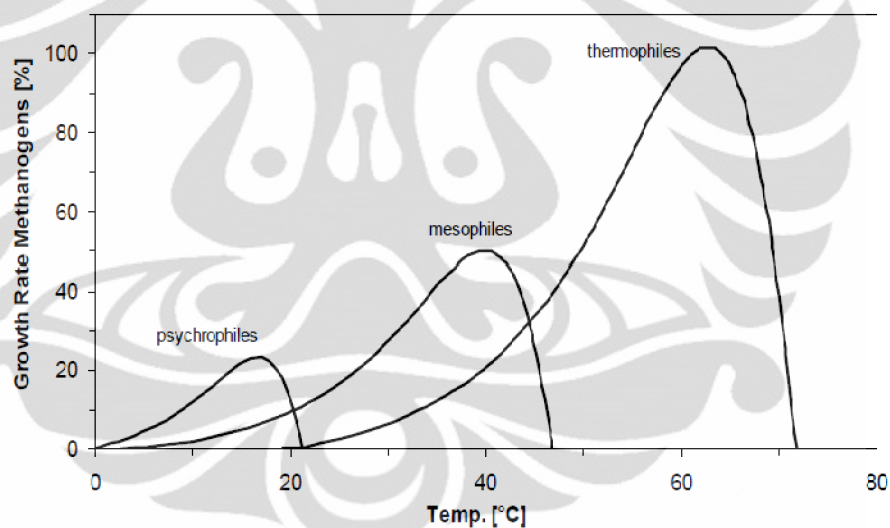
No	Substrate	C/N
1	<i>Chicken Dung</i>	10
2	<i>Cow/Buffalo dung</i>	24
3	<i>Duck dung</i>	8
4	<i>Elephant dung</i>	43
5	<i>Goat dung</i>	12
6	<i>Human Excreta</i>	8
7	<i>Pig dung</i>	18
8	<i>Sheep dung</i>	19
9	<i>Straw</i>	60
10	<i>Water hyacinth</i>	25

(Sumber: Karky and Dixit, 1984)

Jika rasio C/N terlalu tinggi maka akan terjadi konsumsi nitrogen secara cepat oleh bakteri methanogen untuk memenuhi kebutuhan proteinnya dan tidak akan bereaksi untuk menghasilkan karbon. Akan tetapi, apabila rasio C/N terlalu rendah, nitrogen akan terbebaskan dan terakumulasi menjadi *ammonia* (NH_4). Apabila kandungan NH_4 tinggi maka akan mengakibatkan *pH* substrat menjadi tinggi dan berakibat racun bagi bakteri methanogen.

2. Temperatur

Pada semua proses biologis termasuk proses fermentasi anaerob sangat dipengaruhi oleh faktor temperatur. Berdasarkan temperatur kerja, jenis bakteri pencerna anaerob dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis, yaitu *psychrophiles* ($<20^\circ\text{C}$), *mesophiles* (20°C - 40°C), *thermophiles* (45°C - 70°C) (Sumber: van Lier et al., 1997; Batstone et al., 2002a).



Gambar 2.3 Grafik temperatur produksi biogas

(Sumber: van Lier et al, 1997; Batstone et al, 2002a)

3. Keasaman (*pH*)

Bakteri berkembang dengan baik pada kisaran keasaman 6,5 sampai 8 (Michael Schoen, 2009). Pengaturan *pH* awal proses sangat penting, tahap pembentukan asam akan menurunkan *pH* awal. Jika penurunan ini cukup besar akan dapat menghambat aktivitas mikroorganisme penghasil methana.

4. Kebutuhan Nutrisi

Bakteri fermentasi membutuhkan nutrisi dan beberapa bahan logam yang dibutuhkan untuk dapat memproduksi metana. Nutrisi dan bahan logam yang diperlukan oleh bakteri dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.4 Kebutuhan nutrisi dan logam bakteri fermentasi

No	Bahan	Jumlah Kebutuhan (mg/g Asetat)
1	NH ₄ - N	3.3
2	PO ₄ - P	0.1
3	S	0.33
4	Ca	0.13
5	Mg	0.018
6	Fe	0.023
7	Ni	0.004
8	Co	0.003
9	Zn	0.02

(Sumber: Kamase, 2008)

5. Zat Beracun

Zat beracun baik organik maupun anorganik dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme bahkan memusnahkannya. Beberapa senyawa yang pada konsentrasi tertentu dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme adalah *Formaldehyde, Chloroform, Ethyl benzene, Kerosene, Detergent*.

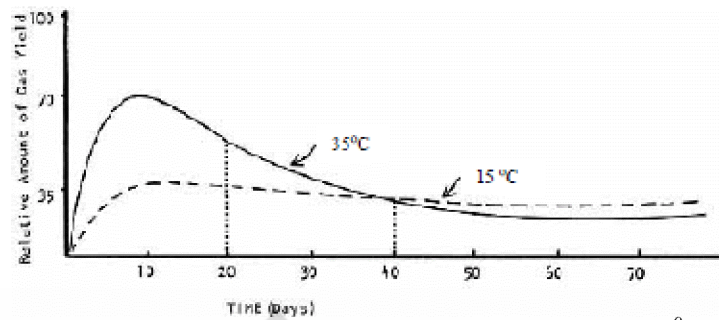
6. Pengadukan (*Agitation*)

Pengadukan pada suatu substrat yang difermentasi diperlukan untuk beberapa tujuan berikut:

- Menjaga homogenitas substrat dan menghindari akumulasi bahan penghambat yang terkonsentrasi di daerah tertentu.
- Menjaga homogenitas temperatur substrat.
- Mengoptimalkan pelepasan gas oleh substrat

7. Waktu Simpan Hidrolik (*Hydraulic Retention Time*)

Hydraulic retention time adalah waktu simpan substrat pada alat pencernaan (digester) sehingga dapat dicerna oleh bakteri metanogen menjadi biogas. Setiap substrat memiliki waktu simpan yang berbeda tergantung jenis substrat dan desain digester itu sendiri. Waktu simpan dapat dihitung dengan cara membagi volume digester dengan volume input substrat per hari.



Gambar 2.4 Perbandingan tingkat produksi gas pada 15^o dan 35^o
(Sumber: Fry, 1973)

8. Konsistensi Substrat

Kebutuhan air tiap mikroorganisme dan kandungan air (*consistency*) substrat yang berbeda-beda perlu diperhatikan. Substrat yang telah mengalami pencampuran disebut juga sebagai *slurry*. Konsistensi substrat mempengaruhi aktivitas mikroorganisme dalam memproduksi biogas.

Massa jenis *slurry* dapat dihitung berdasarkan konsentrasi padatan (berat dalam *slurry* tersebut), massa jenis cairan dan padatannya (Stewart, 1972).

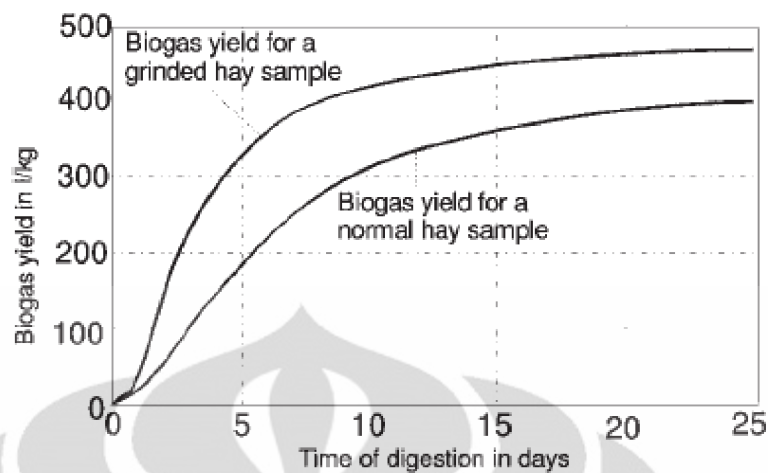
$$\rho_{slurry} = \frac{100\%}{\left[\frac{C_{W\ eceng\ gondok}}{\rho_{eceng\ gondok}} + \frac{(100\% - C_{W\ eceng\ gondok})}{\rho_{air}} \right]} \quad (2.7)$$

Dimana :

- ρ_{slurry} : Massa jenis *slurry* (kg/m³)
- $C_{W\ eceng\ gondok}$: Konsentrasi eceng gondok (beratnya dalam *slurry*) (%)
- $\rho_{eceng\ gondok}$: Massa jenis eceng gondok (kg/m³)
- ρ_{air} : Massa jenis air (kg/m³)

9. Luas Permukaan Material

Dalam proses biokimia seperti fermentasi anaerob diperlukan luas permukaan material untuk mempercepat proses reaksinya. Untuk memperluas permukaan, substrat perlu terlebih dahulu diberikan perlakuan mekanik seperti penggilingan atau *blending* substrat. Gambar di bawah ini menunjukkan pengaruh luas permukaan substrat terhadap waktu untuk memproduksi biogas.



Gambar 2.5 Grafik pengaruh luas permukaan substrat terhadap produksi biogas
(Sumber: Deublein, Dieter and Steinhauser, Angelika, 2008)

2.4 Jenis-Jenis Reaktor Biogas

Reaktor biogas disebut juga dengan digester. Digester dapat dikelompokan berdasarkan konstruksi dan aliran pengisian bahan bakunya. Berdasarkan aliran pengisian bahan baku, digester dibagi menjadi dua sistem yaitu tipe *batch* dan kontinyu.

1. Sistem *batch*

Digester diisi *slurry* kemudian setelah proses fermentasi, residu dibuang. Proses tersebut diulang dalam jangka waktu tertentu.

2. Sistem aliran kontinyu

Slurry diumpankan pada digester secara berkelanjutan atau reguler kemudian output digester dikeluarkan dengan bantuan alat mekanik atau terdorong oleh *slurry* yang baru.

Banyaknya substrat yang dibutuhkan sebagai umpan digester dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$Q = \frac{V}{\tau} \quad (2.8)$$

Dimana:

Q = Debit (m^3/s)

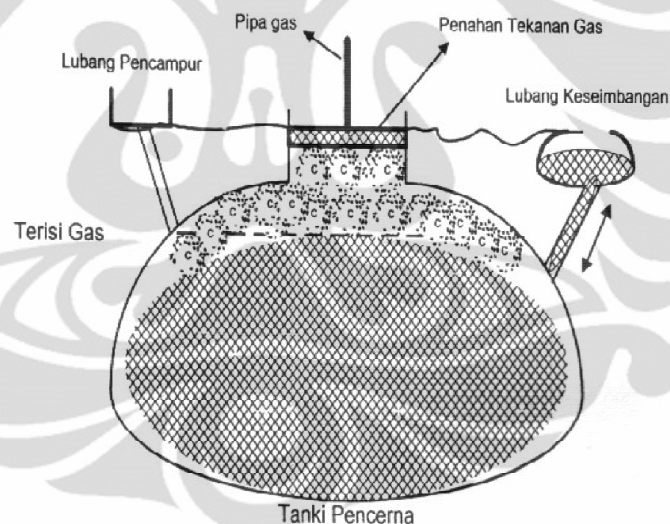
V = volume digester (m^3), dan

τ = *hydraulic retention time* (sekon)

Berdasarkan konstruksinya, digester biogas dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu digester kubah tetap (*fixed dome*), dan kubah mengambang (*floating dome*).

1. Digester Kubah Tetap (*Fixed Dome*)

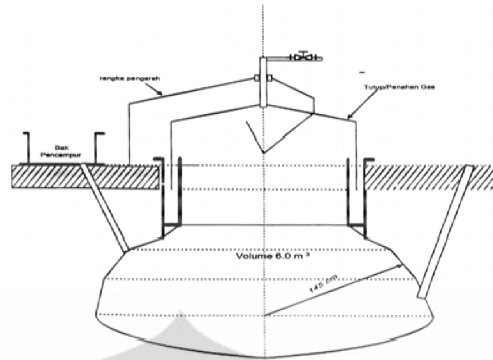
Reaktor kubah tetap pada umumnya terbuat dari batu bata dan beton. Karena ukurannya yang cukup besar dan untuk menghemat lahan, reaktor ini di simpan di bawah tanah. Reaktor kubah tetap terdiri dari empat bagian utama, yaitu bak pengaduk, ruang digester, kompartemen gas, dan bak penampung *residu*. Bak pengaduk berfungsi sebagai tempat mengaduk substrat dengan air sebelum di masukan ke dalam digester. Sedangkan bak penampung residu berfungsi sebagai tempat penampung residu hasil fermentasi.



Gambar 2.6 Reaktor kubah tetap

2. Kubah Mengambang (*Floating Dome*)

Digester jenis kubah mengambang biasanya digunakan untuk proses fermentasi dengan sistem aliran *batch*. Digester kubah mengambang terdiri dari drum kompartemen gas dan drum digester.



Gambar 2.7 Reaktor kubah mengambang

Drum digester di isi penuh oleh *slurry* kemudian drum kompartemen gas yang kedap udara di tempatkan di atasnya. Ukuran diameter drum digester dibuat lebih besar daripada drum gas, hal ini dimaksudkan apabila digester sudah menghasilkan biogas, drum gas akan mengambang di atas permukaan substrat digester karena terdapat gas bertekanan di dalamnya.

Komponen pada digester sangat bervariasi, tergantung pada jenis digester yang digunakan. Tetapi, secara umum digester terdiri dari komponen-komponen utama sebagai berikut:

1. *Inlet Slurry*

Saluran ini digunakan untuk memasukkan *slurry* ke dalam digester. Pencampuran ini berfungsi untuk memaksimalkan produksi biogas, memudahkan pengaliran, serta menghindari terbentuknya endapan pada saluran masuk.

2. *Outlet residu*

Saluran ini digunakan untuk mengeluarkan residu yang telah difermentasi oleh bakteri. Residu yang keluar pertama kali merupakan *slurry* yang pertama terfermentasi.

3. Katup pengaman tekanan (*safety valve*)

Katup pengaman ini digunakan sebagai pengatur tekanan gas dalam digester. Apabila terdapat tekanan biogas berlebih dalam digester maka katup pengaman akan secara otomatis terbuka untuk melepas tekanan biogas yang berlebih.

4. Sistem pengaduk

Pengadukan dapat dilakukan dengan pengadukan mekanis, sirkulasi substrat, atau sirkulasi ulang produksi biogas menggunakan pompa.

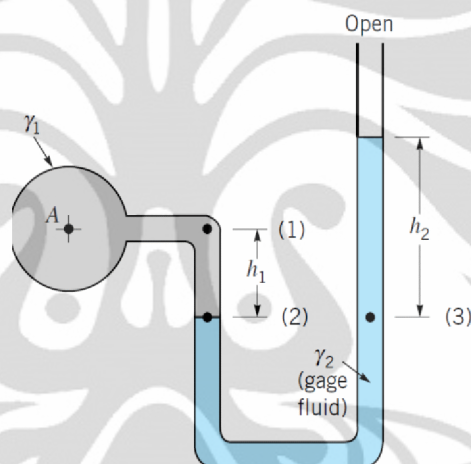
5. Saluran gas

Saluran gas ini disarankan terbuat dari bahan polimer untuk menghindari korosi. Untuk pembakaran gas pada tungku, pada ujung saluran pipa bisa disambung dengan pipa baja antikarat.

6. Tangki penyimpanan gas (*Gas holder*)

Terdapat dua jenis tangki penyimpanan gas, yaitu tangki bersatu dengan unit reaktor (*floating dome*) dan terpisah dengan reaktor (*fixed dome*).

Tekanan gas pada penampung biogas diukur menggunakan manometer U. manometer sederhana ini digunakan untuk mengetahui beda tekanan pada suatu titik dan tekanan atmosfer.



Gambar 2.8 Manometer tabung U

Fluida yang terdapat dalam manometer disebut fluida pengukur. Untuk menentukan tekanan P_A kita mulai pada sebuah ujung dari sistem dan terus menelusurinya sampai ke ujung yang lainnya. Jadi, dimulai dari titik A hingga ke ujung terbuka. Tekanan pada titik A dan (1) adalah sama. Apabila bergerak dari titik (1) ke titik (2) tekanan akan meningkat sebesar $\gamma_1 h_1$. Tekanan pada titik (2) sama dengan pada titik (3), karena tekanan pada ketinggian yang sama dalam suatu massa fluida diam yang kontinyu pasti sama. Dengan diketahuinya tekanan pada titik (3) maka kita dapat berpindah ke ujung terbuka dimana tekanannya adalah tekanan atmosfer. Dengan bergerak vertikal ke atas, tekanan berkurang sebesar $\gamma_2 h_2$. Dalam bentuk persamaan dapat dinyatakan :

$$P_A + \gamma_1 h_1 - \gamma_2 h_2 = P_{atm} \quad (2.9)$$

Dimana :

P_A : tekanan fluida A (Pa)

P_{atm} : tekanan atmosfer (Pa)

γ_1 : Berat jenis fluida A ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^2$)

h_1 : Ketinggian fluida A (m)

γ_2 : Berat jenis fluida pengukur ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^2$)

h_2 : Selisih ketinggian fluida pengukur (m)

Fluida A dapat berupa cairan maupun gas. Bila berupa gas, kontribusi dari ketinggian kolom gas $\gamma_1 h_1$ hampir selalu diabaikan, sehingga $P_A \approx P_2$ dan persamaannya menjadi :

$$P_A = P_{atm} + \gamma_2 h_2 \quad (2.10)$$

2.5 Kekekalan Massa—Persamaan Kontinuitas

Sebuah sistem didefinisikan sebagai sebuah kumpulan dari isi yang tidak berubah, maka prinsip kekekalan massa untuk sebuah sistem dinyatakan dalam:

$$\frac{DM_{sys}}{Dt} = 0 \quad (2.11)$$

Dimana massa sistem, M_{sys} , lebih umum dinyatakan sebagai:

$$M_{sys} = \int_{\forall system} \rho d\forall \quad (2.12)$$

Sistem dan kontrol volume diformulasikan dengan persamaan berikut,

$$\left(\frac{dN}{dt}\right)_{system} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{CV} \eta \rho d\forall + \int_{CS} \eta \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} \quad (2.13)$$

Dengan nilai $N =$ massa dan $\eta = 1$, maka:

$$\left(\frac{dN}{dt}\right)_{system} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{CV} \rho d\forall + \int_{CS} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} \quad (2.14)$$

Pernyataan volume atur untuk kekekalan massa disebut persamaan kontinuitas. Untuk volume atur yang tetap dan tidak berdeformasi diperoleh dengan mengkombinasikan persamaan (2.6), (2.7), dan (2.9) yang menghasilkan,

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{CV} \rho d\forall + \int_{CS} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} = 0 \quad (2.15)$$

Untuk kontrol volume tetap, fluida tak mampu mampat dan tidak berdeformasi persamaan (2.9) menjadi,

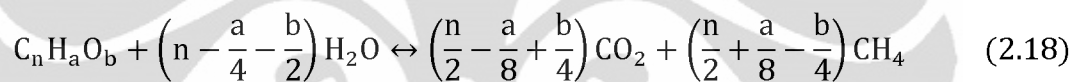
$$\int_{CS} \bar{V} \cdot d\bar{A} = 0 \quad (2.16)$$

Integral nilai $\bar{V} \cdot d\bar{A}$ pada bagian kontrol permukaan disebut *volume flow rate*. *Volume flow rate* (Q) yang melewati kontrol permukaan A, persamaan menjadi,

$$Q = \int_{CS} \bar{V} \cdot d\bar{A} \quad (2.17)$$

2.6 Persamaan Reaksi Kimia Pada Simulasi CFD

Konversi glukosa ($C_6H_{12}O_6$) menjadi methana dapat dinyatakan dalam kesetimbangan reaksi kimia (Buswell and Mueller, 1952) dengan cara menyeimbangkan koefisien spesies reaktan dan produk reaksi sebagai berikut:



Dimana $C_nH_aO_b$ adalah materi organik sedangkan n, a, dan b merupakan koefisien tidak berdimensi. Dengan mensubstitusi nilai $n=6$, $a=12$, $b=6$ ke dalam reaksi di atas maka reaksi kimia $C_6H_{12}O_6$ menjadi:



2.7 Komposisi Campuran

Suatu campuran dapat terdiri dari dua atau lebih konstituen kimiawi (spesies). Banyaknya spesies sejumlah i dalam volume tertentu dapat dinyatakan dalam massa jenis ρ_i (kg/m^3) dan konsentrasi molar C_i ($kmol/m^3$). Hubungan antara massa jenis, konsentrasi molar dan berat molekul, \mathcal{M}_i ($kg/kmol$) dapat dinyatakan dalam,

$$\rho_i = \mathcal{M}_i C_i \quad (2.20)$$

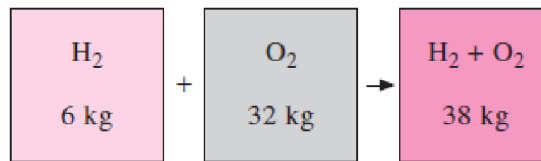
Massa jenis untuk campuran dapat dinyatakan dalam,

$$\rho = \sum_i \rho_i \quad (2.21)$$

Perumusan yang sama untuk konsentrasi molar dapat dinyatakan dalam,

$$C = \sum_i C_i \quad (2.22)$$

Persamaan (2.21) dan (2.22) menunjukkan bahwa penjumlahan massa tiap-tiap spesies harus sama dengan massa campuran.



Gambar 2.9 Penjumlahan massa tiap spesies sama dengan massa campuran

Perbandingan antara spesies i dalam suatu campuran disebut fraksi massa yang dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut,

$$m_i = \frac{\rho_i}{\rho} \quad (2.23)$$

Atau dalam bentuk fraksi mol dinyatakan dalam,

$$x_i = \frac{C_i}{C} \quad (2.24)$$

Penjumlahan fraksi massa dan fraksi mol spesies total dalam suatu campuran bernilai 1.

$$\sum_i m_i = 1 \quad (2.25)$$

dan

$$\sum_i x_i = 1 \quad (2.26)$$

2.8 Computational Fluid Dynamic

Computational Fluid Dynamics adalah perangkat lunak untuk analisa suatu sistem fisik yang melibatkan aliran fluida, perpindahan kalor, reaksi kimia dan fenomena lain yang berhubungan dengan cara simulasi dengan bantuan komputer. Dengan kemampuan dan aplikasinya yang luas, *CFD* memberikan beberapa kelebihan terhadap metode eksperimental pada desain sistem fluida, seperti:

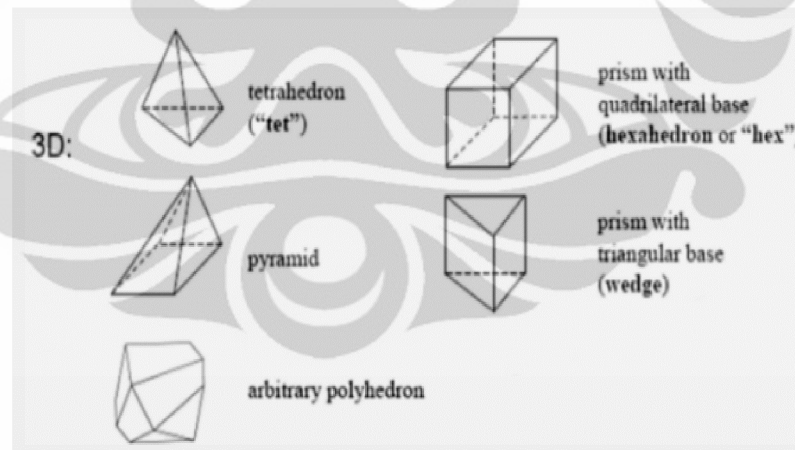
- Mereduksi waktu dan biaya pada saat proses perancangan rekayasa.
- Kemampuan untuk melakukan pengamatan pada eksperimen terkontrol yang sulit atau tidak mungkin untuk dilakukan (pada sistem yang besar).

- Kemampuan untuk melakukan pengamatan sistem dalam kondisi berbahaya dan di luar batasan normal kerjanya (pengamatan keselamatan dalam kecelakaan).
- Hasil pengamatan yang sangat mendetail.

Program *CFD* berisi struktur numerik yang bisa menyelesaikan permasalahan-permasalahan fluida. Secara garis besar *CFD* terdiri dari tiga elemen utama, yaitu:

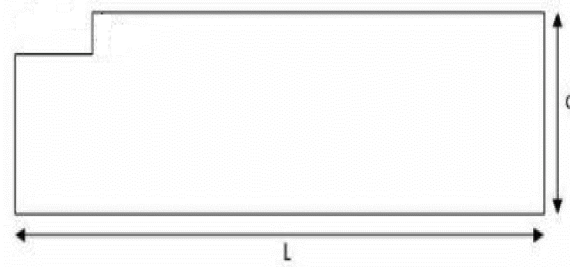
1. *Meshing*

Persamaan diferensial parsial yang menentukan aliran fluida dan perpindahan panas tidak biasa diterima dalam solusi analitis, kecuali untuk kasus yang sangat sederhana. Oleh karena itu, untuk menganalisa aliran fluida, daerah aliran dibagi menjadi *sub domain* yang lebih kecil yaitu membuat geometri sederhana seperti hexahedral dan tetrahedral, kuadrilateral maupun segitiga dan persamaan pengatur diskritisasi dapat diselesaikan dengan membagi domain dalam beberapa bagian.

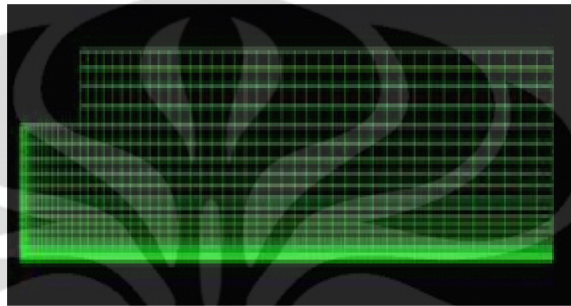


Gambar 2.10 Bentuk diskritisasi subdomain

Umumnya, satu dari tiga metode digunakan untuk menyelesaikan persamaan sistem: volume hingga, elemen hingga, atau elemen *differences*. Setiap bagian dari domain dikenal sebagai elemen atau sel, dan kumpulan dari semua elemen dikenal sebagai *mesh* atau *grid*.



(a)



(b)

Gambar 2.11 Penggambaran mesh berdasarkan bentuk domain.

(Sumber: http://www.cfd-online.com/Wiki/Mesh_generation, Anurag: 2005)

2. Pre-Processor

Pre-processing berisikan input berupa permasalahan fluida yang akan dianalisa dan perubahan input tersebut menjadi bentuk yang dapat diselesaikan oleh *solver*. Pada tahap *pre-processing* dilakukan:

- Pendefinisian geometri daerah yang akan diamati (*computational domain*).
- Pembuatan *grid*, pembagian domain menjadi bagian-bagian kecil *sub-domain* yang tidak bertindihan, yaitu menjadi sel-sel.
- Pemilihan fenomena fisik dan kimia yang akan dimodelkan.
- Penentuan sifat-sifat fluida.
- Spesifikasi kondisi batas dan kondisi awal.

3. Solver

Persamaan atur adalah berbentuk persamaan diferensial parsial. Untuk dapat diselesaikan dengan komputer, persamaan tersebut harus ditransformasikan terlebih dahulu ke dalam bentuk numerik. Terdapat tiga teknik utama penyelesaian numerik *CFD*, yaitu dengan *finite difference*, *finite element*, dan

finite volume. Secara garis besar, metode numerik yang menjadi basis *solver* adalah melakukan langkah-langkah berikut:

- Perkiraan variabel aliran yang belum diketahui dengan suatu fungsi sederhana.
- Diskritisasi dengan mensubstitusi perkiraan tersebut pada persamaan pengatur dan melakukan perhitungan matematis yang berulang.
- Penyelesaian dari persamaan pengatur.

4. *Post-Processor*

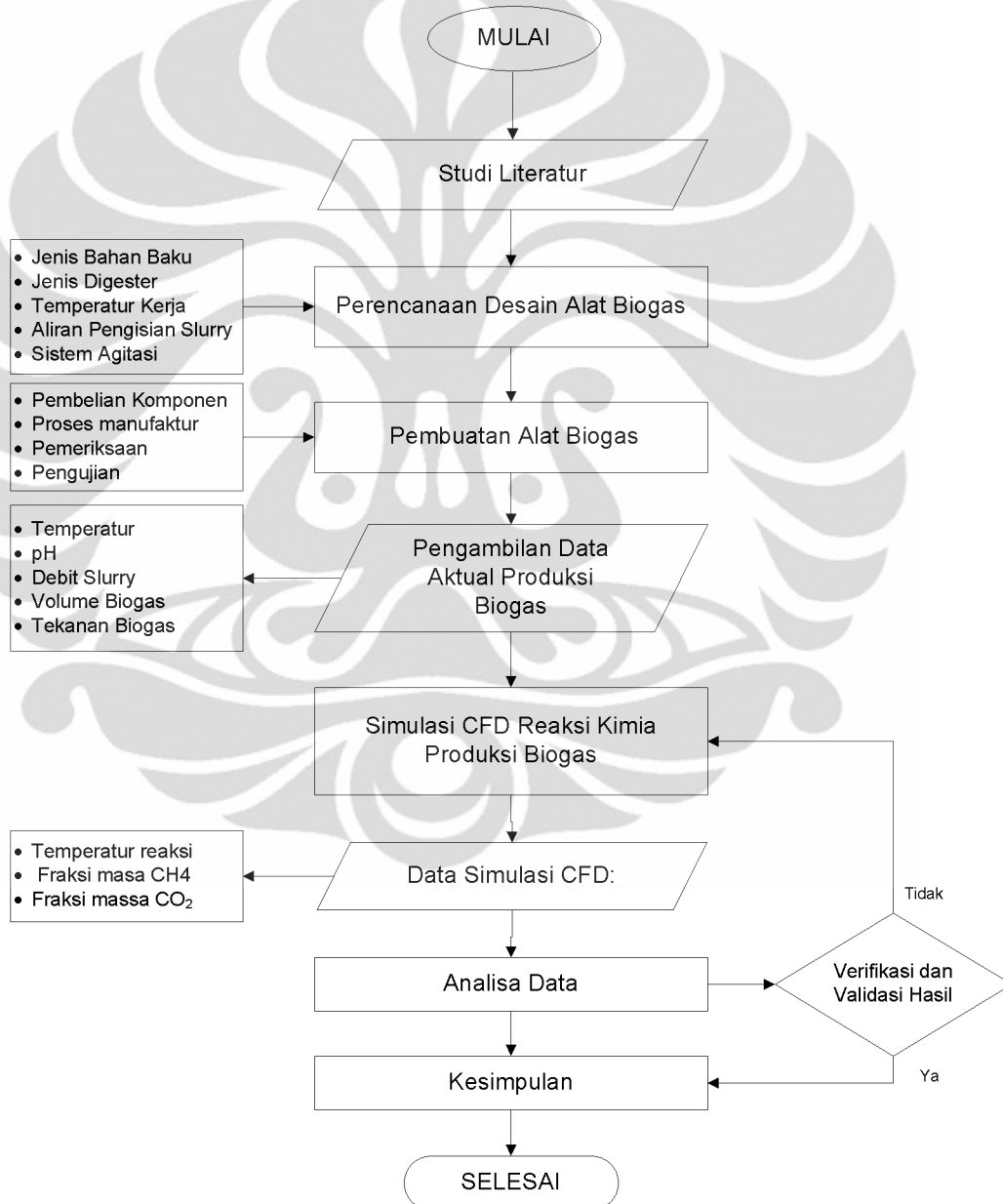
Pada tahap ini, paket program *CFD* menampilkan hasil perhitungan *solver* secara grafis yang meliputi:

- Tampilan geometri domain dan *grid*.
- Plot vektor.
- Plot kontur.
- Plot permukaan 2D atau 3D.
- Manipulasi tampilan (translasi, rotasi, dan lain-lain).
- Tampilan yang berwarna.

BAB 3 PERANGKAT DAN ASPEK PENGUJIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian simulasi reaksi biogas ini dilakukan dengan beberapa tahap prosedur seperti terlihat pada diagram alir penelitian berikut ini:



Gambar 3.1 Diagram alir metodologi penelitian

Penelitian diawali dengan studi literatur. Metode studi literatur yang digunakan yaitu melakukan tinjauan kepustakaan berupa buku-buku yang ada di perpustakaan, jurnal-jurnal tertulis maupun artikel dari internet yang berhubungan dengan objek penelitian biogas.

Setelah tahap studi literatur, kemudian dilakukan perencanaan desain alat biogas. Proses ini meliputi penentuan jenis bahan baku, jenis digester, temperatur kerja digester, aliran pengisian *slurry*, dan sistem agitasi. Langkah berikutnya adalah pembuatan alat biogas yang kegiatannya meliputi pembelian komponen, proses manufaktur alat, pemeriksaan dan pengujian alat.

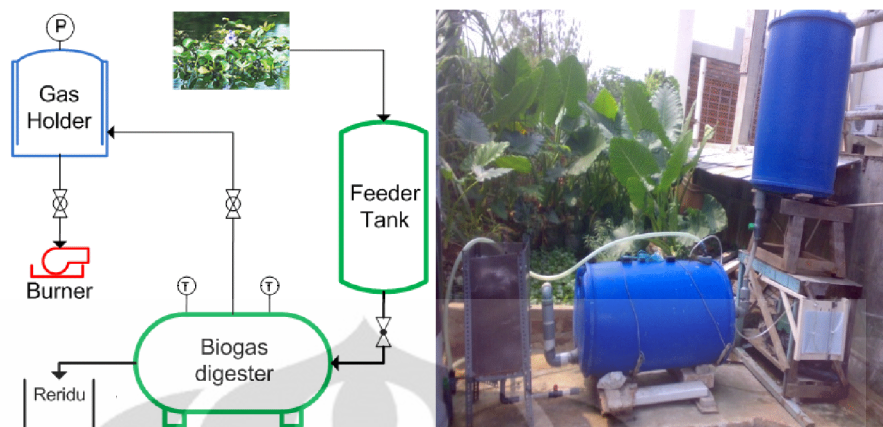
Tahap selanjutnya adalah tahap pengambilan data berupa debit *inlet* dan *outlet slurry*, temperatur *slurry*, *pH slurry*, volume biogas, dan tekanan biogas. Data yang didapat sebagian akan digunakan sebagai data input pada tahap simulasi. Proses selanjutnya adalah melakukan simulasi *CFD*. Tahap simulasi numerik ini menggunakan perangkat lunak *CFDSOF* untuk mensimulasikan produksi biogas pada digester anaerob.

Data yang diperoleh dari hasil simulasi maupun data aktual kemudian di analisa, di validasi, dan di verifikasi sehingga data yang diperoleh sudah sesuai dan benar. Tahap terakhir yang dilakukan adalah menentukan kesimpulan terhadap penelitian yang telah dilakukan.

3.2 Skematik Alat Uji

Skematik alat uji penelitian merupakan *prototype* sistem biogas seperti terlihat pada gambar 3.2 di bawah ini. Sistem biogas yang dibuat terdiri dari empat komponen utama yaitu tangki umpan (*feeder tank*), digester, penampung gas (*gas holder*) dan instrumen pengukuran.

Digester yang dibuat menggunakan aliran pengisian *slurry* secara kontinyu. Pada awalnya *slurry* masuk ke tangki umpan, dari tangki tersebut *slurry* dialirkan menuju tangki digester melalui katup sebagai pengatur alirannya. Buka katup tersebut di atur sehingga didapat aliran yang sesuai dengan lama waktu fermentasi substrat menjadi biogas.



Gambar 3.2 Skematik alat uji biogas

Digester anaerob yang dibuat adalah tipe *plug-flow* dimana substrat lama akan tersirkulasi dan terdorong keluar melalui *outlet* residu karena adanya dorongan dari *slurry* baru. Dalam jangka waktu *hydraulic retention time* yaitu 40 hari dimulai dari pengisian awal digester, biogas akan dihasilkan di dalam digester. Biogas tersebut kemudian disalurkan menuju gas holder.

3.3 Alat Pengujian Dan Komponen

Komponen-komponen yang akan digunakan pada perangkat uji dipilih dan disesuaikan dengan kondisi pengujian yang akan dilakukan.

1. Tangki Umpan (*Feeder Tank*)

Tangki *feeder* digunakan untuk menampung *slurry* baru sebelum dialirkan ke digester. Selain untuk menampung *slurry* baru, tangki *feeder* digunakan sebagai tangki fermentasi awal substrat sehingga ketika substrat masuk menuju digester, substrat tersebut telah berada pada kondisi terfermentasi. Tangki *feeder* diposisikan vertikal untuk memperoleh tekanan statis *slurry*. Dimensi dan bagian-bagian tangki *feeder* secara lengkap dapat di lihat pada tabel berikut:

Tabel 3.1 Spesifikasi tangki umpan

Tinggi	: 940 mm
Diameter	: 550 mm
Volume	: 0.223 m ³
Material	: Plastik



Gambar 3.3 Tangki umpan

2. Digester Anaerob

Dalam pemilihan dan penentuan jenis digester yang akan dibuat sebagai reaktor, dilakukan prosedur sebagai berikut:

- Penentuan Jenis Digester

Jenis digester yang dibuat adalah tipe *plug-flow* dengan sistem aliran fluida kontinyu dan sistem agitasi sirkulasi alami. Jenis ini dipilih karena proses pembuatannya mudah, dan biaya pembuatan yang murah. Spesifikasi digester secara lengkap dapat di lihat pada tabel berikut:

Tabel 3.2 Spesifikasi digester anaerob

Tipe	: <i>Plug-flow</i> digester
Tinggi	: 940 mm
Diameter	: 550 mm
Volume	: 0.233 m ³



(a)



(b)



(c)

Gambar 3.4 (a) *Inlet* digester, (b) *Outlet* digester, (c) Digester anaerob

Volume digester yang digunakan untuk fermentasi *slurry* adalah $\frac{3}{4}$ volume total digester menjadi 0,17 m³. Hal ini dimaksudkan untuk menyediakan ruangan/kompartemen biogas yang baru terbentuk sebelum masuk menuju tempat panampungan biogas.

- Jenis Substrat/*Slurry*

Pada penelitian ini, substrat yang digunakan berasal dari tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). Eceng gondok setelah di fermentasi memiliki kandungan metana (CH₄) yang cukup tinggi yaitu 50%-70% (FAO, 1986) dan komposisi C/N sebesar 25 (Ludwig Sasse). Untuk mengoptimalkan waktu dan produksi biogas, substrat digiling terlebih dahulu.



Gambar 3.5 Eceng gondok sebagai bahan baku biogas

Komposisi kimia eceng gondok segar dan kering dapat di lihat pada tabel berikut,

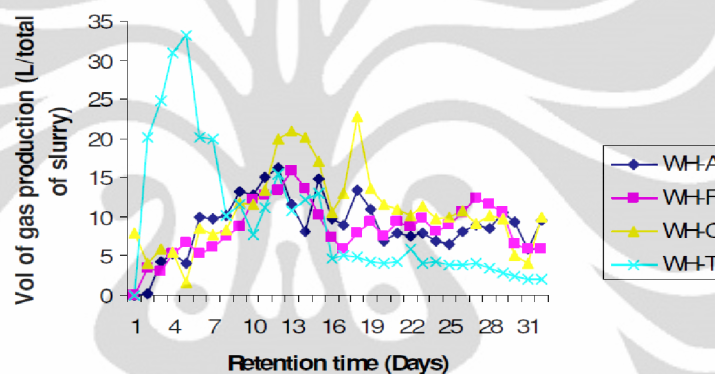
Tabel 3.3 Komposisi kimia eceng gondok

No.	Eceng Gondok Segar		Eceng Gondok Kering	
	Komposisi kimia	Persentase (%)	Komposisi kimia	Persentase (%)
1.	Air	92,6	Selulosa	64,51
2.	Abu	0,44	Pentosa	15,61
3.	Serat kasar	2,09	Lignin	7,69
4.	Karbohidrat	0,17	Silika	5,56
5.	Lemak	0,35	Abu	12
6.	Protein	0,16		
7.	Fosfor sebagai P ₂ O ₅	0,52		
8.	Kalium sebagai K ₂ O	0,42		
9.	Klorida	0,26		
10.	Alkanoid	2,22		

Menurut Patel *et al.* (1993), eceng gondok memiliki kandungan hemiselulosa sebesar 43% dan selulosa sebesar 17%. Hemiselulosa tersebut merupakan jenis polisakarida kompleks yang menjadi penyusun struktur organik dan merupakan bahan utama yang dapat dikonversi menjadi biogas (Ghosh dan Henry, 1985).

- Debit *slurry*

Debit *slurry* yang digunakan sebagai bahan baku biogas dihitung dengan mempertimbangkan volume digester dan *hydraulic retention time* (HRT) yang digunakan. Berdasarkan literatur diperoleh data HRT sebagai berikut:



Gambar 3.6 Grafik hubungan produksi biogas dengan HRT
(Sumber : A. U. Ofoefule dkk, 2009)

WH-F: Eceng gondok segar

WH-A: Eceng gondok kering di cincang

WH-C: Eceng gondok kering ditambah dengan substrat sapi

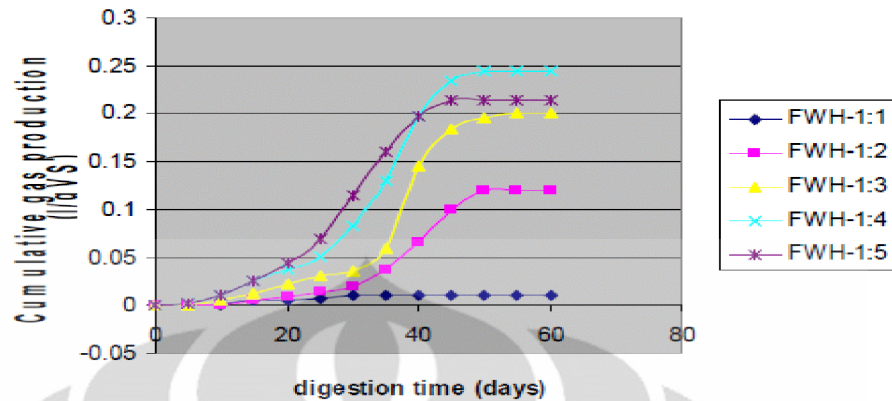
WH-T: Eceng gondok kering dan di campur KOH

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa volume produksi biogas mulai stabil pada HRT 30 hari. Namun dengan pertimbangan untuk mengoptimalkan produksi biogas maka HRT yang digunakan adalah 40 hari. Sehingga, debit *slurry* yang dibutuhkan adalah

$$Q = \frac{V}{\tau} \quad (2.3)$$

$$= \frac{0,17 \text{ m}^3}{40 \text{ hari}} = 4.92 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s} \approx 4 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{hari}$$

Sedangkan campuran eceng gondok dan air yang dipilih yaitu perbandingan 1:4 berdasarkan grafik hasil penelitian berikut:



Gambar 3.7 Produksi biogas dengan berbagai konsentrasi eceng gondok dengan air
(Sumber : Jagadish H. Patil dkk, 2011)

Dengan menggunakan persamaan (2.2) maka dapat dihitung massa jenis slurry,

$$\rho_{slurry} = \frac{100\%}{\left[\frac{25\%}{670} + \frac{(100\% - 25\%)}{995,7} \right]} = 888,1 \text{ kg/m}^3$$

Dengan debit *slurry* sebanyak $4,92 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s} \approx 4 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{hari}$ maka massa eceng gondok yang diproses per hari adalah sebanyak 0,84 kg/hari.

3. Gas Holder

Gas holder berfungsi menampung biogas yang berasal dari digester. Bagian-bagian gas holder terdiri dari:

- Plastik biogas

Plastik biogas yang digunakan berkapasitas 40L berfungsi sebagai penampung biogas yang dihasilkan digester.

- Kotak ukur

Kotak ukur yang dibuat berbentuk kotak persegi yang berfungsi sebagai wadah/dinding plastik biogas. Fleksibilitas plastik akan mengikuti bentuk dinding kotak ukur.

- Indikator level

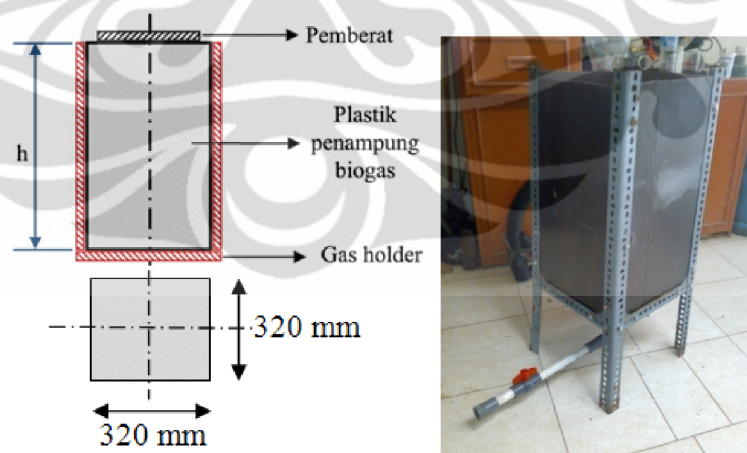
Level indikator berfungsi sebagai penunjuk level biogas. Dengan mengetahui perubahan level biogas dan luas alas kotak ukur maka volume biogas dapat diketahui.

- Pemberat

Pemberat berfungsi untuk memberikan tekanan pada biogas, sehingga pada saat pengukuran dapat menunjukkan tekanan yang sama dan juga berfungsi sebagai penunjuk level biogas. Pipa buang gas digunakan untuk mengeluarkan biogas apabila kapasitasnya penuh. Saluran pipa ini dilengkapi dengan dua katup sebagai penutup aliran biogasnya.

Tabel 3.4 Spesifikasi *Gas Holder*

Tinggi	: 500 mm
Panjang	: 320 mm
Lebar	: 320 mm
Material rangka	: Besi <i>profile</i>
Material dinding	: Plastik



Gambar 3.8 *Gas holder*

4. Manometer U H₂O

Manometer U digunakan untuk mengukur tekanan biogas yang dihasilkan. Fluida ukur yang digunakan adalah air (H₂O) yang mempunyai massa jenis 998 kg/m³. Kertas millimeter blok digunakan untuk mengukur perbedaan ketinggian

air akibat tekanan biogas. Salah satu pipa manometer dipasang pada outlet gas digester dan pipa lainnya terpasang bebas ke udara luar. Kalibrasi alat ukur dilakukan dengan cara seting level yang sama antara tekanan biogas dan tekanan udara luar.



Gambar 3.9 Manometer $U H_2O$

5. Termokopel

Dua termokopel diletakkan di dalam digester. Tipe termokopel yang digunakan adalah tipe K dengan kisaran temperatur yang sesuai dengan temperatur kerja *mesophiles* yaitu 20°C - 40°C .

Tabel 3.5 Spesifikasi Termokopel

Tipe	: K
Range	: -10°C sampai 100°C
Akurasi	: $\pm 1^{\circ}\text{C}$
Power	: AC 220 Volt
Display	: Digital



Gambar 3.10 Termokopel dan display pada digester

6. pH Meter

pH meter yang digunakan sebagai indikator keasaman adalah kertas lakmus. Pengukuran keasaman dilakukan dengan mencelupkan kertas lakmus pada *shurry*

secara langsung kemudian perubahan warna pada lakmus di amati dan dicocokkan dengan warna standar yang menunjukkan tingkat keasamannya.



Gambar 3.11 Kertas lakmus sebagai indikator pH

3.4 Uji Kebocoran

Setelah semua sistem pemipaan serta komponennya terpasang, maka terlebih dahulu dilakukan uji kebocoran dengan tujuan agar pada saat dibebani sistem berjalan dengan baik tanpa adanya kebocoran. Adapun prosedurnya adalah sebagai berikut :

1. *Feeder tank* dan digester diisi dengan air sampai terisi penuh.
2. Tandai setiap tempat yang menjadi indikasi kebocoran untuk dapat diperbaiki.
3. Perbaiki kebocoran.
4. Tandai tekanan yang ada pada gas holder, kemudian tunggu hingga beberapa menit, jika tekanan tersebut berkurang maka ulangi dari langkah ke-3 hingga tekanan dipastikan tidak ada penurunan lagi.

3.5 Metode Pengambilan Data

Setelah semua proses persiapan dilewati maka pengambilan data dapat dilakukan. Pengambilan data dilakukan setiap satu kali dalam sehari.

a. Langkah Persiapan:

Langkah persiapan merupakan tahap pembebanan awal dimana digester diisi *slurry* untuk pertama kalinya sampai penuh. Tujuan pengkondisian ini dimaksudkan agar terjadi proses fermentasi awal substrat sampai menghasilkan biogas.

b. Langkah pengujian:

Langkah pengujian dilakukan setelah digester menghasilkan biogas awal.

Prosedur pengambilan data yang dilakukan adalah sebagai berikut:

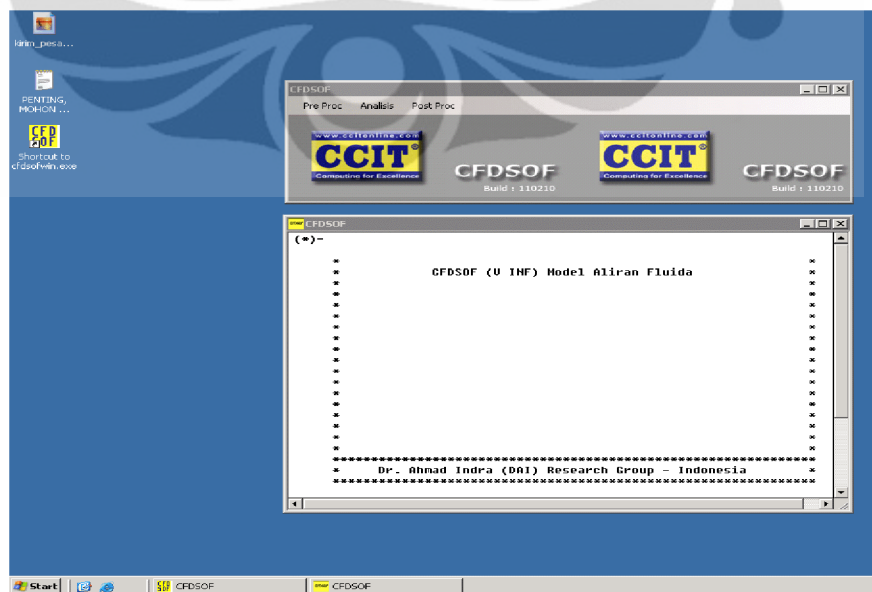
1. Siapkan *slurry* dari *feeder tank* menggunakan gelas ukur sebanyak 4 liter kemudian alirkan *slurry* menuju digester.
2. Tunggu pengujian selama ± 24 jam.
3. Catat temperatur *slurry* di dalam digester.
4. Ukur volume residu pada bagian *outlet* digester kemudian catat hasilnya.
5. Catat perubahan level *gas holder* pada tekanan biogas 8 mmH₂O.
6. Periksa *pH* residu dengan kertas lakmus.

3.6 Uji Nyala Biogas

Uji nyala biogas dilakukan dengan tujuan untuk memastikan bahwa biogas yang dihasilkan dapat dibakar. Pada uji nyala ini biogas dibakar menggunakan kompor gas dengan modifikasi pada sistim penyalanya.

3.7 Metode Simulasi

Simulasi pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak *CFDSOF*. Tampilan awal ketika akan melakukan simulasi akan muncul *window* seperti terlihat pada gambar 3.12 berikut:

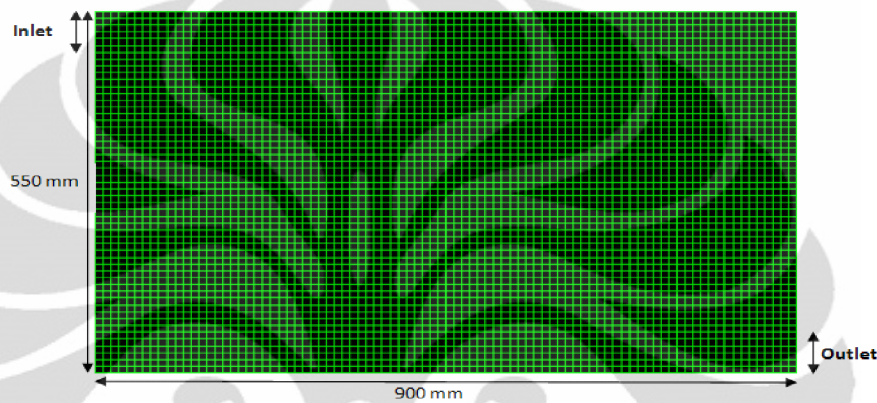


Gambar 3.12 Tampilan *window* *CFDSOF*

Adapun tahap-tahap simulasi yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Tahap *Meshing*

Tahap ini adalah tahap pembuatan *mesh* geometri terhadap objek yang di simulasikan. Bentuk domain adalah 2D dengan ukuran domain yang sama seperti objek (digester) dengan panjang 900 mm dan radius 550 mm. Saluran *inlet* dan *outlet* digester berdiameter 2 in sesuai dengan bentuk digester aktual.



Gambar 3.13 Grid model digester

2. Tahap *Pre-Processor*

Pada tahap ini dilakukan penentuan input parameter sebagai berikut:

a. Konstanta Fisikal

Konstanta fisikal merupakan sifat fluida yang disimulasikan yaitu $C_6H_{12}O_6$, CH_4 , dan CO_2 . Konstanta fisikal dari masing-masing spesies yang diinput diantaranya, massa jenis, berat molekul, entalpi formasi, viskositas fluida, konduktifitas termal, dan panas spesifik. Secara lengkap properti spesies yang disimulasikan terdapat pada tabel berikut:

Tabel 3.6 Properti bahan $C_6H_{12}O_6$, CH_4 , dan CO_2

Konstanta Fisikal	$C_6H_{12}O_6$	CH_4	CO_2
Massa Jenis, ρ (kg/m ³)	1199,943	1,819	2,814
Berat Molekul	180	16	44
Entalpi Formasi, h_f (J/kmol)	$-1,27 \times 10^9$	$-7,491 \times 10^7$	$-3,937 \times 10^8$
Viskositas FLuida (kg/m.s)	$1,7 \times 10^{-3}$	$1,027 \times 10^{-5}$	$1,372 \times 10^5$
Konduktifitas Termal (W/m.K)	3,957	$32,81 \times 10^{-3}$	$14,6 \times 10^{-3}$
Panas Spesifik, c_p (J/kg.K)	3500,165	2237,0	850,0

b. Kondisi Batas (*Boundary Condition*)

Kondisi batas model digester dilakukan dengan membagi domain kedalam dua zona yaitu *inlet* dan dinding (*wall*). Kondisi batas yang didefinisikan pada simulasi diantaranya:

- Kondisi batas kecepatan

Kondisi batas kecepatan pada *inlet* merupakan kecepatan $C_6H_{12}O_6$ yang dapat dihitung dengan persamaan (2.12). Dengan mengetahui debit *slurry* $4 \times 10^{-3} m^3/s$ dan diameter pipa *inlet* $2 \text{ inc} = 5,08 \times 10^{-2} m$, maka:

$$v = \frac{Q}{A} \tag{2.12}$$

$$= \frac{4,92 \times 10^{-8}}{\frac{1}{4} \times \pi \times (5,08 \times 10^{-2})^2} = 2,43 \times 10^{-5} m/s$$

- Kondisi batas temperatur

Temperatur di *wall* digester ditetapkan sebagai dinding adiabatik dengan set input fluks panas sama dengan nol sedangkan temperatur *inlet* digester diset konstan pada temperatur 299 K.

- Kondisi batas spesies kimia

Kondisi batas spesies kimia $C_6H_{12}O_6$ sebagai pereaksi di sisi *inlet* di set memiliki fraksi massa sama dengan 1.

3. Tahap Perhitungan

Pada tahap ini dilakukan perhitungan (iterasi) simulasi oleh *solver* terhadap konstanta fisikal dan kondisi batas simulasi yang telah didefinisikan.

4. Tahap *Post-Processor*

Tahap post-processor merupakan tahap hasil simulasi reaksi. Hasil simulasi yang ditampilkan adalah plot kontur permukaan 2D yang terdiri dari:

- Plot kontur fraksi massa $C_6H_{12}O_6$
- Plot kontur fraksi massa CH_4
- Plot kontur fraksi massa CO_2
- Plot kontur temperatur

BAB 4

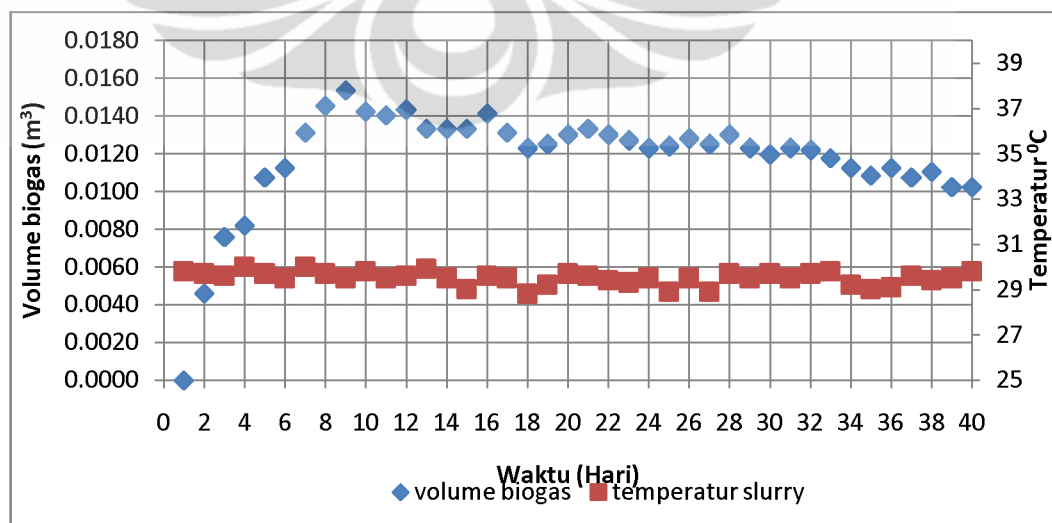
HASIL DAN ANALISA

4.1 Hasil dan Analisa Produksi Biogas pada Pengujian Prototype Digester

Prototype digester di uji untuk memperoleh hubungan produksi biogas yang dihasilkan digester terhadap waktu (HRT) pada kondisi debit *slurry* tetap. Selain itu, pengujian dilakukan untuk mengetahui kesetimbangan massa *slurry* masuk, residu dan biogas yang mampu dihasilkan oleh digester. Dengan perhitungan terhadap volume digester dan HRT yang ditentukan selama 40 hari, maka dibutuhkan *flow rate slurry* sebanyak $4.92 \times 10^{-8} m^3/s$. Digester yang direncanakan menggunakan sistem aliran kontinyu, akan tetapi pada pelaksanaannya sistem tersebut sulit dilakukan terutama pada pengaturan bukaan katup input *slurry* dikarenakan debit *slurry* terlalu rendah juga homogenitas campuran substrat dan air yang sulit dijaga. Sehingga, untuk mengatasi kesulitan tersebut pengujian digester dilakukan dengan memasukan *slurry* dalam skala hari menjadi $4 \times 10^{-3} m^3/hari$. Dengan kondisi-kondisi tersebut maka diperoleh data pengujian sebagai berikut:

1. Volume Produksi Biogas dan Temperatur Proses Fermentasi

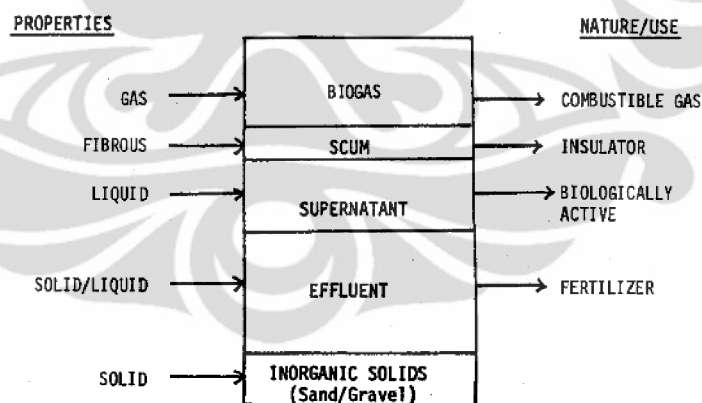
Hubungan volume biogas yang dihasilkan digester terhadap waktu terlihat pada grafik berikut:



Gambar 4.1 Grafik hubungan volume produksi biogas dan temperatur terhadap waktu (HRT)

Titik yang berwarna biru menunjukkan *trend* volume biogas yang dihasilkan digester perhari. Sedangkan, titik merah menunjukkan *trend* temperatur proses fermentasi digester. Data hasil pengujian tersebut diperoleh setelah 20 hari dilakukan pembebanan awal sampai mulai terbentuknya biogas yang terukur. Grafik di atas menunjukkan bahwa volume biogas maksimal yang dihasilkan mencapai $0,015 \text{ m}^3$ dan terendah adalah 0.01 m^3 . Volume biogas terbanyak diperoleh pada saat 15 hari pertama biogas mulai terbentuk dan rentang waktu antara hari ke-17 sampai hari ke-28 produksi biogas menunjukkan volume produksi yang stabil. Sedangkan untuk 12 hari sesudahnya, *trend* volume biogas menunjukkan penurunan produksi.

Penurunan produksi ini dapat disebabkan oleh terbentuknya lapisan (*scum*) yang berada pada lapisan antara biogas yang terbentuk dan lapisan pembentuk biogas (*supernatant*). Lapisan ini mengakibatkan terhambatnya proses pelepasan biogas oleh lapisan *supernatant* karena lapisan *scum* bersifat sebagai insulator. Proses agitasi yang kurang baik mengakibatkan terbentuknya lapisan tersebut sehingga tidak terjadi homogenitas substrat.



Gambar 4.2 Dekomposisi anaerob material organik pada digester biogas

(Sumber: Vita Publication, 1980)

Pengujian digester selama 40 hari menghasilkan produksi biogas rata-rata sebanyak $0,012 \text{ m}^3/\text{hari}$ dengan konsumsi volume total *slurry* sebanyak $152 \times 10^{-3} \text{ m}^3$. *Slurry* tersebut menghasilkan volume biogas total sebanyak $460,1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ dan sisanya keluar dalam bentuk residu sebanyak $144,2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$. Dengan massa jenis biogas $0,6679 \text{ kg/m}^3$ (sumber: EPA, 2005) maka diperoleh kesetimbangan massa biogas yang dapat dilihat pada tabel berikut:

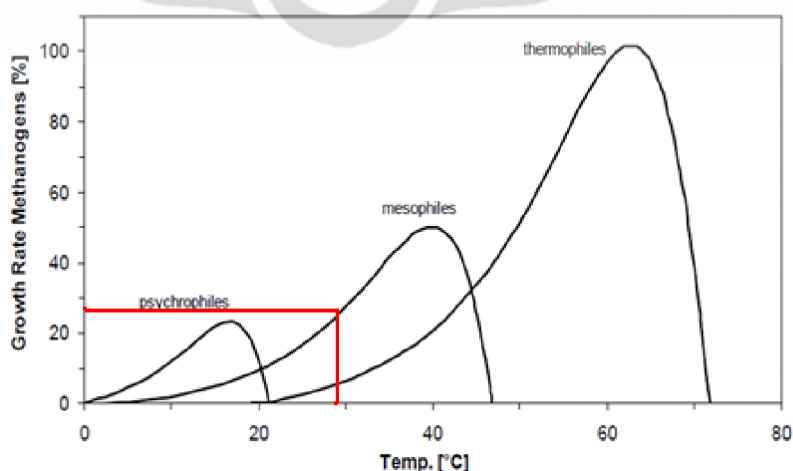
Tabel 4.1 Keseimbangan massa produksi biogas

	Slurry	Biogas	Residu
Volume (m ³)	156 x 10 ⁻³	461 x 10 ⁻³	144,2 x 10 ⁻³
Massa (kg)	138,544	0,308	127,05

Dengan kandungan CH₄ dan CO₂ sebesar 50% dan 30%, maka massa gas methana dan karbon dioksida masing-masing bernilai 0,154 kg dan 0,0924 kg. Pada table 4.1 terdapat selisih massa antara volume *slurry* dan residu sebesar 6,88 kg. Massa *slurry* yang hilang tersebut kemungkinan telah berubah menjadi biogas pada proses penguraian (*degradable*) substrat atau juga berupa bahan padat anorganik yang mengendap dipermukaan dasar digester.

Temperatur proses fermentasi pada gambar 4.1 menunjukkan bahwa temperatur *slurry* selama proses fermentasi relatif tetap pada kisaran temperatur *mesophiles* dengan rata-rata 29,6⁰C. Sedangkan, temperatur tertinggi yang dicapai *slurry* yaitu 29,8⁰C dan terendah sebesar 29,2⁰C. Temperatur tersebut merupakan temperatur alami yang mampu dicapai *slurry* selama proses fermentasi di dalam digester. Temperatur yang relatif konstan berakibat pada volume produksi biogas yang stabil per harinya.

Berdasarkan pada gambar 2.3 yang menunjukkan grafik temperatur produksi biogas, diketahui bahwa pada kisaran temperatur 28⁰C menunjukkan persentase pertumbuhan bakteri *mesophiles* sekitar 30%.

Gambar 4.3 Persentase pertumbuhan bakteri methanogen pada temperatur 29⁰C

Persentase tersebut menunjukkan bahwa produksi biogas belum dapat mencapai titik optimal karena persentase keberadaan bakteri methanogen masih berjumlah sedikit disebabkan temperatur kerja digester belum mencapai temperatur maksimal.

2. Tekanan Biogas dan *pH Slurry*

Tekanan biogas yang terukur oleh manometer U H₂O stabil pada tekanan 101,403 kPa. Tekanan biogas yang tidak terlalu tinggi merupakan keuntungan terutama dari sisi keamanan penggunaan biogas karena tekanannya yang rendah. Namun di sisi lain, hal ini menimbulkan kendala khususnya pada proses penyimpanan biogas. Biogas merupakan gas yang sulit untuk dikompres meskipun tekanan yang diberikan sebesar 13 MPa, sebagai perbandingan dibutuhkan 14 galon biogas untuk menghasilkan nilai energi yang sama dengan 1 galon bahan bakar Diesel (Peter Wright, 2002).

Keasaman *slurry* selama proses fermentasi yang diuji dengan menggunakan indikator *pH* kertas lakmus menunjukkan nilai keasaman yang tetap pada *pH* 7. Tingkat keasaman 6,5 sampai 8 merupakan tingkat keasaman yang baik pada proses fermentasi anaerob (Michael Schoen, 2009).

4.2 Hasil dan Analisa Simulasi *CFD*

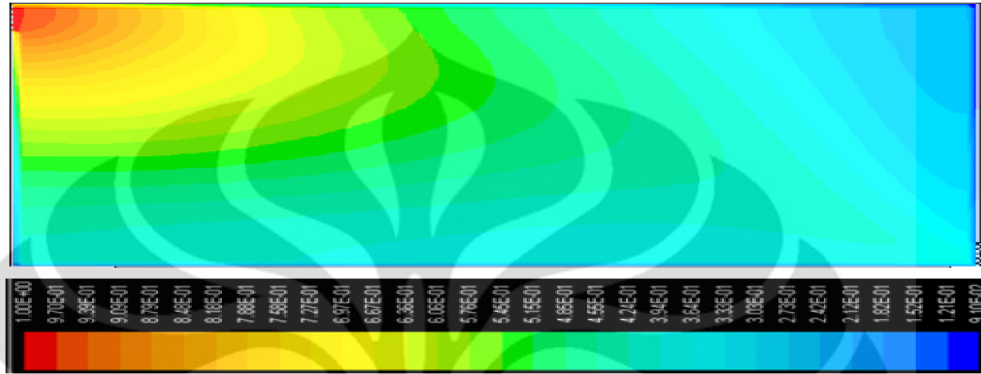
Simulasi komputasional dilakukan untuk membantu memahami fenomena reaksi kimia yang terjadi di dalam digester biogas. Reaksi kimia yang kompleks pada pembentukan biogas disederhanakan menjadi reaksi yang terdiri dari tiga spesies kimia yaitu glukosa (C₆H₁₂O₆), methana (CH₄), dan karbon dioksida (CO₂) sesuai dengan persamaan,



Simulasi reaksi kimia dengan program *CFDSOF* mensimulasikan fraksi massa masing-masing spesies reaksi. Berikut adalah hasil simulasi reaksi kimia pembentukan biogas.

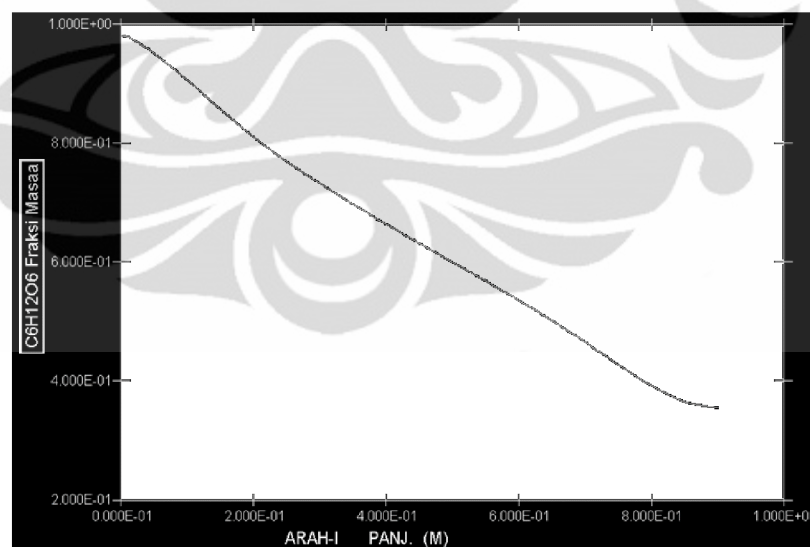
1. Fraksi Massa $C_6H_{12}O_6$

$C_6H_{12}O_6$ sebagai pereaksi menunjukkan nilai fraksi massa yang terus menurun mulai dari sisi *inlet* sampai *outlet*. Nilai fraksi massa yang besar di sisi *inlet* menunjukkan bahwa glukosa belum mengalami reaksi sehingga belum terjadi penguraian menjadi spesies kimia produk.



Gambar 4.4 Kontur fraksi massa $C_6H_{12}O_6$ di dalam digester

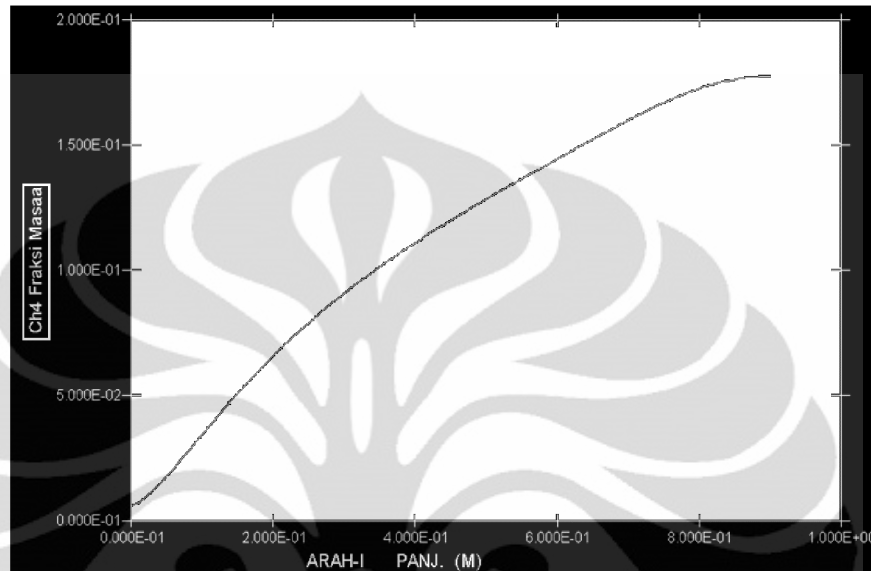
Sepanjang digester menuju sisi *outlet*, fraksi massa glukosa menurun yang menunjukkan terus terjadinya penguraian glukosa menjadi gas CH_4 dan CO_2 . Penurunan nilai fraksi massa tersebut dapat dilihat pada grafik berikut.



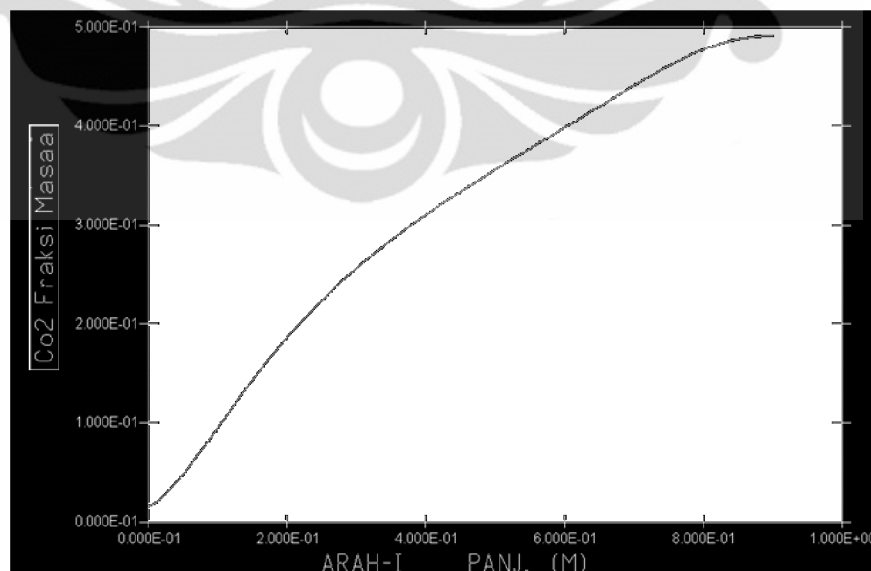
Gambar 4.5 Grafik fraksi massa $C_6H_{12}O_6$ terhadap panjang digester

Nilai fraksi massa $C_6H_{12}O_6$ tertinggi adalah 1, hal tersebut mendekati dengan nilai fraksi massa $C_6H_{12}O_6$ yang didefinisikan sebelumnya dengan nilai fraksi massa 1. Sedangkan nilai fraksi massa $C_6H_{12}O_6$ terendah mencapai 0,091.

Peningkatan tersebut berbanding terbalik dengan fraksi massa $C_6H_{12}O_6$ dimana nilainya semakin berkurang. Hal tersebut diakibatkan karena $C_6H_{12}O_6$ terus terurai sehingga membentuk gas CH_4 dan CO_2 .



Gambar 4.8 Grafik fraksi massa CH_4 terhadap panjang digester. Fraksi massa CH_4 yang terbentuk berkisar antara nilai 0 sampai 0,2455. Sedangkan fraksi massa CO_2 seperti terlihat pada gambar 4.7 nilainya berkisar antara 0 hingga 0,728.



Gambar 4.9 Grafik fraksi massa CO_2 terhadap panjang digester

Nilai fraksi massa rata-rata hasil simulasi untuk $C_6H_{12}O_6$ sebesar 0,9994, CH_4 sebesar 0,2435, dan CO_2 sebesar 0,7129. Hasil tersebut diperoleh dengan menjumlahkan seluruh nilai fraksi massa spesies pada tiap sel geometri. Nilai fraksi massa maksimum CH_4 dari hasil simulasi ternyata lebih rendah daripada fraksi massa CO_2 . Hasil ini menunjukkan reaksi kimia berada pada kesetimbangan stoikiometri. Dengan mengalikan berat molekul pada tiap-tiap spesies dengan koefisien kesetimbangan molar, maka:



Dengan berat molekul untuk spesies,

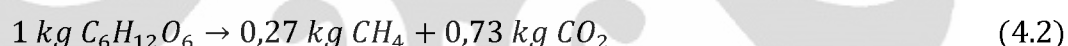
$$C_6H_{12}O_6 = 180$$

$$CH_4 = 16$$

$$CO_2 = 44, \text{ maka:}$$



Dengan membagi persamaan di ruas kiri dan kanan oleh koefisien $C_6H_{12}O_6$, maka:



Kesetimbangan massa reaksi pada persamaan terakhir di atas dapat diartikan bahwa untuk fraksi massa $C_6H_{12}O_6 = 1$ maka akan menghasilkan produk reaksi CH_4 dan CO_2 dengan fraksi massa masing-masing sebesar 0,27 dan 0,73. Sesuai dengan persamaan (2.26) fraksi massa untuk $C_6H_{12}O_6$ menjadi,

$$x_{C_6H_{12}O_6} = \frac{\text{Massa}_{C_6H_{12}O_6}}{\text{Massa}_{CH_4} + \text{Massa}_{CO_2}} \quad (4.3)$$

Adapun selisih fraksi massa antara simulasi dan hasil perhitungan teoritis adalah

Tabel 4.2 Selisih fraksi massa antara hasil simulasi dan teoritis

Fraksi Massa	Teoritis	Simulasi	Selisih (%)
$C_6H_{12}O_6$	1,00	0,9994	0,06 %
CH_4	0,27	0,2435	9,81 %
CO_2	0,73	0,7129	2,34 %

Dengan nilai *flow rate* dan volume model yang disimulasikan sama dengan digester aktual, maka dengan massa jenis $C_6H_{12}O_6$ sebesar 1199,943 kg/m^3 diperoleh nilai massa $C_6H_{12}O_6$ sebanyak 203,99 kg. Dengan persamaan (2.23) dan berdasarkan fraksi massa simulasi diperoleh massa CH_4 dan CO_2 sebesar,

- Massa CH_4 = massa $C_6H_{12}O_6$ × fraksi massa CH_4 = 50,5 kg
- Massa CO_2 = massa $C_6H_{12}O_6$ × fraksi massa CO_2 = 153,58 kg

Hasil tersebut merupakan hasil ideal dimana sejumlah spesies $C_6H_{12}O_6$ akan terurai secara sempurna menjadi gas CH_4 dan CO_2 . Berbeda pada kondisi sebenarnya bahwa substrat yang terfermentasi secara anaerob tidak seluruhnya berubah menjadi gas metana dan karbon dioksida melainkan menghasilkan residu atau material yang tidak mampu terurai.

Nilai fraksi massa atau persentase metana hasil simulasi tersebut berbeda dengan data fraksi massa berdasarkan literatur yang menunjukkan bahwa kadar metana eceng gondok yang terkandung dalam biogas nilainya berkisar antara 50% sampai 70% dan karbon dioksida sebesar 30% sampai 40% (FAO, 1986).

Perbedaan antara data hasil simulasi dan data aktual dapat terjadi karena persamaan reaksi yang disimulasikan merupakan persamaan kimia ideal untuk seluruh jenis bahan organik sehingga hasil simulasi tidak merepresentasikan properti bahan secara spesifik untuk masing-masing jenis biomassa.

3. Temperatur Reaksi

Perubahan kalor atau entalpi yang terjadi selama proses penerimaan atau pelepasan kalor pada simulasi reaksi kimia di atas dapat dinyatakan dengan perubahan entalpi (ΔH). Diketahui bahwa persamaan kimia reaksi adalah



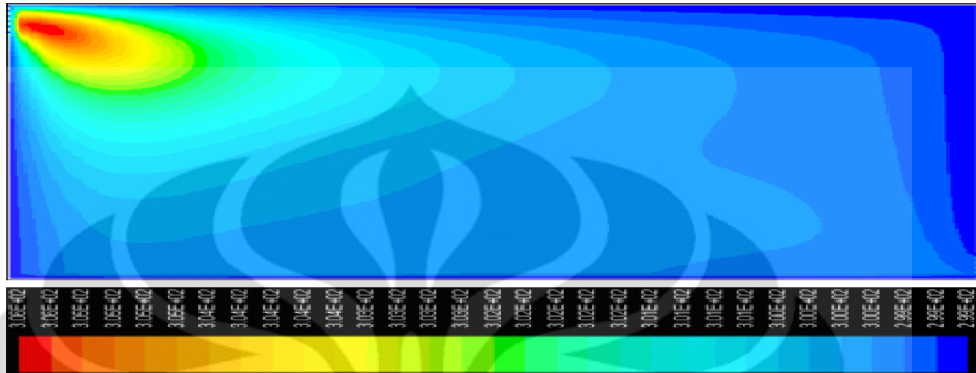
ΔH reaksi di atas dapat dihitung dengan mengurangi perubahan entalpi formasi (ΔH_f) produk reaksi dengan (ΔH_f) pereaksi, sehingga:

$$\Delta H = (\Delta H_f CH_4 + \Delta H_f CO_2) - \Delta H_f C_6H_{12}O_6 \quad (4.4)$$

Dengan nilai ΔH_f untuk masing-masing spesies yang terdapat pada tabel Tabel 3.6 maka nilai ΔH reaksi, yaitu:

$$\begin{aligned} \Delta H &= \left(3(-7,491 \times 10^7 \frac{J}{kmol}) + 3(-3,937 \times 10^8 \frac{J}{kmol}) \right) - (-1,27 \\ &\quad \times 10^9 \frac{J}{kmol}) \\ &= -135 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Tanda negatif pada ΔH menunjukkan bahwa pada reaksi persamaan (2.15) terjadi reaksi eksoterm, yaitu reaksi yang menghasilkan energi atau melepaskan kalor. Temperatur reaksi kimia simulasi di dalam digester dapat di lihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Kontur temperatur reaksi kimia di dalam digester

Temperatur reaksi tertinggi terjadi pada sisi inlet sebesar 303 K sedangkan terendah mencapai 299 K. Gradien temperatur terjadi karena reaktan bercampur dan mengalami reaksi kimia dan terjadi perpindahan panas. Dengan asumsi pada dinding digester merupakan kondisi batas adiabatik maka beda temperatur pada sisi *inlet* dan *outlet* sebesar 4⁰C.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

- *Prototype* digester yang diuji dengan debit aliran *slurry* $4 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{hari}$ menghasilkan sebanyak $460,1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ biogas dan temperatur *slurry* selama proses fermentasi relatif tetap pada temperature $29,6^\circ\text{C}$.
- Dari hasil simulasi diperoleh fraksi massa rata-rata $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ sebesar 0,9994 sedangkan CH_4 dan CO_2 masing-masing sebesar 0,2435 dan 0,7129.
- Fraksi massa $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ nilainya berbanding terbalik terhadap *hydraulic retention time* sedangkan untuk nilai fraksi massa CH_4 dan CO_2 terus meningkat dengan terus bertambahnya *hydraulic retention time*.

5.2. SARAN

- Untuk mencegah terbentuknya lapisan *scum*, perlu ditambahkan agitator pada digester untuk mengoptimalkan homogenitas *slurry* sehingga produksi biogas dapat optimal.
- Pemasangan *heater* pada digester untuk meningkatkan temperature *slurry* sehingga dapat meningkatkan produksi biogas.
- Pada penelitian berikutnya diperlukan pengujian biogas dengan *chromatography* agar dapat mengetahui kandungan gas metana dan karbon dioksida secara aktual sebagai validasi data hasil simulasi.
- Agar diperoleh hasil simulasi yang lebih baik pada penelitian selanjutnya, diperlukan simulasi dengan persamaan reaksi yang dapat merepresentasikan komponen-komponen biogas secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- B. Wu, E.L Bibeau, K.G. Gibremedhin, 2009, *Three-Dimensional Numerical Simulation Model of Biogas Production For Anaerobic Digesters*, Department of Mechanical and Manufacturing Engineering University of Manitoba Canada, Department of Biological and Environmental Engineering Cornell University, Ithaca.
- Deublin Dieter, Steinhauser Angelika, 2008 “*Biogas from Waste and Renewable Resources*”, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Jagadish H. Patil, MALourdu AntonyRaj and C. C. Gavimath, *Impact Of Dilution BioMethanation Of Fresh Water Hyacinth* International Journal of Chemical Sciences and Applications ISSN 0976-2590 Vol 2, Issue 1, 2011, pp 86-90. Department Of Chemical Engineering, R V College Of Engineering, Bangalore-560059 Department of Biotechnology, Basaveshwar College Of Engineering, Bagalkot <http://www.bipublication.com>
- Kossmann Werner, Pönitz Uta, Habermehl Stefan, Thomas Hoerz, Pedro Krämer, B. Klingler, C. Kellner, Thomas Wittur, F. v. Klopotek, A. Krieg, H. Euler, “*Biogas Digest*”, Volume 1, Volume 2, Volume 3, Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT) GATE in Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH (German Agency for Technical Cooperation), Household Energy Appropriate Technologies (HEAT) GmbH, Naturgerechte Technologien, Bau- und Wirtschaftsberatung (TBW) GmbH
- Munson, Bruce R., Donald F. Young, and Theodore H. Okiishi. 2002, “*Fundamentals of Fluid Mechanics*”, 4th ed. John Wiley & Sons, Inc.
- Schön Michael, 2009, *Numerical Modeling of Anaerobic Digestion Processes in Agricultural Biogas Plants*, Dissertation Eingereicht An Der Leopold-Franzens Universität Innsbruck Fakultät Für Bauingenieurwissenschaften zur Erlangung des akademischen Grades, Austria.
- Siswantara. Indra Ahmad, 2011, *Tutorial CFD SOF: Simulasi Pembakaran BBG*, Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Indonesia.
- Suryawan. Bambang, 2009, *Energi Biomasa*, Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Indonesia.
- Universitas Indonesia, 2008, *Pedoman Teknis Penulisan Tugas Akhir Mahasiswa Universitas Indonesia*, Universitas Indonesia, Depok.

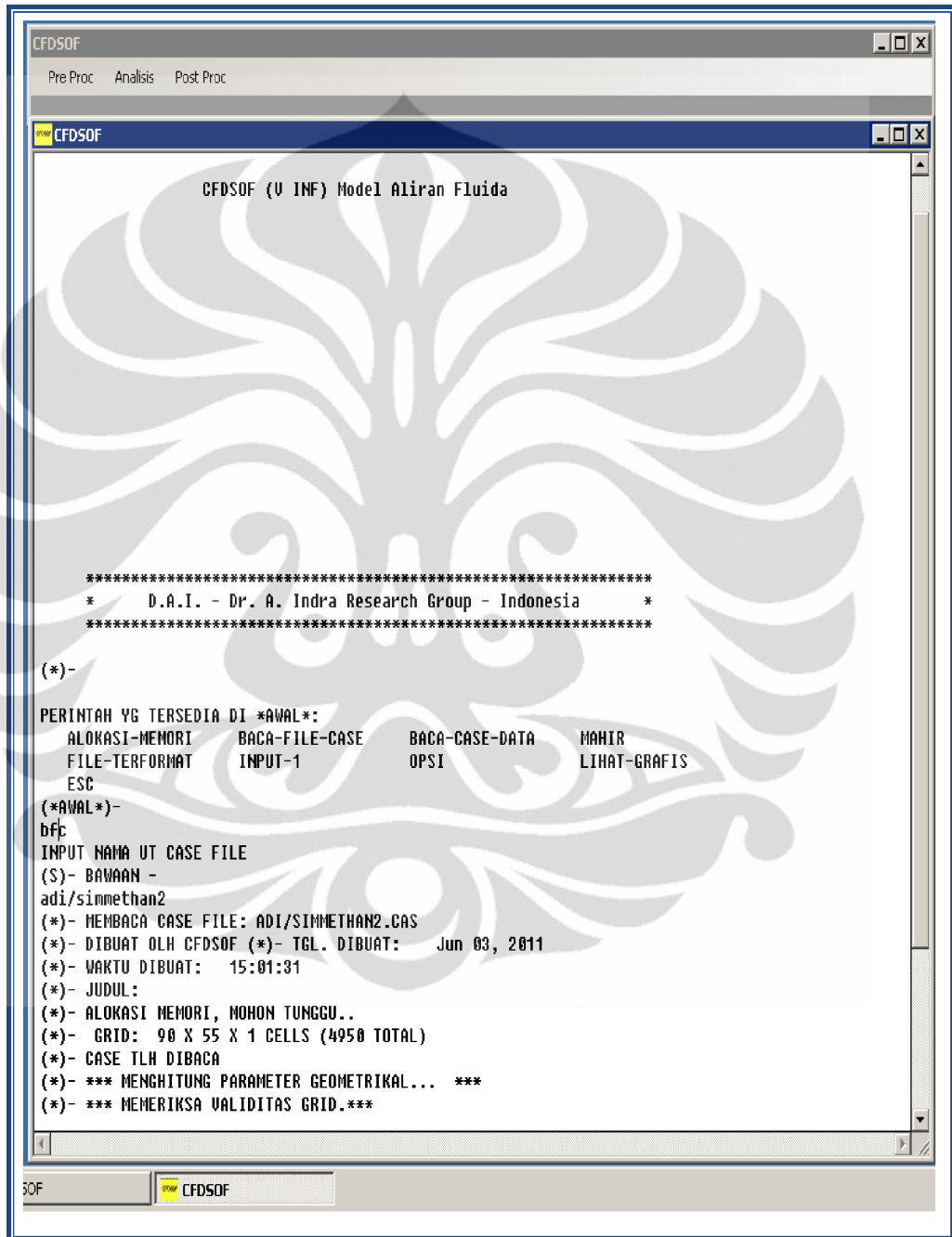
Versteeg H.K, Malalasekera. W, 2007 “*Computational Fluid Dynamic, The Finite Volume Method*”, Second Edition, Pearson Prentice-Hall.

Wright. Peter, *Overview Of US Experiences With Farm Scale Biogas Plants*, Biological and Environmental Engineering Department Cornell University



LAMPIRAN 1

Lembar Legalisasi Penggunaan *Software CFDSOF*



LAMPIRAN 2

Universitas Indonesia


```

DIMENSI          UKRN-DOMAIN    JUMLH-CELL    SLR          ESC
(SET-DOMAIN)-
d
(I)- JUMLAH DIMENSI FISIKAL DALAM DOMAIN    (2 / 3)
(I)- ++(BAWAAN    2)++

```

(I)- BAWAAN DIPAKAI

```

PERINTAH YG TERSEDIA DI SET-DOMAIN:
DIMENSI          UKRN-DOMAIN    JUMLH-CELL    SLR          ESC
(SET-DOMAIN)-

```

```

ud
(L)- PILIH KOORDINAT SIMETRIS-SUMBU?
(L)- Y / N    ++(BAWAAN -N )++
y
(R)- PANJNG DOMAIN
(R)- SAT. = M ++(BAWAAN    1.0000E+00)++
0.9
(R)- RADIUS DALAM ANULUS
(R)- SAT. = M ++(BAWAAN    0.0000E-01)++
(R)- BAWAAN DIPAKAI
(R)- RADIUS LUAR ANULUS
(R)- SAT. = M ++(BAWAAN    1.0000E+00)++
0.55
(R)- SUDUT SEKTOR (PAKAI HNY UTK OUTPUT)
(R)- SAT. = RAD ++(BAWAAN    1.0000E+00)++
(R)- BAWAAN DIPAKAI

```

```

PERINTAH YG TERSEDIA DI SET-DOMAIN:
DIMENSI          UKRN-DOMAIN    JUMLH-CELL    SLR          ESC
(SET-DOMAIN)-

```

```

PERINTAH YG TERSEDIA DI SET-DOMAIN:
DIMENSI          UKRN-DOMAIN    JUMLH-CELL    SLR          ESC
(SET-DOMAIN)-
jc

```

```

(I)- AKS:  ARAH (I)
(I)- ++(BAWAAN    10)++
90
(I)- RAD:  ARAH (J)
(I)- ++(BAWAAN    10)++
55

```

```

PERINTAH YG TERSEDIA DI SET-DOMAIN:
DIMENSI          UKRN-DOMAIN    JUMLH-CELL    SLR          ESC
(SET-DOMAIN)-

```

```

slr
(I)- JUMLAH DIMENSI FISIKAL DALAM DOMAIN    (2 / 3)
(I)- ++(BAWAAN    2)++
(I)- BAWAAN DIPAKAI
(L)- PILIH KOORDINAT SIMETRIS-SUMBU?
(L)- Y / N    ++(BAWAAN -Y )++
(L)- BAWAAN DIPAKAI

```

```

(R)- PANJNG DOMAIN
(R)- SAT. = M ++(BAWAAN  9.0000E-01)++

(R)- BAWAAN DIPAKAI

(R)- RADIUS DALAM ANULUS
(R)- SAT. = M ++(BAWAAN  0.0000E-01)++

(R)- BAWAAN DIPAKAI

(R)- RADIUS LUAR ANULUS
(R)- SAT. = M ++(BAWAAN  5.5000E-01)++

(R)- BAWAAN DIPAKAI

(R)- SUDUT SEKTOR (PAKAI HNY UTK OUTPUT)
(R)- SAT. = RAD ++(BAWAAN  1.0000E+00)++

(R)- BAWAAN DIPAKAI

(R)- BAWAAN DIPAKAI

(I)- AKS:  ARAH (I)
(I)- ++(BAWAAN  90)++

(I)- BAWAAN DIPAKAI

(I)- RAD:  ARAH (J)
(I)- ++(BAWAAN  55)++

(I)- BAWAAN DIPAKAI

(*)- SISTEM KOORDINAT TELAH DIUBAH.
(*)- PANJNG DOMAIN TLH DIUBAH.
(*)- TINGGI DOMAIN TLH DIUBAH
(*)- JUMLAH CELL PADA  I->ARAH TELAH BERUBAH.
(*)- JUMLAH CELL PADA  J->ARAH TELAH BERUBAH.
(*)- MBENTUK GRD SRAGAM I->ARH.
(*)- MBENTUK GRD SRAGAM J->ARH.
(*)- MBENTUK GRD SRAGAM K->ARH.
(*)- INISIALISASI TIPE CELL..

PERINTAH YG TERSEDIA DI INPUT1:
JUDUL          BACA-FILE-GRID          ATUR-DOMAIN
BATAS-TAYANGAN  BANGUN-GRID            MNIPULASI-GRID
KOORDINAT-NODAL  UBAH-CELL              ATUR-MODEL
KONSTANTA-FISIKAL  ATUR-CELL              DAFTR-CELL
KONDISI-SEMPADAN  DAFTR-SEMPANDAN       DAFTR-KONS-FISIKAL
LIHAT-GRAFIS      MAHIR                   ESC
(INPUT1)-

ac
(*)- *SET CELL *
(I)- INPUT I KE1
(I)- ++(BAWAAN  1)++
1
(I)- INPUT I KE2
(I)- ++(BAWAAN  90)++
1
(I)- INPUT J KE1
(I)- ++(BAWAAN  1)++
49
(I)- INPUT J KE2
(I)- ++(BAWAAN  55)++
54

PERINTAH YG TERSEDIA DI SEMPDN:
W-WALL      Z-WALL      SYMMETRY      .(LIVE)      CYCLIC      OUTLET
INLET       AXIS        ESC
(SEMPDN)-
in

PERINTAH YG TERSEDIA DI PILIH-ZONA:
  1  2  3  4  5  6  7  8  9  A  B  C  D  E  F  G  H  I  J
  K  L  M  N  O  P  Q  R  S  T  U  U  W  X  Y  Z  ESC
(PILIH-ZONA)-
1

```


PERINTAH YG TERSEDIA DI INPUT1:

JUDUL	BACA-FILE-GRID	ATUR-DOMAIN
BATAS-TAYANGAN	BANGUN-GRID	MNIPULASI-GRID
KOORDINAT-NODAL	UBAH-CELL	ATUR-MODEL
KONSTANTA-FISIKAL	ATUR-CELL	DAFTR-CELL
KONDISI-SEMPADAN	DAFTR-SEMPANDAN	DAFTR-KONS-FISIKAL
LIHAT-GRAFIS	MAHIR	ESC

(INPUT1)-

ac

(*)- *SET CELL *

(I)- INPUT I KE1

(I)- ++(BAWAAN 1)++

90

(I)- INPUT I KE2

(I)- ++(BAWAAN 90)++

90

(I)- INPUT J KE1

(I)- ++(BAWAAN 1)++

2

(I)- INPUT J KE2

(I)- ++(BAWAAN 55)++

0

PERINTAH YG TERSEDIA DI SEMPDN:

W-WALL	Z-WALL	SYMMETRY	.(LIVE)	CYCLIC	OUTLET
INLET	AXIS	ESC			

(SEMPDN)-

0

PERINTAH YG TERSEDIA DI INPUT1:

JUDUL	BACA-FILE-GRID	ATUR-DOMAIN
BATAS-TAYANGAN	BANGUN-GRID	MNIPULASI-GRID
KOORDINAT-NODAL	UBAH-CELL	ATUR-MODEL
KONSTANTA-FISIKAL	ATUR-CELL	DAFTR-CELL
KONDISI-SEMPADAN	DAFTR-SEMPANDAN	DAFTR-KONS-FISIKAL
LIHAT-GRAFIS	MAHIR	ESC

(INPUT1)-

PERINTAH YG TERSEDIA DI INPUT1:

JUDUL	BACA-FILE-GRID	ATUR-DOMAIN
BATAS-TAYANGAN	BANGUN-GRID	MNIPULASI-GRID
KOORDINAT-NODAL	UBAH-CELL	ATUR-MODEL
KONSTANTA-FISIKAL	ATUR-CELL	DAFTR-CELL
KONDISI-SEMPADAN	DAFTR-SEMPANDAN	DAFTR-KONS-FISIKAL
LIHAT-GRAFIS	MAHIR	ESC

(INPUT1)-

am

PERINTAH YG TERSEDIA DI ATUR-MODEL:

SWIRL	PINDAH-PANAS	TURBULENSI
	RADIASI	SPESES-DAN-KIMIA
	ESC	

(ATUR-MODEL)-

pp

(*)- ** MODEL PINDAH PANAS **

(L)- HITUNG TEMPERATUR?

(L)- Y / N ++(BAWAAN -N)++

y

(L)- PAKAI KONDISI SEMPADAN FLUKS PANAS?

(L)- Y / N ++(BAWAAN -N)++

y

(L)- WALL PINDAH PANAS EKSTERNAL?

(L)- Y / N ++(BAWAAN -N)++

(L)- BAWAAN DIPAKAI

(L)- KONDUKSI DI WALL?

(L)- Y / N ++(BAWAAN -N)++

(L)- BAWAAN DIPAKAI

(L)- AKTIFKAN KONVEKSI PD WALL KNDUKTIF?

(L)- Y / N ++(BAWAAN -N)++

(L)- BAWAAN DIPAKAI

(L)- KONDUKSI DI WALL?
(L)- Y / N ++(BAWAAN -N)++

(L)- BAWAAN DIPAKAI

(L)- AKTIFKAN KONVEKSI PD WALL KNDUKTIF?
(L)- Y / N ++(BAWAAN -N)++

(L)- BAWAAN DIPAKAI

PERINTAH YG TERSEDIA DI ATUR-MODEL:

SWIRL	PINDAH-PANAS	TURBULENSI
	RADIASI	SPEKIES-DAN-KIMIA
	ESC	

tu
(*)- ** MODEL TURBULENSI (PILIH SATU SAJA) **

(L)- K-EPSILON?
(L)- Y / N ++(BAWAAN -N)++

y
(L)- RNG K-EPSILON?
(L)- Y / N ++(BAWAAN -N)++

(L)- BAWAAN DIPAKAI

(L)- REYNOLDS STRESS?
(L)- Y / N ++(BAWAAN -N)++

(L)- BAWAAN DIPAKAI

(*)- ** MODEL FISIKAL TURBULENSI **

(L)- PAKAI FUNGSI-WALL STANDAR?
(L)- Y / N ++(BAWAAN -Y)++

(L)- BAWAAN DIPAKAI

(*)- *** MENGHITUNG PARAMETER GEOMETRIKAL... ***

PERINTAH YG TERSEDIA DI ATUR-MODEL:

SWIRL	PINDAH-PANAS	TURBULENSI
RADIASI	SPEKIES-DAN-KIMIA	
ESC		

(ATUR-MODEL)-

sdk
(*)- ** MODEL KIMIA (PILIH SATU SAJA) **

(L)- SPEKIES NON-REAKSI?
(L)- Y / N ++(BAWAAN -N)++

y
(L)- REAKSI LAJU HINGGA?
(L)- Y / N ++(BAWAAN -N)++

(L)- BAWAAN DIPAKAI

(L)- DIFUSI PDF?
(L)- Y / N ++(BAWAAN -N)++

(L)- BAWAAN DIPAKAI

(L)- MENJEJAK PREMIXED FRONT?
(L)- Y / N ++(BAWAAN -N)++

(L)- BAWAAN DIPAKAI

PERINTAH YG TERSEDIA DI SPEKIES NON-REAKSI:

JUMLAH-SPEKIES	ATUR-SPEKIES	ESC
----------------	--------------	-----

(SPEKIES NON-REAKSI)-

js
(*)- ** SPEKIES **
(I)- JUMLAH TOTAL SPEKIES KIMIAMI

(I)- ++(BAWAAN 2)++
3

(L)- PAKAI INPUT FRAKSI MOL (ATAU SEBALIKNYA FRAKSI MASSA)?

(L)- Y / N ++(BAWAAN -N)++

n

PERINTAH YG TERSEDIA DI SPEKIES NON-REAKSI:

JUMLAH-SPEKIES	ATUR-SPEKIES	ESC
----------------	--------------	-----

(SPEKIES NON-REAKSI)-

```

js
(*)- ** SPESIES **
(I)- JUMLAH TOTAL SPESIES KIMIAMI
(L)- ++(BAWAAN 2)++
3
(L)- PAKAI INPUT FRAKSI MOL (ATAU SEBALIKNYA FRAKSI MASSA)?
(L)- V / N ++(BAWAAN -N )++
n

PERINTAH YG TERSEDIA DI SPESIES NON-REAKSI:
JUMLAH-SPESES ATUR-SPESES ESC
(SPESES NON-REAKSI)-
as
SPESIES 1
(S)- BAWAAN - SPESIES 1
C6H12O6
SPESIES 2
(S)- BAWAAN - SPESIES 2
CH4
SPESIES 3
(S)- BAWAAN - SPESIES 3
CO2

PERINTAH YG TERSEDIA DI SPESIES NON-REAKSI:
JUMLAH-SPESES ATUR-SPESES ESC
(SPESES NON-REAKSI)-
es

PERINTAH YG TERSEDIA DI ATUR-MODEL:
SWIRL PINDAH-PANAS TURBULENSI
RADIASI SPESIES-DAN-KIMIA
ESC
(ATUR-MODEL)-

PERINTAH YG TERSEDIA DI INPUT1:
JUDUL BACA-FILE-GRID ATUR-DOMAIN
BATAS-TAYANGAN BANGUN-GRID MMIPULASI-GRID
KOORDINAT-MODAL UBAH-CELL ATUR-MODEL
ATUR-SPESES KONSTANTA-FISIKAL ATUR-CELL
DAFTAR-CELL KONDISI-SEMPAPAN DAFTAR-SEMPAPAN
DAFTAR-KONS-FISIKAL LIHAT-GRAFIS MAHIR
ESC
(INPUT1)-
kf

PERINTAH YG TERSEDIA DI KONSTANTA-FISIKAL:
DNSITAS USKOSITAS KONDUKTIVITAS-TERMAL
CP-PANAS-JENIS BERAT-MOLEKUL OPSI-PROPERTI
ENTALPI-FORMASI ANGKA-SCHMIDT KOEF.-DIFUSI-BINARI
TEKANAN-OPERASI ESC
(KONSTANTA-FISIKAL)-
dn
(L)- PAKAI HK GAS?
(L)- V / N ++(BAWAAN -N )++
n

PERINTAH YG TERSEDIA DI PEMILIHAN-SPESES:
C6H12O6 CH4 CO2 ESC
(PEMILIHAN-SPESES)-
C6H12O6
(*)- ATUR DENSITY OF C6H12O6 (KG/M3)
(*)- SEBAGAI FUNGSI TEMPERATUR (K)
(*)-
(I)- JUMLAH KOEFISIEN (+VE = POLYNOM., -VE = P.W.LINEAR, -1 = HARMONIC)
(L)- ++(BAWAAN 1)++
1
(R)- DENSITY OF C6H12O6 (KG/M3)
(R)- SAT. = KG/M3 ++(BAWAAN 1.0000E+03)++
1199.943

PERINTAH YG TERSEDIA DI PEMILIHAN-SPESES:
C6H12O6 CH4 CO2 ESC
(PEMILIHAN-SPESES)-
CH4
(*)- ATUR DENSITY OF CH4 (KG/M3)
(*)- SEBAGAI FUNGSI TEMPERATUR (K)
(*)-
(I)- JUMLAH KOEFISIEN (+VE = POLYNOM., -VE = P.W.LINEAR, -1 = HARMONIC)
(L)- ++(BAWAAN 1)++
1
(R)- DENSITY OF CH4 (KG/M3)
(R)- SAT. = KG/M3 ++(BAWAAN 1.0000E+03)++
1.819

PERINTAH YG TERSEDIA DI PEMILIHAN-SPESES:
C6H12O6 CH4 CO2 ESC
(PEMILIHAN-SPESES)-
CO2
(*)- ATUR DENSITY OF CO2 (KG/M3)
(*)- SEBAGAI FUNGSI TEMPERATUR (K)
(*)-
(I)- JUMLAH KOEFISIEN (+VE = POLYNOM., -VE = P.W.LINEAR, -1 = HARMONIC)
(L)- ++(BAWAAN 1)++
1
(R)- DENSITY OF CO2 (KG/M3)
(R)- SAT. = KG/M3 ++(BAWAAN 1.0000E+03)++
2.814

PERINTAH YG TERSEDIA DI PEMILIHAN-SPESES:
C6H12O6 CH4 CO2 ESC
(PEMILIHAN-SPESES)-
es

PERINTAH YG TERSEDIA DI KONSTANTA-FISIKAL:
DNSITAS USKOSITAS KONDUKTIVITAS-TERMAL
CP-PANAS-JENIS BERAT-MOLEKUL OPSI-PROPERTI
ENTALPI-FORMASI ANGKA-SCHMIDT KOEF.-DIFUSI-BINARI
TEKANAN-OPERASI ESC
(KONSTANTA-FISIKAL)-

```

```

bm
(R)- C6H12O6
(R)- SAT. = DIM ++(BAWAAN 2.8970E+01)++
180
(R)- CH4
(R)- SAT. = DIM ++(BAWAAN 2.8970E+01)++
16
(R)- CO2
(R)- SAT. = DIM ++(BAWAAN 2.8970E+01)++
44

```

PERINTAH YG TERSEDIA DI KONSTANTA-FISIKAL:

DNSITAS	USKOSITAS	KNDUKTIVITAS-TERMAL
CP-PANAS-JENIS	BERAT-MOLEKUL	OPSI-PROPERTI
ENTALPI-FORMASI	ANGKA-SCHMIDT	KOEF.-DIFUSI-BINARI
TEKANAN-OPERASI	ESC	

(KONSTANTA-FISIKAL)-

us

```

(*)- ATUR USKOSITAS FLUIDA (KG/M-S)
(*)- SEBAGAI FUNGSI TEMPERATUR (K)
(*)-
(I)- JUMLAH KOEFISIEN (+VE = POLYNOM., -VE = P.W.LINEAR, -1 = HARMONIC)
(I)- ++(BAWAAN 1)++
1
(R)- USKOSITAS FLUIDA (KG/M-S)
(R)- SAT. = KG/M-S ++(BAWAAN 9.0000E-04)++
0.001733

```

PERINTAH YG TERSEDIA DI KONSTANTA-FISIKAL:

DNSITAS	USKOSITAS	KNDUKTIVITAS-TERMAL
CP-PANAS-JENIS	BERAT-MOLEKUL	OPSI-PROPERTI
ENTALPI-FORMASI	ANGKA-SCHMIDT	KOEF.-DIFUSI-BINARI
TEKANAN-OPERASI	ESC	

(KONSTANTA-FISIKAL)-

kt

```

(*)- ATUR KONDUKTIVITAS TERMAL FLUIDA (W/M-K)
(*)- SEBAGAI FUNGSI TEMPERATUR (K)
(*)-
(I)- JUMLAH KOEFISIEN (+VE = POLYNOM., -VE = P.W.LINEAR, -1 = HARMONIC)
(I)- ++(BAWAAN 1)++
1
(R)- KONDUKTIVITAS TERMAL FLUIDA (W/M-K)
(R)- SAT. = W/M-K ++(BAWAAN 6.0000E-01)++
3.957

```

PERINTAH YG TERSEDIA DI KONSTANTA-FISIKAL:

DNSITAS	USKOSITAS	KNDUKTIVITAS-TERMAL
CP-PANAS-JENIS	BERAT-MOLEKUL	OPSI-PROPERTI
ENTALPI-FORMASI	ANGKA-SCHMIDT	KOEF.-DIFUSI-BINARI
TEKANAN-OPERASI	ESC	

(KONSTANTA-FISIKAL)-

cp

```

(R)- TEMPERATUR ACUAN UNTUK ENTALPI
(R)- SAT. = K ++(BAWAAN 2.7300E+02)++

```

(R)- BAWAAN DIPAKAI

```

(*)- ATUR PANAS SPSIFIK FLUIDA (J/KG-K)
(*)- SEBAGAI FUNGSI TEMPERATUR (K)
(*)-
(I)- JUMLAH KOEFISIEN (+VE = POLYNOM., -VE = P.W.LINEAR, -1 = HARMONIC)
(I)- ++(BAWAAN 1)++
1
(R)- PANAS SPSIFIK FLUIDA (J/KG-K)
(R)- SAT. = J/KG-K ++(BAWAAN 4.1800E+03)++
3500.165

```

PERINTAH YG TERSEDIA DI KONSTANTA-FISIKAL:

DNSITAS	USKOSITAS	KNDUKTIVITAS-TERMAL
CP-PANAS-JENIS	BERAT-MOLEKUL	OPSI-PROPERTI
ENTALPI-FORMASI	ANGKA-SCHMIDT	KOEF.-DIFUSI-BINARI
TEKANAN-OPERASI	ESC	

(KONSTANTA-FISIKAL)-

en

```

(R)- ENTALPI FORMASI UNTUK C6H12O6
(R)- SAT. = J/KMOL ++(BAWAAN 0.0000E-01)++
-1.271E9
(R)- TEMPERATUR ACUAN UNTUK C6H12O6
(R)- SAT. = K ++(BAWAAN 2.9815E+02)++

```

(R)- BAWAAN DIPAKAI

(R)- ENTALPI FORMASI UNTUK CH4
 (R)- SAT. = J/KMOL ++(BAWAAN 0.0000E-01)++
 -7.491E7
 (R)- TEMPERATUR ACUAN UNTUK CH4
 (R)- SAT. = K ++(BAWAAN 2.9815E+02)++

(R)- BAWAAN DIPAKAI

(R)- ENTALPI FORMASI UNTUK CO2
 (R)- SAT. = J/KMOL ++(BAWAAN 0.0000E-01)++
 -3.937E8
 (R)- TEMPERATUR ACUAN UNTUK CO2
 (R)- SAT. = K ++(BAWAAN 2.9815E+02)++

(R)- BAWAAN DIPAKAI

PERINTAH YG TERSEDIA DI KONSTANTA-FISIKAL:

DNSITAS	USKOSITAS	KNDUKTIIVITAS-TERMAL
CP-PANAS-JENIS	BERAT-MOLEKUL	OPSI-PROPERTI
ENTALPI-FORMASI	ANGKA-SCHMIDT	KOEF.-DIFUSI-BINARI
TEKANAN-OPERASI	ESC	

(KONSTANTA-FISIKAL)-

to

(R)- INPUT TEKANAN OPERASI
 (R)- SAT. = PA ++(BAWAAN 1.0132E+05)++

(INPUT1)-
 dkf

PERINTAH YG TERSEDIA DI DAFTR-KONSTANTA-FISIKAL:

SLR	DNSITAS	USKOSITAS
BERAT-MOLEKUL	KNDUKTIIVITAS-TERMAL	CP-PANAS-JENIS
KOEF.-DIFUSI-BINARI	ANGKA-SCHMIDT	TEKANAN-OPERASI
ESC		

(DAFTR-KONSTANTA-FISIKAL)-
 slr

- DEFINISI DENSITAS UTK C6H12O6

DNSITAS = 1.200E+03

- DEFINISI DENSITAS UTK CH4

DNSITAS = 1.819E+00

- DEFINISI DENSITAS UTK CO2

DNSITAS = 2.814E+00

+++ TEKAN <ENTER> UTK LANJUT, (S) UTK MENGGULUNG LAYAR, (Q) UTK ESC. +++

- BERAT MOLEKULAR SPESIES -

NAMA SPES	BERAT MOLKR
C6H12O6	1.8000E+02
CH4	1.6000E+01
CO2	4.4000E+01

+++ TEKAN <ENTER> UTK LANJUT, (S) UTK MENGGULUNG LAYAR, (Q) UTK ESC. +++

- DEFINISI VISKOSITAS CAMPURN -

- DEFINISI VISKOSITAS

USKOSITAS = 1.733E-03

+++ TEKAN <ENTER> UTK LANJUT, (S) UTK MENGGULUNG LAYAR, (Q) UTK ESC. +++

- DEFINISI KONDUKTIVITAS TERMAL CAMPURAN -
 - DEFINISI KONDUKTIVITAS TERMAL
 K = 3.957E+00
 +++ TEKAN <ENTER> UTK LANJUT, (S) UTK MENGGULUNG LAYAR, (Q) UTK ESC. +++

- DEFINISI PANAS SPESIFIK CAMPURAN -
 - DEFINISI PANAS SPESIFIK
 CP = 3.500E+03
 TEMPERATUR ACUAN ENTALPI = 2.7300E+02
 +++ TEKAN <ENTER> UTK LANJUT, (S) UTK MENGGULUNG LAYAR, (Q) UTK ESC. +++

KOEFISIEN DIFUSI BINARI UNTUK C6H12O6 DL CAMPURAN :
 DIJ = 2.880E-05
 KOEFISIEN DIFUSI BINARI UNTUK CH4 DL CAMPURAN :
 DIJ = 2.880E-05

- INFORMASI ANGKA SCHMIDT -

NAMA SPES	ANGKA SCHMIDT
C6H12O6	7.0000E-01
CH4	7.0000E-01

+++ TEKAN <ENTER> UTK LANJUT, (S) UTK MENGGULUNG LAYAR, (Q) UTK ESC. +++
 TEKANAN OPERASI UNTUK GAS NON-IDEAL : 1.0132E+05
 LOKASI TEKANAN ACUAN :
 IREF = 1 JREF = 1

+++ TEKAN <ENTER> UTK LANJUT, (S) UTK MENGGULUNG LAYAR, (Q) UTK ESC. +++
 +++ TEKAN <ENTER> UTK LANJUT, (S) UTK MENGGULUNG LAYAR, (Q) UTK ESC. +++

PERINTAH YG TERSEDIA DI INPUT1:

JUDUL	BACA-FILE-GRID	ATUR-DOMAIN	BATAS-TAYANGAN	BANGUN-GRID	MANIPULASI-GRID	KOORDI
UBAH-CELL	ATUR-MODEL	ATUR-SPESTES	KONSTANTA-FISIKAL	ATUR-CELL	DAFTAR-CELL	KONDISI
DAFTAR-SEMPANDAN	DAFTAR-KONS-FISIKAL	LIHAT-GRAFIS	MAHIR	ESC		

 (INPUT1)-

PERINTAH YG TERSEDIA DI INPUT1:

JUDUL	BACA-FILE-GRID	ATUR-DOMAIN	BATAS-TAYANGAN	BANGUN-GRID	MANIPULASI-GRID	KOORDI
UBAH-CELL	ATUR-MODEL	ATUR-SPESTES	KONSTANTA-FISIKAL	ATUR-CELL	DAFTAR-CELL	KONDISI
DAFTAR-SEMPANDAN	DAFTAR-KONS-FISIKAL	LIHAT-GRAFIS	MAHIR	ESC		

 (INPUT1)-
 ks

PERINTAH YG TERSEDIA DI SEMPADAN:

V-WALL	Z-WALL	SYMMETRY	.(LIVE)	CYCLIC	OUTLET	INLET	AXIS	ESC
--------	--------	----------	---------	--------	--------	-------	------	-----

 (SEMPADAN)-
 w

PERINTAH YG TERSEDIA DI PILIH-ZONA:
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z ESC
 (PILIH-ZONA)-
 1

PERINTAH YG TERSEDIA DI W1-KONDISI-SEMPADAN-ZONA:

TEMPERATUR	FLUK-PHAS	KECEPATN-U	KECEPATN-V	ESC
------------	-----------	------------	------------	-----

 (W1-KONDISI-SEMPADAN-ZONA)-
 ten
 (R)- TEMPERATUR
 (R)- SAT. = K ++(BAWAAN 2.7300E+02)++
 299

PERINTAH YG TERSEDIA DI W1-KONDISI-SEMPADAN-ZONA:

TEMPERATUR	FLUK-PHAS	KECEPATN-U	KECEPATN-V	ESC
------------	-----------	------------	------------	-----

 (W1-KONDISI-SEMPADAN-ZONA)-
 es

PERINTAH YG TERSEDIA DI INPUT1:

JUDUL	BACA-FILE-GRID	ATUR-DOMAIN	BATAS-TAYANGAN	BANGUN-GRID	MANIPULASI-GRID	KOORDI
UBAH-CELL	ATUR-MODEL	ATUR-SPESTES	KONSTANTA-FISIKAL	ATUR-CELL	DAFTAR-CELL	KONDISI
DAFTAR-SEMPANDAN	DAFTAR-KONS-FISIKAL	LIHAT-GRAFIS	MAHIR	ESC		

 (INPUT1)-
 ks

PERINTAH YG TERSEDIA DI PILIH-ZONA:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z ESC
(PILIH-ZONA)-
1

PERINTAH YG TERSEDIA DI W1-KONDISI-SEMPADAN-ZONA:

TEMPERATUR FLUK-PNAS KECEPATN-U KECEPATN-V ESC
(W1-KONDISI-SEMPADAN-ZONA)-
fp
(R)- INPUT FLUK PNAS
(R)- SAT. = W/M2 ++(BAWAAN 0.0000E-01)++
0
(*)- SKRG KONDISI SEMPADAN TERMAL DITETAPKAN SBG FLUK PNAS

PERINTAH YG TERSEDIA DI W1-KONDISI-SEMPADAN-ZONA:

TEMPERATUR FLUK-PNAS KECEPATN-U KECEPATN-V ESC
(W1-KONDISI-SEMPADAN-ZONA)-
es

PERINTAH YG TERSEDIA DI I1-KONDISI-SEMPADAN-ZONA:

SPESTES-KINIA KECEPATN-NORMAL KECEPATN-U KECEPATN-V TEMPERATUR-STATIK INTNSITAS/PAN
ESC
(I1-KONDISI-SEMPADAN-ZONA)-
it
(R)- INTENSITAS TURB (PERSEN)
(R)- SAT. = DIH ++(BAWAAN 1.0000E+01)++
10
(R)- PANJANG KARAKTERISTIK
(R)- SAT. = M ++(BAWAAN 1.0000E+00)++
0.005

PERINTAH YG TERSEDIA DI I1-KONDISI-SEMPADAN-ZONA:

SPESTES-KINIA KECEPATN-NORMAL KECEPATN-U KECEPATN-V TEMPERATUR-STATIK INTNSITAS/PANJ
ESC
(I1-KONDISI-SEMPADAN-ZONA)-
sk

PERINTAH YG TERSEDIA DI PEMILIHAN-SPESTES:

C6H12O6 CH4 ESC
(PEMILIHAN-SPESTES)-
C6H12O6
(R)- C6H12O6 FRAKSI MASSA
(R)- SAT. = DIH ++(BAWAAN 0.0000E-01)++
1

PERINTAH YG TERSEDIA DI PEMILIHAN-SPESTES:

C6H12O6 CH4 ESC
(PEMILIHAN-SPESTES)-

es

PERINTAH YG TERSEDIA DI INPUT1:

JUDUL	BACA-FILE-GRID	ATUR-DOMAIN	BATAS-TAYANGAN	BANGUN-GRID	MANIPULASI-GRID
UBAH-CELL	ATUR-MODEL	ATUR-SPESES	KONSTANTA-FISIKAL	ATUR-CELL	DAFTR-CELL
DAFTR-SEMPADAN	DAFTR-KONS-FISIKAL	LIHAT-GRAFIS	MAHIR	ESC	

(INPUT1)-

ds

PERINTAH YG TERSEDIA DI DAFTAR-SEMPADAN:

SLR	VARIABL-ALIRAN	SPESES	TERMAL	ESC
-----	----------------	--------	--------	-----

(DAFTAR-SEMPADAN)-

slr

- KONDISI SEMPADAN KECEPATAN -

ZONE	KEC.-U	KEC.-V	NORMAL
W1	0.00E+01	0.00E+01	N/A
I1	N/A	N/A	2.30E-05

+++ TEKAN <ENTER> UTK LANJUT, (S) UTK MENGGULUNG LAYAR, (Q) UTK ESC. +++

- KONDISI SEMPADAN TURBULENSI -

- MODEL TWO EQUATION -

ZONE	TURB.-INTEN.	CHAR.-LENGTH
W1	SET	SET
I1	1.000E+01	5.000E-03

+++ TEKAN <ENTER> UTK LANJUT, (S) UTK MENGGULUNG LAYAR, (Q) UTK ESC. +++

- KONDISI SEMPADAN TEMPERATUR -

ZONA	TEMPERATUR
W1	FLUK PHAS
I1	2.9900E+02

+++ TEKAN <ENTER> UTK LANJUT, (S) UTK MENGGULUNG LAYAR, (Q) UTK ESC. +++

+++ TEKAN <ENTER> UTK LANJUT, (S) UTK MENGGULUNG LAYAR, (Q) UTK ESC. +++

- KONDISI SEMPADAN SPESIES KINIA -

ZONA	COH1206	CH4
W1	LINK CUT	LINK CUT
I1	1.00E+00	0.00E-01

+++ TEKAN <ENTER> UTK LANJUT, (S) UTK MENGGULUNG LAYAR, (Q) UTK ESC. +++

PERINTAH YG TERSEDIA DI INPUT1:

JUDUL	BACA-FILE-GRID	ATUR-DOMAIN	BATAS-TAYANGAN	BANGUN-GRID	MANIPULASI-GRID	KOORDIN
UBAH-CELL	ATUR-MODEL	ATUR-SPESES	KONSTANTA-FISIKAL	ATUR-CELL	DAFTR-CELL	KONDISI-
DAFTR-SEMPADAN	DAFTR-KONS-FISIKAL	LIHAT-GRAFIS	MAHIR	ESC		

(INPUT1)-

an

PERINTAH YG TERSEDIA DI ATUR-MODEL: SWIRL PINDAH-PANAS TURBULENSI RADIASI SPESIES-DAN-KIMIA

(ATUR-MODEL)-
sdr
(*)- ** MODEL KIMIA (PILIH SATU SAJA) **
(L)- SPESIES NON-REAKSI?
(L)- Y / N ++(BAWAAN -Y)++
n
(L)- REAKSI LAJU HINGGA?
(L)- Y / N ++(BAWAAN -N)++
y
(L)- DIFUSI PDF?
(L)- Y / N ++(BAWAAN -N)++

(L)- BAWAAN DIPAKAI

(L)- MENJEJAK PREMIXED FRONT?
(L)- Y / N ++(BAWAAN -N)++

(L)- BAWAAN DIPAKAI

PERINTAH YG TERSEDIA DI LAJU-HINGGA: JUMLAH-SPEIES/REAKSI ATUR-SPEIES ESC

(LAJU-HINGGA)-
js
(*)- ** SPESIES DAN REAKSI **
(I)- JUMLAH TOTAL SPESIES KIMIAMI
(I)- ++(BAWAAN 3)++

(I)- BAWAAN DIPAKAI

(I)- JUMLAH SPESIES PERMUKAAN
(I)- ++(BAWAAN 0)++

(I)- BAWAAN DIPAKAI

(I)- JUMLAH REAKSI (0 = NON-REAKSI)
(I)- ++(BAWAAN 0)++

PERINTAH YG TERSEDIA DI LAJU-HINGGA: JUMLAH-SPEIES/REAKSI ATUR-SPEIES ATUR-REAKSI ESC

(LAJU-HINGGA)-
ar

PERINTAH YG TERSEDIA DI ATUR-REAKSI: STOIKIOMETRI RESTRIKSI-REAKSI ESC

(ATUR-REAKSI)-
st
(*)- ** KOEF. STOIKIOMETRI UNTUK REAKSI NOMOR 1 **
(R)- C6H12O6
(R)- SAT. = DIM ++(BAWAAN 0.0000E-01)++
1
(R)- CH4
(R)- SAT. = DIM ++(BAWAAN 0.0000E-01)++
-3
(R)- CO2
(R)- SAT. = DIM ++(BAWAAN 0.0000E-01)++
-3

PERINTAH YG TERSEDIA DI ATUR-REAKSI: STOIKIOMETRI KONSTANTA-LAJU RESTRIKSI-REAKSI ESC

(ATUR-REAKSI)-
kl
(*)- ** KONSTANTA LAJU UTK REAKSI NOMOR 1 **
(I)- TIPE REAKSI (0 = VOLUMETRIK/1 = PERMUKN)
(I)- ++(BAWAAN 0)++

(I)- BAWAAN DIPAKAI

(I)- RATE LAW (0 = ARRHENIUS+MIXING/>0 = USER)

(I)- ++(BAWAAN 0)++

(I)- BAWAAN DIPAKAI

(R)- FAKTOR PRA-EKSPONENSIAL ARHENIUS

(R)- SAT. = SATUAN KONSISTEN ++(BAWAAN 1.0000E+15)++

1E12

(R)- ENERGI AKTIVASI

(R)- SAT. = J/KMOL ++(BAWAAN 1.0000E+02)++

1E8

(R)- EKSPONEN LAJU UTK C6H12O6

(R)- SAT. = DIM ++(BAWAAN 1.0000E+00)++

1

(R)- EKSPONEN LAJU TEMPERATUR

(R)- SAT. = DIM ++(BAWAAN 0.0000E-01)++

1

(R)- KONSTANTA A LAJU MIXING REAKSI

(R)- SAT. = DIM ++(BAWAAN 4.0000E+00)++

4

(R)- KONSTANTA B LAJU MIXING REAKSI

(R)- SAT. = DIM ++(BAWAAN 5.0000E-01)++

(R)- BAWAAN DIPAKAI

PERINTAH YG TERSEDIA DI INPUT1:

JUDUL	BACA-FILE-GRID	ATUR-DOMAIN	BATAS-TAYANGAN	BANGUN-
UBAH-CELL	ATUR-MODEL	ATUR-REAKSI	ATUR-SPESES	KONSTAN
KONDISI-SEMPADAN	DAFTAR-SEMPANDAN	DAFTAR-KONS-FISIKAL	LIHAT-GRAFIS	MAHIR

(INPUT1)-

ma

PERINTAH YG TERSEDIA DI MAHIR:

OPSI	PARAMETER-SOLUSI	PILIH-VARIABEL	PENGENDUR-1
GAYA-BADAN	SATUAN	IKATAN-WAKTU	SOLUSI-PERS-LINIER
INSTALASI	SUBROUTIN-USER	RESET-JUMLAH-ITERASI	DISKRITISASI-DNSITAS

(MAHIR)-

pv

(*)- ** PILIH VARIABEL **

(L)- KEC.-U?

(L)- Y / N ++(BAWAAN -Y)++

(L)- BAWAAN DIPAKAI

(L)- KEC.-U?

(L)- Y / N ++(BAWAAN -Y)++

(L)- BAWAAN DIPAKAI

(L)- TEKANAN?

(L)- Y / N ++(BAWAAN -Y)++

(L)- BAWAAN DIPAKAI

(L)- TURBULENSI K.E. (E)?

(L)- Y / N ++(BAWAAN -Y)++

(L)- BAWAAN DIPAKAI

(L)- DISIPASI OLAKAN (D)?

(L)- Y / N ++(BAWAAN -Y)++

(L)- BAWAAN DIPAKAI

(L)- PROPERTI/TEMPERATUR?

(L)- Y / N ++(BAWAAN -Y)++

(L)- BAWAAN DIPAKAI

(L)- ENTALPI?

(L)- Y / N ++(BAWAAN -Y)++

(L)- BAWAAN DIPAKAI

(L)- C6H12O6?
(L)- Y / N ++(BAWAAN -Y)++

(L)- BAWAAN DIPAKAI

(L)- CH4?
(L)- Y / N ++(BAWAAN -Y)++

(L)- BAWAAN DIPAKAI

PERINTAH YG TERSEDIA DI MAHIR:

OPSI	PARAMETER-SOLUSI	PILIH-VARIABEL	PENGENDUR-1	PENGENDUR-2	MODEL-FISIKAL
GAYA-BADAN	SATUAN	IKATAN-WAKTU	SOLUSI-PERS-LINIER	BATAS-TAYANGAN	PARAMETER-LP
INSTALASI	SUBROUTIN-USER	RESET-JUMLAH-ITERASI	DISKRITISASI-DNSITAS	ESC	

(MAHIR)-
sp1

PERINTAH YG TERSEDIA DI SOLVER-PERS-LINIER:

TIPE-SOLVER	JALAR-SOLVER-LGS	PARAMETER-MULTI-GRID	LIHAT-PERFORMA-MG	MG-KOREKSI-BLOK	ESC
(SOLVER-PERS-LINIER)-					

mkb

PERINTAH YG TERSEDIA DI KOREKSI-BLOK:

TEKANAN	ENTALPI	C6H12O6	CH4	ESC
(KOREKSI-BLOK)-				
tek				
(*)- LEVEL MAKS. U/ AWALAN BLOK-MG KOREKSI				
(I)- I->ARAH				
(I)- ++(BAWAAN 0)++				
2				
(I)- J->ARAH				
(I)- ++(BAWAAN 0)++				
0				

PERINTAH YG TERSEDIA DI KOREKSI-BLOK:

TEKANAN	ENTALPI	C6H12O6	CH4	ESC
(KOREKSI-BLOK)-				
mkb				

PERINTAH YG TERSEDIA DI KOREKSI-BLOK:

TEKANAN	ENTALPI	C6H12O6	CH4	ESC
(KOREKSI-BLOK)-				
tek				
(*)- LEVEL MAKS. U/ AWALAN BLOK-MG KOREKSI				
(I)- I->ARAH				
(I)- ++(BAWAAN 0)++				
2				
(I)- J->ARAH				
(I)- ++(BAWAAN 0)++				
0				

PERINTAH YG TERSEDIA DI KOREKSI-BLOK:

TEKANAN	ENTALPI	C6H12O6	CH4	ESC
(KOREKSI-BLOK)-				
en				
(*)- LEVEL MAKS. U/ AWALAN BLOK-MG KOREKSI				
(I)- I->ARAH				
(I)- ++(BAWAAN 0)++				
2				
(I)- J->ARAH				
(I)- ++(BAWAAN 0)++				
(I)- BAWAAN DIPAKAI				

PERINTAH YG TERSEDIA DI PARAMETER-MULTI-GRID:
 PARAMETER-GLOBAL PARAMETER-REDUKSI-RESIDU KRITERIA-TERMINASI ESC
 (PARAMETER-MULTI-GRID)-
 prr
 (*)- PARAMETER REDUKSI RESIDU
 (R)- TEKAMAN
 (R)- SAT. = DIM ++(BAWAAN 7.0000E-01)++

(R)- BAWAAN DIPAKAI

 (R)- ENTALPI
 (R)- SAT. = DIM ++(BAWAAN 7.0000E-01)++

(R)- BAWAAN DIPAKAI

 (R)- C6H12O6
 (R)- SAT. = DIM ++(BAWAAN 7.0000E-01)++

(R)- BAWAAN DIPAKAI

 (R)- CH4
 (R)- SAT. = DIM ++(BAWAAN 7.0000E-01)++

(R)- BAWAAN DIPAKAI

PERINTAH YG TERSEDIA DI PARAMETER-MULTI-GRID:
 PARAMETER-GLOBAL PARAMETER-REDUKSI-RESIDU KRITERIA-TERMINASI ESC
 (PARAMETER-MULTI-GRID)-

PERINTAH YG TERSEDIA DI PARAMETER-MULTI-GRID:
 PARAMETER-GLOBAL PARAMETER-REDUKSI-RESIDU KRITERIA-TERMINASI ESC
 (PARAMETER-MULTI-GRID)-
 kt
 (*)- KRITERIA TERMINASI
 (R)- TEKAMAN
 (R)- SAT. = DIM ++(BAWAAN 1.0000E-01)++
 0.1

(R)- ENTALPI
 (R)- SAT. = DIM ++(BAWAAN 1.0000E-01)++
 0.001
 (R)- C6H12O6
 (R)- SAT. = DIM ++(BAWAAN 1.0000E-01)++
 0.1
 (R)- CH4
 (R)- SAT. = DIM ++(BAWAAN 1.0000E-01)++
 0.1

PERINTAH YG TERSEDIA DI PARAMETER-MULTI-GRID:
 PARAMETER-GLOBAL PARAMETER-REDUKSI-RESIDU KRITERIA-TERMINASI ESC
 (PARAMETER-MULTI-GRID)-
 es

PERINTAH YG TERSEDIA DI SOLVER-PERS-LINIER:
 TIPE-SOLVER JALAR-SOLVER-LGS PARAMETER-MULTI-GRID LIHAT-PERFORMA-MG MG-KOREKSI-BLOK
 (SOLVER-PERS-LINIER)-
 es

PERINTAH YG TERSEDIA DI MAHIR:
 OPSI PARAMETER-SOLUSI PILIH-VARIABEL PENGENDUR-1 PENGENDUR-2
 GAYA-BADAN SATUAN IKATAN-WAKTU SOLUSI-PERS-LINIER BATAS-TAVANGAN
 INSTALASI SUBRUTIN-USER RESET-JUMLAH-ITERASI DISKRITISASI-DNSITAS ESC
 (MAHIR)-
 es

PERINTAH YG TERSEDIA DI *AWAL*:
 BACA-FILE-CASE BACA-CASE-DATA BACA-FILE-DATA MAHIR FILE-TERFORMAT INPUT-1 ITER-1 TPEL
 INPUT-2 CETAK-FILE LIHAT-ALFA TULIS-FILE-CASE TULIS-CASE-DATA TULIS-FILE-DATA OPSI LIHAT-
 FILE-UNIVERSAL ESC

(*AWAL*)-
 tn
 (1)- I PERTAMA -
 (1)- ++(BAWAAN 1)++
 2
 (1)- I KEDUA -
 (1)- ++(BAWAAN 90)++
 89
 (1)- J PERTAMA -
 (1)- ++(BAWAAN 1)++
 2
 (1)- J KEDUA -
 (1)- ++(BAWAAN 55)++
 54

PERINTAH YG TERSEDIA DI PEMILIHAN-VARIABEL:
 BURNOUT-PTUKARN CP-PANAS-SPESTFK DNSITAS LAJU-DISIPASI USKOSITAS-EFERTIF KNDUKTIVITAS-EFERTIF
 ENERGI(TURB) PTUKARN-PANAS PTUKARAN-MASA PTUKARAN-X PTUKARAN-Y FRAKSI-MASSA
 USKOSITAS-MOLEKULER KECEPATAN-TEGAK TEKAMAN MOM-X-SUMBER MOM-Y-SUMBER PANAS-SUMBR
 KECEPATAN-TANGENSIAL TEMPERATUR KONDUKTIVITAS-TERMAL KECEPATN-U KECEPATN-U XOPSI-XTENSI
 ESC

(PEMILIHAN-VARIABEL)-
 ten
 (R)- INPUT NILAI-
 (R)- SAT. = K ++(BAWAAN 0.0000E-01)++
 299

PERINTAH YG TERSEDIA DI PEMILIHAN-VARIABEL:
 BURNOUT-PTUKARN CP-PANAS-SPESTFK DNSITAS LAJU-DISIPASI USKOSITAS-EFERTIF KNDUKTIVITAS-EFERTIF
 ENERGI(TURB) PTUKARN-PANAS PTUKARAN-MASA PTUKARAN-X PTUKARAN-Y FRAKSI-MASSA
 USKOSITAS-MOLEKULER KECEPATAN-TEGAK TEKAMAN MOM-X-SUMBER MOM-Y-SUMBER PANAS-SUMBR
 KECEPATAN-TANGENSIAL TEMPERATUR KONDUKTIVITAS-TERMAL KECEPATN-U KECEPATN-U XOPSI-XTENSI
 ESC

(PEMILIHAN-VARIABEL)-
 es

PERINTAH YG TERSEDIA DI *AWAL*:
 BACA-FILE-CASE BACA-CASE-DATA BACA-FILE-DATA MAHIR FILE-TERFORMAT INPUT-1 ITER-1 TPEL
 INPUT-2 CETAK-FILE LIHAT-ALFA TULIS-FILE-CASE TULIS-CASE-DATA TULIS-FILE-DATA OPSI LIHAT-
 FILE-UNIVERSAL ESC

(*AWAL*)-

PERINTAH YG TERSEDIA DI *AWAL*:
 BACA-FILE-CASE BACA-CASE-DATA BACA-FILE-DATA MAHIR FILE-TERFORMAT INPUT-1 ITER-1 TPEL
 INPUT-2 CETAK-FILE LIHAT-ALFA TULIS-FILE-CASE TULIS-CASE-DATA TULIS-FILE-DATA OPSI LIHAT-GRAFIS
 FILE-UNIVERSAL ESC

(*AWAL*)-

Ig

PERINTAH YG TERSEDIA DI LIHAT-GRAFIS:
 GRID GRID-PERBUKH GRID-ZONA OUTLINE OUTLINE-GEOMETRI TGA-TEKS
 SET-PARAMETER RENTANG-LIHAT DRIVER HARD-COPY METAFLE PLAY-BACK
 KONTUR KONTUR-PENUH PARAMETER-KONTUR ITEM-LABEL STREAKLINE PROFIL
 VEKTOR-KECEPATAN VEKTOR-DITETAPKN-USUR PARAMETER-VEKTOR PLOT-XY ATUR-LIHAT-GRFS KAPSI
 WARNA-MAP PILIH-WARNA BUKA-WINDOW TUTUP-WINDOW SET-WINDOW ESC

(LIHAT-GRAFIS)-
 kp

PERINTAH YG TERSEDIA DI PILIHAN-VARIABEL:

CP-PANAS-SPESTFK	DENSITY	LAJU-DISIPASI	VISKOSITAS-EFEKTIF	ENERGI(TURB)	PERTUKARAN-PHAS
PERTUKARAN-MASA	PERTUKARAN-X	PERTUKARAN-Y	FLUK-PHAS	PINDAH-PANAS -KOE.F.	FRAKSI-MASSA
FRAKSI-MOL	USKOSITAS-MOLEKULER	TEKANAN-STATIK-REL	TEKANAN-STATIK-ABS	OPSI LAJU-REA	FUNGSI-ARUS
FLUKS-MASA-PERMUH	TEMPERATUR	TEMPERATUR-PRBUKAAH	KONDUKTIVITAS-TERMAL	KONDUKTIVITAS-EFEKTIF	TEKANAN-TOTAL-REL
TEKANAN-TOTAL-ABS	TEMPERATUR-TOTAL	KECEPATN-U	KECEPATN-U	BESARNYA-KECEPATAN	SUMBER-HIDUK
SUMBER-HIDUK	SUMBER-PHAS	XOPSI-EKSTENSI	ESC		

PERINTAH YG TERSEDIA DI *AMAL*:

BACA-FILE-CASE	BACA-CASE-DATA	BACA-FILE-DATA	MAHIR	FILE-TERFORMAT	INPUT-1	ITER-1	TIPEL
INPUT-2	CETAK-FILE	LIHAT-ALFA	TULIS-FILE-CASE	TULIS-CASE-DATA	TULIS-FILE-DATA	OPSI	LIHAT-GRAFIS
FILE-UNIVERSAL	ESC						

(*AMAL*)-
1a

PERINTAH YG TERSEDIA DI LIHAT-ALFANUMERIK:

INTEGRASI-VARIABEL	PILIH-VARIABEL	BATAS-TAYANGAN	ESC
(LIHAT-ALFANUMERIK)- iw			
(I)- PILIH ARAH	(I = 1, J = 2)		
(I)- ++(BAWAAN 1)++			
(I)- BAWAAN DIPAKAI			
(I)- PILIH BDAHANG-I			
(I)- ++(BAWAAN 1)++			
(I)- BAWAAN DIPAKAI			
(L)- PILIH SUB-RANGE?			
(L)- V / T ++(BAWAAN -T)++			
(L)- BAWAAN DIPAKAI			
(L)- INTEGRASI U/ TIPE CELL?			
(L)- V / T ++(BAWAAN -T)++			
(L)- BAWAAN DIPAKAI			

PERINTAH YG TERSEDIA DI PILIHAN-VARIABEL:

CP-PANAS-SPESTFK	DENSITY	LAJU-DISIPASI	VISKOSITAS-EFEKTIF	ENERGI(TURB)	PERTUKARAN-PHAS
PERTUKARAN-MASA	PERTUKARAN-X	PERTUKARAN-Y	FLUK-PHAS	PINDAH-PANAS -KOE.F.	FRAKSI-MASSA
FRAKSI-MOL	USKOSITAS-MOLEKULER	TEKANAN-STATIK-REL	TEKANAN-STATIK-ABS	OPSI LAJU-REA	FLUKS-MASA-PERMUH
TEMPERATUR	TEMPERATUR-PRBUKAAH	KONDUKTIVITAS-TERMAL	KONDUKTIVITAS-EFEKTIF	TEKANAN-TOTAL-REL	TEKANAN-TOTAL-ABS
TEMPERATUR-TOTAL	KECEPATN-U	KECEPATN-U	BESARNYA-KECEPATAN	SUMBER-HIDUK	SUMBER-HIDUK
SUMBER-PHAS	ZONA-PANAS	XOPSI-EKSTENSI	ESC		

(PILIHAN-VARIABEL)-

PHI = C6H12O6 FRAKSI MASAA
LUAS = M2
MDOT = KG/S

#	I	J	K	PHI	LUAS	LUAS X PHI	MDOT	MDOT X PHI
TOTAL					1.5125E-01	1.1192E-01	8.9163E-04	8.9163E-04
RATA2				6.1227E-01		7.3997E-01		1.0000E+00

PHI = CH4 FRAKSI MASAA
LUAS = M2
MDOT = KG/S

#	I	J	K	PHI	LUAS	LUAS X PHI	MDOT	MDOT X PHI
TOTAL					1.5125E-01	1.8322E-02	8.9163E-04	0.0000E-01
RATA2				9.2464E-02		6.8242E-02		0.0000E-01

PHI = CO2 FRAKSI MASAA
LUAS = M2
MDOT = KG/S

#	I	J	K	PHI	LUAS	LUAS X PHI	MDOT	MDOT X PHI
TOTAL					1.5125E-01	2.9007E-02	8.9163E-04	0.0000E-01
RATA2				2.9527E-01		1.9178E-01		0.0000E-01

PHI = C6H12O6 FRAKSI MASAA
 LUAS = M2
 MDOT = KG/S

#	I	J	K	PHI	LUAS	LUAS X PHI	MDOT	MDOT X PHI
TOTAL					9.0000E-16	3.5631E-16	0.0000E-01	0.0000E-01
RATA2				3.8710E-01		3.9590E-01		0.0000E-01

PHI = CH4 FRAKSI MASAA
 LUAS = M2
 MDOT = KG/S

#	I	J	K	PHI	LUAS	LUAS X PHI	MDOT	MDOT X PHI
TOTAL					9.0000E-16	1.4269E-16	0.0000E-01	0.0000E-01
RATA2				1.5525E-01		1.5855E-01		0.0000E-01

PHI = CO2 FRAKSI MASAA
 LUAS = M2
 MDOT = KG/S

#	I	J	K	PHI	LUAS	LUAS X PHI	MDOT	MDOT X PHI
TOTAL					9.0000E-16	4.0100E-16	0.0000E-01	0.0000E-01
RATA2				4.5765E-01		4.4555E-01		0.0000E-01

