



UNIVERSITAS INDONESIA

**ALIRAN *SLURRY* DI DALAM DIGESTER BIOGAS
TIPE ALIRAN KONTINYU**

SKRIPSI

**ANDIANTO
0806368326**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**ALIRAN *SLURRY* DI DALAM DIGESTER BIOGAS
TIPE ALIRAN KONTINYU**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**ANDIANTO
0806368326**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
KEKHUSUSAN PROGRAM PENDIDIKAN SARJANA EKSTENSI
DEPOK
JUNI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,

Dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk

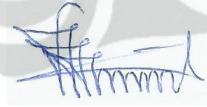
Telah saya nyatakan dengan benar.

Skripsi ini merupakan bagian yang dikerjakan bersama saudara **Adhi Waskitajati (0806368300)** dengan judul **PENGUJIAN *PROTOTYPE* DIGESTER ANAEROB TIPE *PLUG-FLOW* DAN ANALISA REAKSI PEMBENTUKAN BIOGAS MELALUI SIMULASI *SOFTWARE CFD*SOF.** Sehingga harap maklum jika ada beberapa bagian dari buku ini ada kesamaan dengan skripsi tersebut.

Nama : Andianto

NPM : 0806368326

Tanda Tangan :



Tanggal : 27 Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Andianto
NPM : 0806368326
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Aliran *Slurry* Di Dalam Digester Biogas Tipe Aliran Kontinyu

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

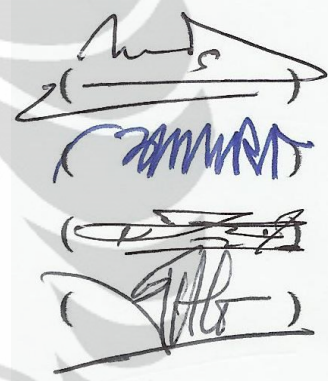
DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Ahmad Indra Siswantara

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

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

Penguji : Ir. Warjito M.Sc., Ph.D



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 27 Juni 2011

KATA PENGANTAR



Alhamdulillah penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, *Robb* yang Maha *Rahman* dan *Rahim* atas curahan rahmat-Nya kepada penulis, karena hanya atas kehendak-Nya lah akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Aliran Slurry Di Dalam Digester Biogas Tipe Aliran Kontinyu**”.

Penulisan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat yang diwajibkan untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Dalam penyusunan dan penyelesaian skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan, pengarahan dan bimbingan dari berbagai pihak yang sangat bermanfaat bagi penulis baik moril maupun materil. Maka pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih pada :

1. Dr. Ir. Ahmad Indra Siswantara, selaku dosen pembimbing skripsi sekaligus pembimbing akademik yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.
2. Karyawan dan staf Departemen Teknik Mesin FT UI yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Kedua orang tua (Bardi Hadi Suwito dan Kemidah), atas dukungan moril dan materil yang begitu berarti bagi penulis untuk tetap semangat dalam menuntut ilmu.
4. Kakak dan adik (Agus Priyadi dan Ari Tri Junianto serta Tri Susanti), yang selalu mendukung dan memberi semangat kepada penulis dalam berusaha dan belajar.
5. Rekan seperjuangan dalam merancang, membuat, menguji alat skripsi dan penyusunan skripsi (Adhi Waskitajati) hingga dapat terwujud dan diselesaikan dengan baik.

6. Rekan-rekan satu lab. Mekanika Fluida (Abdurrahman, Baskoro, Steven dan Efendi) yang telah membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini.
7. Rekan-rekan mahasiswa angkatan 2008 PPSE Teknik Mesin FT UI baik yang sudah lulus maupun yang belum lulus, yang tidak dapat disebutkan satu per satu.
8. Dan seluruh pihak yang telah membantu dan berkontribusi dalam penyelesaian skripsi ini.

Akhirnya penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun sebagai *feed back* (umpan balik) demi perbaikan skripsi ini sehingga sesuai dengan yang diharapkan. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat.

Depok, 27 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 : Andianto
NPM : 0806368326
Program Studi : Teknik Mesin (PPSE)
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

Aliran *Slurry* Di Dalam Digester Biogas Tipe Aliran Kontinyu.

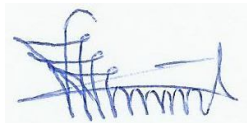
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 27 Juni 2011

Yang menyatakan



(Andianto)

ABSTRAK

Nama : ANDIANTO
Program Studi : TEKNIK MESIN
Judul : ALIRAN *SLURRY* DI DALAM DIGESTER BIOGAS TIPE ALIRAN KONTINYU

Pada saat ini, banyak sumber energi alternatif yang murah dan mudah dibuat namun masih kurang optimal dalam pemanfaatan teknologinya. Sehingga perlu adanya kajian mengenai teknologinya secara mendalam untuk mendapatkan cara terbaik dalam penanganan masalah yang dihadapi tersebut. Penelitian mengenai teknologi biogas ini dimulai dari merancang, membuat dan mengoperasikan serta menguji kemampuan *prototype*-nya kemudian mensimulasikan aliran *slurry*-nya dengan CFD. Biogas ini menggunakan bahan baku eceng gondok dengan air (perbandingan 1:4)

Selama 40 hari (periode *Hydraulic Retention Time* pertama), *slurry* difermentasi di dalam digester dan diperoleh output sebesar 3,52 kg (4 liter) berupa biogas dan residu. Berdasarkan hukum kekekalan massa, massa yang masuk sama dengan massa yang keluar. Maka *slurry* yang harus dimasukkan ke dalam digester setiap hari sebesar 3,52 kg secara kontinyu. Dari hasil simulasi CFD dengan *SolidWorks Flow Simulation* didapatkan sudut bukaan katup yang paling mendekati untuk mengalirkan *slurry* sebesar 3,52 kg per hari yaitu sebesar 0,5°. Namun, sangat sulit diaplikasikan karena sudut bukaan katup itu terlalu kecil sehingga sangat dimungkinkan akan terjadi penyumbatan aliran. Ada solusi yang dapat mengatasi masalah tersebut, yaitu dengan mendesain saluran keluar digester dengan lubang yang lebih kecil, sehingga *slurry* tetap akan mengalir di dalam digester. Desain digester dengan saluran keluar berada di bagian bawah adalah desain yang tepat untuk tipe aliran kontinyu. *Slurry* di dalam digester seluruhnya hampir teraduk karena aliran. Simulasi aliran *slurry* di dalam digester ini menggunakan *SolidWorks Flow Simulation* dan CFDSOF.

Kata kunci:

Aliran kontinyu, biogas, CFDSOF, digester, kekekalan massa, *slurry*, *SolidWorks Flow Simulation*

ABSTRACT

*Name : ANDIANTO
Study Program : MECHANICAL ENGINEERING
Title : FLOW OF SLURRY IN CONTINUOUS FLOW TYPE
BIOGAS DIGESTER*

Nowadays, many alternative energy sources that is cheap and easy to make but still less than optimal in the utilization of technology. So that its necessary to be examined in depth about biogas technology to obtain the best way to solve this problem. This research about biogas technology was started from the design, manufacture, operate and test the prototype ability then simulate the flow of slurry with CFD. This biogas using raw material of water hyacinth is mixed with water (ratio 1:4).

For 40 days (the period of the first Hydraulic Retention Time), slurry fermented in the digester and obtained an output of 3.52 kg (4 liters) in the form of biogas and the residual. Based on the law of conservation of mass, the mass of input equal to output. So the slurry with mass of 3.52 kg that must be filled into the digester every day continuously. To determine the proper valve opening angle, we must used the CFD simulation with SolidWorks Flow Simulation and the result is 0,5 degree. However, it is very difficult to apply because the valve opening angle is too small so it is very possible there will be a blockage of flow. There are solutions that can solve the problem, by designing the digester outlet with a smaller hole, so we can keep the slurry flow in the digester. The design of digester with the outlet located at the bottom is the right design for continuous flow type. Slurry in the digester mixed almost entirely due to the flow. Simulation of the flow of slurry in the digester is using SolidWorks Flow Simulation and CFDSOF.

Key words:

Continuous flow, biogas, CFDSOF, digester, conservation of mass, slurry, SolidWorks Flow Simulation

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
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	4
2.1. Pengantar Biogas	4
2.1.1 Nilai Potensial Biogas	4
2.1.2 Proses Pembentukan Biogas	5
2.1.3 Tahapan Penguraian Bahan Baku di Dalam Digester	6
2.1.4 Bahan Baku Penghasil Biogas	8
2.1.5 Faktor yang Mempengaruhi Proses Anaerobik	9
2.2. Tipe Digester Biogas	13
2.2.1 Tipe Digester Biogas Berdasarkan Konstruksinya	13
2.2.2 Tipe Digester Biogas Berdasarkan Cara Pengisian Bahan Baku	14
2.3. Komponen Utama Digester Biogas	16
2.4. Sistem Perpipaan Pada Saluran <i>Slurry</i>	17
2.4.1 Mekanika Fluida	17
2.4.2 Klasifikasi Aliran Fluida	18
2.4.3 Bilangan Reynolds	19
2.4.4 Viskositas	20
2.4.5 Massa Jenis (<i>Density</i>)	21
2.4.6 Tekanan	23
2.4.7 Kecepatan Fluida	25
2.4.8 Debit Aliran	25
2.4.9 Persamaan Kontinuitas	26
2.4.10 Fluida Newtonian dan Non-Newtonian	28
2.5. <i>Computational Fluid Dynamics</i>	30
2.5.1 <i>Pre-Processor</i>	31
2.5.2 <i>Solver (Processor)</i>	31

2.5.3	<i>Post-Processor</i>	31
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		
3.1.	Metode Penelitian	32
3.1.1	Objek, Waktu dan Tempat Penelitian	33
3.1.2	Peralatan dan Bahan	34
3.1.3	Langkah Pembuatan Plant Biogas	39
3.1.4	Deskripsi Alat	42
3.1.5	Diagram Alir	44
3.2.	Metode Pengujian Kemampuan Digester	44
3.2.1	Temperatur	45
3.2.2	Derajat Keasaman (pH)	45
3.2.3	Perhitungan Volume <i>Slurry</i>	46
3.2.4	Laju Aliran Massa <i>Slurry</i> per Hari	46
3.2.5	Tekanan Biogas	46
3.2.6	Tekanan Hidrostatik Pada Saluran Masuk <i>Slurry</i>	47
3.2.7	Pengujian Nyala Api Biogas	48
3.3.	Metode Simulasi	48
3.3.1	Simulasi Buka-an Katup Pada Saluran Masuk <i>Slurry</i>	48
3.3.2	Simulasi Aliran <i>Slurry</i> di Dalam Digester Dengan Desain Saluran Keluar di Bagian Atas	50
3.3.3	Simulasi Aliran <i>Slurry</i> di Dalam Digester Dengan Desain Saluran Keluar di Bagian Bawah	53
BAB 4 ANALISA HASIL DATA EKSPERIMEN DAN SIMULASI CFD		
4.1.	Hasil Pengujian Kemampuan Digester	56
4.1.1	Temperatur	56
4.1.2	Derajat Keasaman (pH)	57
4.1.3	Perhitungan Volume <i>Slurry</i>	58
4.1.4	Massa Jenis <i>Slurry</i>	58
4.1.5	Massa Jenis Biogas	59
4.1.6	Laju Aliran Massa <i>Slurry</i> per Hari	60
4.1.7	Produksi Biogas per Hari	61
4.1.8	Keseimbangan Massa <i>Slurry</i>	63
4.1.9	Tekanan Biogas	65
4.1.10	Tekanan Hidrostatik	66
4.1.11	Nyala Api Biogas	67
4.1.12	Penentuan Sudut Buka-an Katup	69
4.2.	Hasil Simulasi	69
4.2.1	Hasil Simulasi Buka-an Katup Pada Saluran Masuk <i>Slurry</i>	69
4.2.2	Hasil Simulasi Aliran <i>Slurry</i> di Dalam Digester dengan Desain Saluran Keluar di Bagian Atas	72
4.2.3	Hasil Simulasi Aliran <i>Slurry</i> di Dalam Digester dengan Desain Saluran Keluar di Bagian Bawah	76

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.	82
5.1. Kesimpulan	82
5.2. Saran	82
DAFTAR REFERENSI	83
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Tahapan pembentukan biogas	5
Gambar 2.2. Methanobacterium	6
Gambar 2.3. Lapisan yang terbentuk pada penguraian material organik Dalam kondisi anaerob didalam digester	7
Gambar 2.4. Eceng gondok	8
Gambar 2.5. Perbandingan tingkat produksi gas pada 15° C dan 35° C	10
Gambar 2.6. Grafik hubungan produksi biogas dengan HRT	11
Gambar 2.7. Digester tipe <i>fixed dome</i> (china)	13
Gambar 2.8. Digester tipe <i>floating drum</i> (India)	14
Gambar 2.9. Digester tipe <i>batch</i> model parit (<i>trench</i>)	15
Gambar 2.10. Digester tipe <i>batch</i> model tangki	15
Gambar 2.11. Digester tipe <i>plug flow</i>	16
Gambar 2.12. Perbedaan aliran laminar, transisi dan turbulen	19
Gambar 2.13. Massa jenis air sebagai fungsi temperatur	21
Gambar 2.14. Sistem dari volume atur pada waktu yang berbeda. (a) Sistem dan volume atur pada $t - \delta t$. (b) Sistem dan volume atur pada waktu t , (c) Sistem dan volume atur pada $t + \delta t$	26
Gambar 2.15. Variasi linier dari tegangan geser terhadap laju regangan geser untuk fluida-fluida yang umum	28
Gambar 2.16. Variasi linier dari tegangan geser terhadap laju regangan geser untuk beberapa jenis fluida, termasuk fluida non-Newtonian yang umum	29
Gambar 3.1. Produksi biogas dengan berbagai konsentrasi eceng gondok dengan air	33
Gambar 3.2. Drum digester	34
Gambar 3.3. Sistem perpipaan pada saluran masuk <i>slurry</i>	34
Gambar 3.4. Saluran keluar residu	35
Gambar 3.5. Saluran biogas	35
Gambar 3.6. <i>Gas holder</i>	36
Gambar 3.7. Drum <i>feeder</i>	36
Gambar 3.8. Maometer tabung U sederhana	37
Gambar 3.9. Skema termokopel	38
Gambar 3.10. (a) Eceng gondok segar, (b) Eceng gondok dipotong- potong	39
Gambar 3.11. (a) Eceng gondok diblender, (b) <i>Slurry</i> eceng gondok dialirkan ke digester	39
Gambar 3.12. (a) Drum digester yang sedang dikerjakan, (b) Pelubangan salah satu sisi digester	40
Gambar 3.13. (a) Sisi drum yang telah dilubangi, (b) Karet seal, (c) Pemasangan karet seal	40

Gambar 3.14. (a) Sensor termokopel dalam digester, (b) Sensor termokopel, (c) Pipa pelindung termokopel	40
Gambar 3.15. (a) Akrilik dengan pipa saluran masuk, (b) Pemasangan akrilik dan saluran masuk dengan baut dan lem	41
Gambar 3.16. (a) Lubang pada saluran keluar, (b) Pipa saluran keluar	41
Gambar 3.17. (a) Saluran masuk <i>slurry</i> pada <i>feeder</i> , (b) Selang transparan pada <i>feeder</i>	41
Gambar 3.18. (a) Kerangka besi siku untuk <i>gas holder</i> , (b) Pipa saluran biogas, (c) Gas holder yang telah jadi	42
Gambar 3.19. Instalasi komponen plant biogas	42
Gambar 3.20. Model <i>plant</i> biogas	43
Gambar 3.21. Tampilan temperatur termokopel	45
Gambar 3.22. Kertas lakmus, (a) Kertas pengukur pH, (b) Warna Referensi berdasarkan pH	45
Gambar 3.23. Dimensi digester	46
Gambar 3.24. Skema sistem perpipaan digester	47
Gambar 3.25. (a) Model perpipaan dengan pandangan isometrik, (b) Penampang model pipa	49
Gambar 3.26. <i>Boundary condition</i> pada pipa saluran masuk <i>slurry</i>	50
Gambar 3.27. <i>Boundary condition</i> pada digester dengan saluran keluar di bagian atas	51
Gambar 3.28. Daftar <i>cell</i> pada digester	52
Gambar 3.29. <i>Boundary condition</i> pada digester dengan saluran keluar di bagian bawah	54
Gambar 3.30. Daftar <i>cell</i> pada digester	55
Gambar 4.1. Grafik hubungan Temperatur <i>inlet</i> dengan HRT	56
Gambar 4.2. Grafik hubungan Temperatur <i>outlet</i> dengan HRT	57
Gambar 4.3. Visualisasi alat ukur pH	57
Gambar 4.4. Grafik hubungan pH dengan HRT	58
Gambar 4.5. Grafik hubungan volume biogas dengan HRT	62
Gambar 4.6. Grafik hubungan tekanan biogas dengan HRT	65
Gambar 4.7. Skema sistem perpipaan digester	66
Gambar 4.8. Uji nyala api dengan pena logam sebagai noselnya	67
Gambar 4.9. Uji nyala api dengan nosel las. (a) Penyalaan dibantu dengan lilin. (b) Penyalaan tanpa dengan bantuan lilin	67
Gambar 4.10. Uji nyala api dengan mulut nosel yang lebih besar, (a) Penyalaan dibantu dengan lilin, (b) Penyalaan tanpa dengan bantuan lilin, (c) Penyalaan dengan nosel berupa pipa tembaga	68
Gambar 4.11 Uji nyala api kompor gas. (a) Api yang dihasilkan dengan bukaan katup minimum. (b) Api dengan bukaan maksimum	68
Gambar 4.12 Penggunaan biogas untuk memasak	68

Gambar 4.13. Visualisasi bukaan katup $0,5^\circ$	70
Gambar 4.14. Profil tekanan pada katup dengan visualisasi <i>cut plot</i> berupa <i>contours</i> dan <i>isolines</i> 9 warna.....	70
Gambar 4.15. Profil tekanan pada katup dengan visualisasi <i>trajectories lines</i> dengan jumlah garis 200 dan tebal 1	71
Gambar 4.16. Profil kecepatan pada katup dengan visualisasi <i>cut plot</i> berupa <i>contours</i> dan <i>isolines</i> 254 warna.....	71
Gambar 4.17. Profil kecepatan arah Z	72
Gambar 4.18. Profil kecepatan arah Z dengan <i>flow trajectories</i> berupa <i>arrows</i>	73
Gambar 4.19. Profil besarnya kecepatan.....	74
Gambar 4.20. Vektor kecepatan	76
Gambar 4.21. Kontur fraksi massa <i>slurry</i>	76
Gambar 4.22. Profil kecepatan arah Z	77
Gambar 4.23. Profil kecepatan-Z.....	78
Gambar 4.24. Profil besarnya kecepatan.....	79
Gambar 4.25. Vektor kecepatan	80
Gambar 4.26. Kontur fraksi massa <i>slurry</i>	81

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kandungan utama dalam biogas	4
Tabel 2.2. Nilai kesetaraan biogas dengan sumber energi lain	5
Tabel 2.3. Komposisi kimia eceng gondok segar.....	9
Tabel 2.4. Komposisi kimia eceng gondok kering	9
Tabel 2.5. Rasio C/N beberapa material organik	12
Tabel 2.6. Analisa komponen dari biogas dari berbagai bahan baku	22
Tabel 3.1. Koordinat-koordinat I dan J.....	52
Tabel 3.2. Koordinat-koordinat I dan J.....	54



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Beberapa tahun terakhir ini, energi merupakan persoalan yang krusial di dunia. Peningkatan permintaan energi yang disebabkan oleh pertumbuhan populasi penduduk dan menipisnya sumber cadangan minyak dunia serta permasalahan emisi dari bahan bakar fosil memberikan tekanan kepada setiap negara. Hal ini memacu untuk segera memproduksi dan menggunakan energi terbarukan (*renewable energy*). Selain itu, peningkatan harga minyak dunia hingga mencapai 100 US\$ per barel juga menjadi alasan serius yang menimpa banyak negara di dunia terutama Indonesia.

Untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak pemerintah telah menerbitkan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional untuk mengembangkan sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar minyak. Kebijakan tersebut menekankan pada sumber daya yang dapat diperbaharui sebagai alternatif pengganti bahan bakar minyak.

Salah satu dari sekian banyak sumber energi alternatif yang mudah dan dapat diterapkan adalah biogas. Biogas merupakan energi yang layak dipertimbangkan baik secara teknik, sosial, maupun ekonomis terutama untuk mengatasi masalah energi di pedesaan.

Perkembangan teknologi biogas di Indonesia ini mengalami pasang surut hingga saat ini. Penelitian dan pengembangan teknologi biogas dilakukan terus-menerus. Teknologi biogas tidak hanya pada bahan baku dari kotoran ternak saja. Walaupun hal ini didukung oleh kondisi yang kondusif pada perkembangan peternakan di Indonesia akhir-akhir ini. Akan tetapi masih ada bahan baku yang memiliki potensi yang tidak kalah bagusnya untuk dijadikan bahan baku biogas, yaitu eceng gondok. Eceng gondok ini tersedia melimpah di perairan (danau maupun sungai) karena pertumbuhannya. Penyebaran eceng gondok bisa terjadi karena terbawa arus sungai dan dalam waktu 7-10 hari dapat berkembang biak menjadi dua kali lipat (Fahmi, 2009).

Dari beberapa tipe *plant* biogas, ada salah satu tipe *plant* biogas yang efektif digunakan bila bahan bakunya tersedia melimpah yaitu digester biogas tipe aliran kontinyu (*plug flow digester*). Tipe ini akan menghasilkan biogas secara terus-menerus yang dapat memenuhi kebutuhan sehari-hari bila diisi secara kontinyu. Untuk memudahkan dalam pengisian, maka dibutuhkan sebuah penampungan sementara (*feeder*) yang dapat diatur untuk dapat mengalirkan massa bahan baku secara terus-menerus dalam jumlah tertentu dan dalam waktu tertentu pula.

Penelitian ini mengarah pada simulasi CFD *SolidWorks Flow Simulation* mengenai aliran *slurry* (campuran eceng gondok dengan air dengan perbandingan tertentu) yang mengalir dari *feeder* ke digester secara kontinyu dengan konsep kekekalan massa. Dari hasil simulasi akan didapatkan sudut bukaan katup yang tepat pada saluran masuk *slurry* untuk dapat mengalirkan massa *slurry* per satuan waktu sesuai dengan kebutuhan. Simulasi dengan software CFDSOF juga digunakan untuk menganalisa aliran *slurry* dalam digester sebagai alternatif untuk meningkatkan kinerja digester.

1.2. Perumusan Masalah

Melihat dari latar belakang yang telah dipaparkan, penelitian ini dilakukan dengan membuat *prototype plant* biogas sederhana. *Plant* biogas dioperasikan berdasarkan waktu retensinya untuk mengetahui kinerja dari digester. Jumlah massa *slurry* yang harus dimasukkan ke dalam digester setiap harinya akan menjadi referensi untuk simulasi CFD *SolidWorks Flow Simulation* dalam mendapatkan sudut bukaan katup yang tepat. Kemudian melakukan verifikasi dan validasi untuk hasil pengujian dan simulasi. Analisa dilakukan untuk mengkaji dan membuat kesimpulan serta solusi dari permasalahan yang didapatkan.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian mengenai analisa aliran *slurry* digester biogas tipe aliran kontinyu dengan simulasi CFD ini adalah :

1. Untuk mengetahui kemampuan digester yang telah dibuat.
2. Untuk mendapatkan laju aliran massa yang sesuai untuk digester yang telah dibuat.

3. Untuk mendapatkan bukaan katup yang sesuai untuk mengalirkan *slurry* tiap waktu sesuai yang dibutuhkan digester.
4. Untuk mempelajari fenomena-fenomena yang terjadi pada aliran *slurry* di dalam digester.

1.4. Batasan Masalah

Dengan alasan luasnya cakupan penelitian mengenai biogas ini maka dibatasi pada :

1. *Plant* biogas yang dibuat adalah hanya sebuah *prototype* dari digester aliran kontinyu (*plug flow digester*).
2. Simulasi CFD difokuskan pada aliran *slurry* pada saluran masuk dan di dalam digester.
3. Simulasi dilakukan pada kondisi ideal sesuai dengan data yang ada di lapangan (dengan beberapa asumsi).
4. Analisa dilakukan berdasarkan hasil eksperimen, perhitungan dan simulasi.

1.5. Sistematika Penulisan

BAB 1 Pendahuluan

Bab Pendahuluan ini berisi latar belakang permasalahan, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan tugas akhir.

BAB 2 Kajian Literatur

Bab Kajian Literatur ini berisi pengantar biogas, tipe-tipe digester, komponen utama digester biogas, sistem perpipaan pada saluran dan CFD.

BAB 3 Metodologi Penelitian

Bab Metodologi Penelitian ini berisi mengenai metode penelitian, metode pengujian kemampuan digester dan metode simulasi.

BAB 4 Analisa Hasil Data Eksperimen dan Simulasi CFD

Bab Analisa Hasil Data Eksperimen dan Simulasi CFD ini berisi mengenai hasil pengujian kemampuan digester dan hasil simulasi.

BAB 5 Kesimpulan dan Saran

Bab Kesimpulan dan Saran ini berisi mengenai kesimpulan dari hasil penelitian dan saran.

BAB 2

KAJIAN LITERATUR

2.1 Pengantar Biogas

Biogas adalah gas yang dihasilkan oleh aktifitas anaerobik atau fermentasi dari bahan-bahan organik seperti kotoran manusia dan hewan, limbah rumah tangga, sampah atau setiap limbah organik yang mudah dicerna dalam kondisi anaerobik. Proses penguraian bahan organik secara anaerob ini disebut dengan *anaerobic digestion* sedangkan peralatan yang memfasilitasi proses ini disebut digester (Anguilar, 2001). Kandungan utama dalam biogas adalah metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2). Secara lengkap dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.1 Kandungan utama dalam biogas

No.	Komposisi	Persentase (%)
1.	Metana (CH_4)	50-75
2.	Karbon dioksida (CO_2)	25-50
3.	Nitrogen (N_2)	0-10
4.	Hidrogen (H_2)	0-1
5.	Hidrogen sulfida (H_2S)	0-3
6.	Oksigen (O_2)	0-2

(Sumber : Hermawan, dkk, 2007)

2.1.1 Nilai Potensial Biogas

Metana dalam biogas memiliki karakteristik mudah terbakar (*flammable*) dan dapat mengakibatkan ledakan. Hasil pembakarannya relatif lebih bersih daripada batu bara, dan menghasilkan energi yang lebih besar dengan emisi karbon dioksida yang lebih sedikit. Biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar dan juga dapat menghasilkan listrik. Biogas merupakan bahan bakar alternatif terbaik, karena biogas dapat menjadi bahan bakar ramah lingkungan, memiliki kandungan energi dalam jumlah yang besar, dan limbah biogas (residu) dapat dimanfaatkan sebagai pupuk. Karbon dalam biogas merupakan karbon yang diambil dari atmosfer oleh fotosintesis tanaman, sehingga bila dilepaskan lagi ke

atmosfir tidak akan menambah jumlah karbon di atmosfer bila dibandingkan dengan pembakaran bahan bakar fosil.

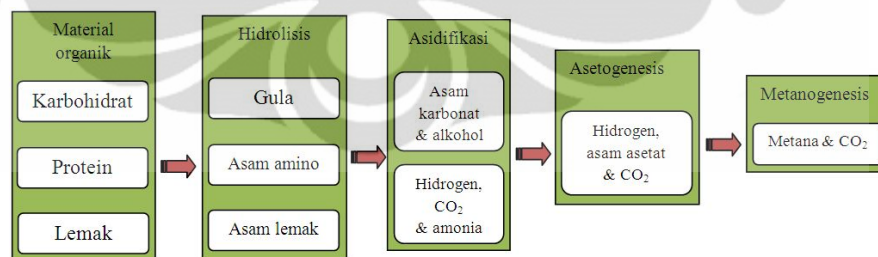
Tabel 2.2 Nilai kesetaraan biogas dengan sumber energi lain

Bahan bakar	Kesetaraan jumlah
Biogas	1 m ³
Elpiji	0,46 kg
Minyak tanah	0,62 liter
Minyak solar	0,52 liter
Bensin	0,8 liter
Gas kota	1,5 m ³
Kayu bakar	3,5 kg

(Sumber : Hermawan, dkk, 2007)

2.1.2 Proses Pembentukan Biogas

Biogas dibentuk dengan prinsip pencernaan anaerob dengan bantuan bakteri penghasil biogas. Bakteri ini terdiri dari beberapa jenis bakteri yaitu bakteri penghasil gas metana dan bakteri asam yang tidak menghasilkan metana. Terdapat beberapa tahap yang harus dilalui dalam proses pembentukan biogas yaitu dimulai dari tahap hidrolisis, asidogenesis, asitogenesis dan tahap yang terakhir adalah metanogenesis.



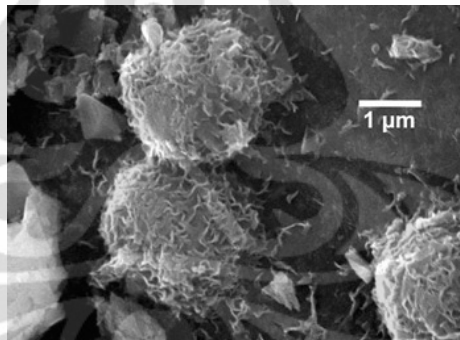
Gambar 2.1 Tahapan pembentukan biogas

Hidrolisis merupakan penguraian senyawa kompleks menjadi senyawa yang sederhana. Pada tahap pertama ini, bahan-bahan organik seperti karbohidrat, lipid, dan protein didegradasi menjadi senyawa dengan rantai pendek, seperti peptida, asam amino, dan gula sederhana. Penguraian senyawa ini dilakukan oleh

kelompok bakteri hidrolisa, seperti *streptococci*, *bacteriodes*, dan beberapa jenis *enterobactericeae*.

Asidogenesis merupakan pembentukan asam dari senyawa sederhana. Clostridium merupakan jenis bakteri asidogen yang merubah asam-asam organik, alkohol dan keton-keton (seperti ethanol, methanol, glycerol dan acetone). *Syntrobacter* dan *syntrophomonas wolfei* merupakan contoh bakteri asitogen (Mc Inernay et al, 1981) merubah *fatty acid* dan alkohol menjadi asetat, hidrogen dan karbon dioksida dengan bantuan bakteri methanogen. Ethanol, propionik acid dan asam butirat dapat terkonversi menjadi asam asetat oleh bakteri asitogen.

Metanogenesis ialah proses pembentukan gas metana dengan bantuan bakteri pembentuk metana seperti *mathanobacterium*, *mathanobacillus*, *methanosacaria*, dan *methanococcus*. Tahap ini mengubah asam-asam lemak rantai pendek menjadi H₂, CO₂, dan asetat. Asetat akan mengalami dekarboksilasi dan reduksi CO₂, kemudian bersama-sama dengan H₂ dan CO₂ menghasilkan produk akhir, yaitu metan (CH₄) dan karbondioksida (CO₂).



Gambar 2.2 Methanobacterium

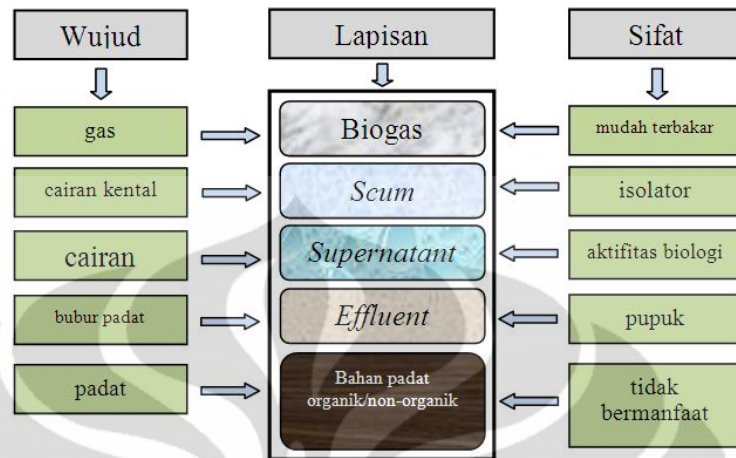
2.1.3 Tahapan Penguraian Bahan Baku di Dalam Digester

Di dalam digester yang telah diisi dengan material organik penghasil biogas yang dicampur dengan air dan didiamkan dalam kondisi anaerob akan mengalami proses penguraian/pembusukan oleh bakteri anaerob. Berikut merupakan tahapan penguraian material organik yang berupa lapisan-lapisan yang berbeda-beda sifatnya :

a. Bahan Padat organik ataupun non-organik

Bahan padat yang berbentuk organik maupun non-organik yang berupa endapan padat yang terkumpul di dasar digester. Misalnya berupa pasir, tanah

maupun benda padat lainnya yang ikut masuk dalam digester dan tidak dapat membusuk. Bahan padatan ini tidak dapat dimanfaatkan.



Gambar 2.3 Lapisan yang terbentuk pada penguraian material organik dalam kondisi anaerob didalam digester

b. *Effluent*

Effluent terletak di lapisan bawah setelah lapisan bahan padat organik ataupun non organik. *Effluent* ini berbentuk semisolid seperti bubur, merupakan limbah setelah biogasnya terpisahkan. *Effluent* dapat dimanfaatkan sebagai pupuk/kompos yang dapat menyuburkan tanah pertanian.

c. *Supernatant*

Supernatant terletak di lapisan tengah, di atas lapisan *effluent*. *Supernatant* ini berbentuk cair dan merupakan tempat bakteri melakukan kegiatan untuk menguraikan bahan organik, sehingga lapisan cairan ini disebut juga sebagai cairan biologi aktif.

d. *Scum*

Scum merupakan lapisan limbah dari bahan organik yang sulit diuraikan oleh bakteri anaerobik. *Scum* berbentuk cairan kental dan mengapung di atas lapisan *supernatant*. *Scum* dapat menghambat keluarnya biogas, sehingga perlu adanya proses pengadukan *slurry* di dalam digester.

e. Biogas

Biogas ini berbentuk gas yang memiliki massa jenis yang rendah sehingga terletak di lapisan paling atas dalam digester. Biogas ini merupakan campuran

antar gas yang mudah terbakar (*combustible*), yang akan keluar menuju permukaan digester. Kandungan yang terdapat di dalam biogas sangat tergantung pada material yang diurai oleh bakteri, serta keadaan lingkungan yang mempengaruhi proses penguraian tersebut.

2.1.4 Bahan Baku Penghasil Biogas

Secara umum bahan organik yang terdapat pada tanaman seperti karbohidrat dan selulosa merupakan bahan yang disukai untuk dicerna. Salah satu bahan yang sangat berprospek untuk dijadikan bahan baku biogas selain kotoran hewan adalah eceng gondok yang memiliki selulosa yang besar.

Eceng gondok atau enceng gondok (*Eichornia crassipes*) adalah sejenis tumbuhan air yang hidup terapung di permukaan air. Eceng gondok merupakan sejenis tanaman hidrofit. Tumbuhan ini tidak dapat dimakan bahkan tanaman gulma ini menjadi tanaman pengganggu bagi tumbuhan lain dan hewan sekitarnya.



Gambar 2.4 Eceng gondok
(Sumber : Ismail, 2008)

Tanaman ini memiliki banyak kandungan materi yang dapat berfermentasi dan mampu menghasilkan biogas (Chanakya *et al.* dalam Gunnarsson dan Petersen, 2007). Kandungan yang paling berperan tersebut adalah hemiselulosa dan selulosa. Menurut Patel *et al.* (1993) pada eceng gondok memiliki 43% untuk hemiselulosa 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). Berikut merupakan tabel komposisi kimia eceng gondok segar :

Tabel 2.3 Komposisi kimia eceng gondok segar

No.	Komposisi kimia	Persentase (%)
1.	Air	92,6
2.	Abu	0,44
3.	Serat kasar	2,09
4.	Karbohidrat	0,17
5.	Lemak	0,35
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

(Sumber : *Anonymous*, 1966)

Sedangkan komposisi kimia untuk eceng gondok kering adalah sebagai berikut :

Tabel 2.4 Komposisi kimia eceng gondok kering

No.	Komposisi kimia	Persentase (%)
1.	Selulosa	64,51
2.	Pentosa	15,61
3.	Lignin	7,69
4.	Silika	5,56
5.	Abu	12

(Sumber : R. Roehyati 1983)

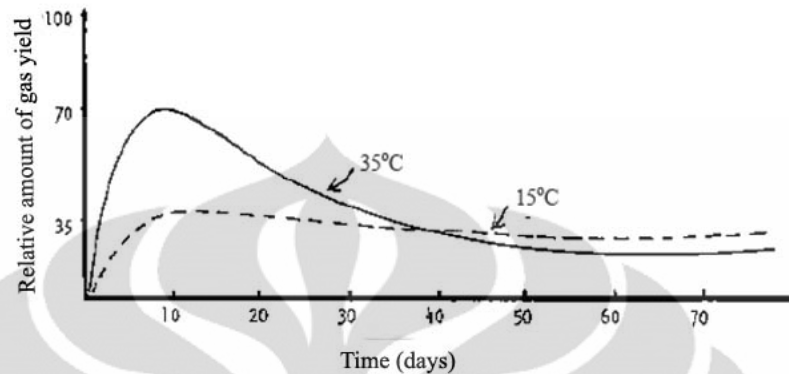
2.1.5 Faktor yang Mempengaruhi Proses Anaerobik

Secara umum ada beberapa faktor yang berpengaruh dalam pencernaan anaerob oleh bakteri metanogenik antara lain :

a. Temperatur

Gas metana dapat diproduksi dari pencernaan anaerob oleh bakteri yang terbentuk pada tiga rentang temperatur. Bakteri *psychophilic* pada temperatur 0-7° C, bakteri *mesophilic* pada temperatur 13-40° C sedangkan bakteri *thermophilic* pada temperature 55-60° C (Fry, 1974). Temperatur optimal untuk pencernaan

anaerob adalah pada temperatur 30-35° C. Kisaran temperatur ini mengkombinasikan kondisi terbaik untuk pertumbuhan bakteri dan produksi gas metana didalam digester dengan lama proses yang pendek.



Gambar 2.5 Perbandingan tingkat produksi gas pada 15° C dan 35° C
(Sumber : Fry, 1973)

Massa bahan yang sama akan dicerna dua kali lebih cepat pada temperatur 35° C dibanding pada temperatur 15° C dan menghasilkan hampir 15 kali lebih banyak gas pada waktu proses yang sama. Gambar 2.5 dapat dilihat bagaimana perbedaan jumlah gas yang diproduksi ketika digester dipertahankan pada temperatur 15° C dan 35° C. Seperti halnya proses secara biologi tingkat produksi gas metana berlipat untuk tiap peningkatan temperatur sebesar 10-15° C. Jumlah total dari gas yang diproduksi pada jumlah bahan yang tetap meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur (Meynell, 1976).

b. Ketersediaan Unsur Hara

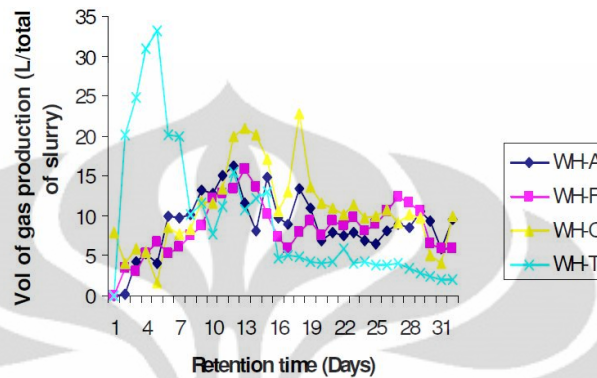
Bakteri anaerob membutuhkan nutrisi sebagai sumber energi yang mengandung nitrogen, fosfor, magnesium, sodium, mangan, kalsium dan kobalt (Kadarwati, 2003). Level nutrisi minimal harus lebih dari konsentrasi optimum yang dibutuhkan oleh bakteri metanogenik, karena apabila terjadi kekurangan nutrisi akan menjadi penghambat bagi pertumbuhan bakteri. Penambahan nutrisi dengan bahan sederhana seperti glukosa, buangan industri dan sisa-sisa tanaman terkadang diberikan dengan tujuan menambah pertumbuhan di dalam digester.

c. Hydraulic Retention Time (HRT)

Lama proses atau jumlah hari bahan terproses di dalam digester. Pada digester tipe aliran kontinu, bahan akan bergerak dari *inlet* menuju *outlet* selama

waktu tertentu akibat terdorong bahan baku segar yang dimasukkan. Bahan baku yang terdorong ke *outlet* akan keluar dengan sendirinya.

Retensi waktu untuk bahan baku biogas berupa eceng gondok segar dapat ditentukan berdasarkan grafik berikut :



Gambar 2.6 Grafik hubungan produksi biogas dengan HRT
(Sumber : A. U. Ofoefule dkk, 2009)

Keterangan :

- WH-F : Eceng gondok segar
- WH-A : Eceng gondok kering dicincang
- WH-C : Eceng gondok kering ditambah dengan substrat sapi
- WH-T : Eceng gondok kering dan di campur KOH

Pada hari kedua, biogas mulai terbentuk dan hari ke 14 mengalami peningkatan hingga maksimal. Kemudian pada hari ke 30 produksi biogas menurun. Dari grafik penelitian tersebut dapat dipilih lama retensi *slurry*-nya.

d. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman memiliki efek terhadap aktifitas biologi dan mempertahankan pH agar stabil penting untuk semua proses kehidupan bakteri. Kebanyakan dari proses kehidupan bakteri memiliki kisaran pH antara 5-9. Sedangkan nilai pH yang dibutuhkan digester antara 7-8,5.

e. Penghambat Nitrogen dan Rasio Karbon/Nitrogen (C/N)

Nitrogen pada konsentrasi yang tinggi dapat menghambat proses fermentasi anaerob. Rasio C/N menunjukkan perbandingan jumlah dari kedua elemen tersebut. Pada bahan yang memiliki jumlah karbon 15 kali dari jumlah nitrogen akan memiliki rasio C/N 15 berbanding 1. Rasio C/N dengan nilai 30 (C/N = 30/1 atau karbon 30 kali jumlah nitrogennya) akan menciptakan proses

pencernaan pada tingkat yang optimum, bila kondisi yang lain juga mendukung. Apabila terlalu banyak karbon, nitrogen akan habis terlebih dahulu. Hal ini akan menyebabkan proses berjalan dengan lambat. Bila nitrogen terlalu banyak (rasio C/N rendah, misalnya 30/15), maka karbon habis terlebih dahulu dan proses fermentasi berhenti (Fry, 1974).

Tabel 2.5 Rasio C/N beberapa material organik

No.	Material organik	Rasio C/N
1.	Kotoran bebek	8
2.	Kotoran manusia	8
3.	Kotoran ayam	10
4.	Kotoran kambing	12
5.	Kotoran babi	18
6.	Kotoran domba	19
7.	Kotoran sapi/kerbau	24
8.	Eceng gondok	25
9.	Kotoran gajah	43
10.	Jerami (jagung)	60
11.	Jerami (padi)	70
12.	Jerami (gandum)	90
13.	Serbuk gergaji	>200

(Sumber : Karki dan Dixit, 1984)

f. Kandungan Padatan dan Pencampuran Substrat

Walaupun tidak ada informasi yang pasti, mobilitas bakteri metanogen di dalam bahan secara berangsur-angsur dihalangi oleh peningkatan kandungan padatan yang berakibat terhambatnya pembentukan biogas. Hal penting lainnya adalah pencampuran bahan yang baik yang akan menjamin proses fermentasi yang stabil di dalam digester agar terjadi pencernaan yang baik (The Pembina Institute, 2006).

g. Faktor-faktor Penghambat

Ada beberapa unsur hara yang bersifat menghambat keberadaannya dalam digester yang mengganggu pertumbuhan dan perkembangan bakteri. Unsur hara penghambat tersebut misalnya logam berat, anti biotik (bacitracin, flavomysin,

lasalocid, monesin, spiramicyn) dan deterjen. Ammonia merupakan makanan bagi bakteri, tetapi juga dapat menjadi penghambat bila memiliki konsentrasi yang melebihi batas yang diijinkan. Hal ini dapat diatasi dengan cara menambah konsentrasi airnya agar lebih encer.

2.2 Tipe Digester Biogas

Digester biogas merupakan peralatan utama yang digunakan dalam pembuatan biogas. Disebut pula dengan istilah bioreaktor karena reaksi kimia dan mikrobiologi terjadi di dalam peralatan ini. Fungsi utama digester biogas adalah untuk memberikan kondisi anaerob (tanpa oksigen atau kedap udara). Ada beberapa macam digester biogas berdasarkan klasifikasinya yaitu :

2.2.1 Tipe Digester Biogas Berdasarkan Konstruksinya

Secara umum ada dua jenis digester biogas berdasarkan konstruksinya, yaitu :

a. Digester Tipe Kubah Tetap (*Fixed Dome*)

Digester tipe kubah tetap ini memiliki dua bagian, yaitu digester dan bagian yang menyerupai kubah yang disebut kubah tetap. Digester merupakan tempat pencernaan material organik dan sebagai rumah bagi bakteri, baik bakteri pembentuk asam ataupun bakteri pembentuk gas metana. Kubah tetap (*fixed-dome*) memiliki bentuk yang menyerupai kubah dan merupakan tempat pengumpul gas yang tidak bergerak. Gas yang dihasilkan dari material organik pada digester akan mengalir dan disimpan di bagian kubah.

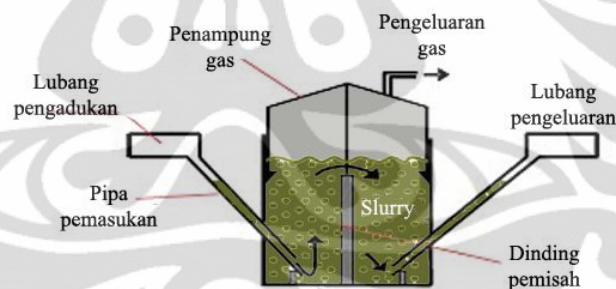


Gambar 2.7 Digester tipe *fixed dome* (China)

Kelebihan dari digester tipe ini adalah biaya konstruksi yang lebih murah dibanding dengan jenis digester tipe drum terapung. Sedangkan kekurangannya adalah sering terjadi kehilangan gas pada bagian kubah karena konstruksinya tetap.

b. Digester Tipe Drum Terapung (*Floating Drum*)

Digester tipe ini memiliki bagian digester yang sama dengan digester tipe kubah tetap, perbedaannya terletak pada bagian penampung gas, yaitu menggunakan peralatan bergerak seperti drum. Drum berfungsi untuk menyimpan gas hasil pencernaan dalam digester. Drum ini dapat bergerak naik-turun. Pergerakan drum mengapung pada cairan dan tergantung dari jumlah gas yang dihasilkan. Kelebihan dari digester tipe ini adalah dapat melihat secara langsung volume gas yang tersimpan dalam drum dari pergerakannya. Tekanan gasnya konstan karena tempat penyimpanannya terapung. Sedangkan kekurangan digester tipe ini adalah biaya material konstruksi mahal. Faktor korosi pada drum juga menjadi masalah sehingga menyebabkan pendeknya umur digester.



Gambar 2.8 Digester tipe *floating drum* (India)

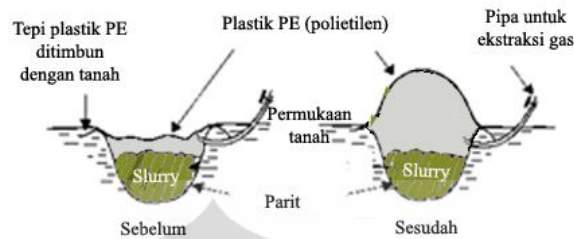
2.2.2 Tipe Digester Biogas Berdasarkan Cara Pengisian Bahan Baku

Berdasarkan cara pengisian bahan bakunya, digester ini dibedakan menjadi :

a. Tipe *Batch*

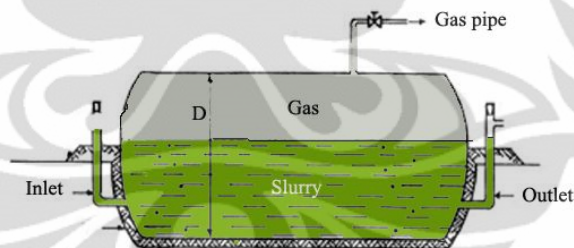
Pada digester tipe *batch*, bahan organik ditempatkan pada tangki tertutup dan diproses secara anaerob selama 2-6 bulan tergantung dari jumlah material organik yang dimasukkan. Isi dari digester biasanya dihangatkan dan dipertahankan temperaturnya. Selain itu kadangkala diaduk untuk melepaskan

gelembung-gelembung gas dari *sludge*. Ada beberapa model digester tipe *batch* ini, yaitu digester model *trench* (parit) dan tangki.



Gambar 2.9 Digester tipe *batch* model parit (*trench*)

Digester tipe ini tidak membutuhkan banyak perhatian selama proses. Meskipun demikian hampir semua bahan organik tetap akan diproses. Efisiensi maksimal dari proses hanya dapat diharapkan bila digester diisi dengan hati-hati. Ruang yang terbuang dan udara yang terjebak didalam *sludge* harus dihindarkan karena akan menghambat pembentukan gas metana. Rasio C/N harus dikontrol dengan baik di awal proses, karena sulit untuk memperbaiki bila digester sudah mulai memproses. Digester tipe *batch* digunakan untuk mengetahui kemampuan bahan yang diproses sebelum unit besar dibangun.



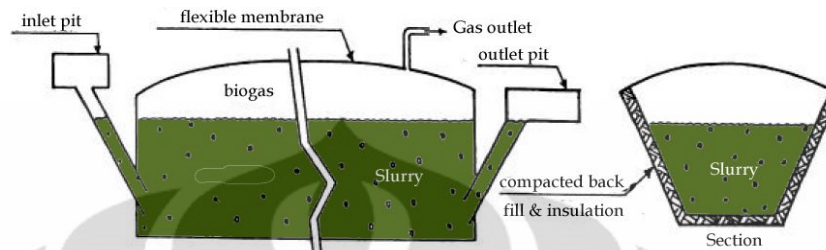
Gambar 2.10 Digester tipe *batch* model tangki

Digester tipe *batch* memiliki keuntungan yaitu dapat digunakan bila bahan tersedia pada waktu tertentu saja dan memiliki kandungan padatan tinggi (25%). Bila bahan berserat sulit untuk diproses, digester tipe ini lebih cocok bila dibanding jenis kontinyu, karena lama proses dapat ditingkatkan dengan mudah.

b. Tipe Kontinyu (*Plug Flow Digester*)

Yang dimaksud dengan pengisian kontinyu adalah pengisian bahan baku ke dalam digester dilakukan secara kontinyu (tiap hari) selama 3-4 minggu sejak pengisian awal tanpa harus mengeluarkan bahan yang sudah dicerna. Bahan baku

segar yang diisikan tiap hari akan mendorong bahan isian yang sudah dicerna keluar dari tangki melalui pipa pengeluaran. Keluaran biasanya dimanfaatkan sebagai pupuk kompos bagi tanaman.



Gambar 2.11 Digester tipe *plug flow*

2.3 Komponen Utama Digester Biogas

Digester biogas memiliki beberapa komponen utama, yaitu saluran masuk *slurry*, saluran keluar residu, sistem pengaduk, saluran gas dan tempat penyimpanan gas.

a. Saluran Masuk *Slurry*

Saluran masuk merupakan saluran untuk memasukkan bahan baku biogas yang telah dicampur dengan air membentuk *slurry*. Perbandingan antara bahan baku biogas dengan air adalah 1:4 untuk memudahkan pengaliran *slurry* didalam digester serta menghindari terbentuknya sedimentasi yang akan menyulitkan pengaliran *slurry* selanjutnya. *Slurry* harus menutup saluran masuk dan keluar digester agar kondisi anaerob dapat tercapai.

b. Saluran Keluar Residu

Saluran keluar residu digunakan untuk mengeluarkan *slurry* yang telah dicerna oleh bakteri. Saluran ini bekerja berdasarkan prinsip kesetimbangan tekanan hidrostatik. Residu yang keluar pertama kali merupakan *slurry* masukan yang pertama setelah waktu retensi.

c. Sistem Pengaduk

Pengadukan dapat dilakukan dengan cara mekanis, sirkulasi *slurry* dalam digester untuk tipe kontinyu atau dapat juga dengan cara sirkulasi ulang produksi biogas ke atas digester menggunakan pompa. Pengadukan ini berfungsi untuk

meningkatkan produksi biogas karena dapat mengurangi *scum* maupun pengendapan yang menghambat keluarnya gas.

d. Saluran Gas

Gas metana yang dihasilkan dari digester ini bersifat korosif (Anguilar, 2001). Maka saluran gas disarankan terbuat dari bahan polimer misalnya PVC. Saluran yang transparan lebih diutamakan agar kelihatan, karena penguapan cairan di dalam digester serta hasil reaksi dari digester berpotensi menyebabkan genangan air yang bisa menyumbat saluran gas. Untuk pembakaran gas pada tungku, pada ujung saluran pipa bisa disambung dengan pipa baja antikorosi.

e. Tempat Penyimpanan Gas

Tempat penyimpanan gas dibedakan menjadi dua yaitu: tempat penyimpanan gas yang menyatu dengan digester (tipe *floating drum*) dan yang terpisah (tipe *fixed dome*). Untuk yang terpisah dengan digester, penyimpanannya dapat berupa plastik transparan yang dijaga agar tetap tidak bocor dan tekanan di dalamnya seragam.

2.4 Sistem Perpipaan Pada Saluran *Slurry*

2.4.1 Mekanika Fluida

Mekanika fluida merupakan disiplin ilmu bagian dari bidang mekanika terapan yang mengkaji perilaku dari zat-zat cair dan gas baik dalam keadaan diam ataupun bergerak. Sedangkan istilah fluida dalam mekanika memiliki pengertian yang lebih luas dibanding yang kita lihat dalam kehidupan sehari-hari, dimana fluida adalah semua bahan yang cenderung berubah bentuknya walaupun mengalami gaya luar yang sangat kecil.

Fluida secara khusus didefinisikan sebagai zat yang berdeformasi terus-menerus selama masih dipengaruhi oleh suatu tegangan geser. Sebuah tegangan geser terbentuk apabila sebuah gaya tangensial bekerja pada sebuah permukaan. Apabila benda-benda padat misalnya baja atau logam lainnya dikenai suatu tegangan geser, mula-mula benda tersebut akan berdeformasi (biasanya sangat kecil), tetapi tidak akan terus-menerus berdeformasi (mengalir). Lain halnya pada fluida misalnya air, minyak dan udara. Zat-zat tersebut akan mengalir apabila ada suatu tegangan geser yang bekerja pada zat tersebut.

Secara umum, fluida diklasifikasikan menjadi dua yaitu statika fluida dan dinamika fluida. Statika fluida merupakan fluida yang tidak bergerak (diam) sedangkan dinamika fluida merupakan fluida yang bergerak. Dalam penerapannya, fluida tidak lepas dari viskositas. Viskositas secara umum dapat didefinisikan sebagai ketahanan sebuah fluida terhadap deformasi.

2.4.2 Klasifikasi Aliran Fluida

Mekanika fluida adalah ilmu yang mempelajari mengenai jenis-jenis aliran fluida dalam medium yang berbeda-beda. Aliran fluida terbagi atas beberapa kategori, dibagi berdasarkan sifat-sifat yang paling dominan dari aliran tersebut, atau berdasarkan jenis dari fluida terkait.

Berdasarkan pergerakannya, aliran fluida dibedakan menjadi :

- a. *Steady flow* ; yaitu suatu aliran fluida dimana kecepatannya tidak terpengaruh oleh perubahan waktu, sehingga kecepatannya konstan pada setiap titik sepanjang aliran tersebut.
- b. *Non steady flow* ; yaitu suatu aliran dimana ada perubahan kecepatan terhadap perubahan waktu.
- c. *Uniform flow* ; yaitu aliran fluida yang terjadi besar dan arah dari vektor-vektor kecepatan tidak berubah dari suatu titik ke titik berikutnya dalam aliran fluida tersebut.
- d. *Non-uniform flow* ; yaitu aliran ini terjadi jika besar dan arah vektor-vektor kecepatan fluida selalu berubah terhadap lintasannya. Ini dapat terjadi apabila luas penampang medium fluida juga berubah.

Ada beberapa jenis aliran fluida berdasarkan gaya yang bekerja pada aliran fluida tersebut, yaitu :

- a. Aliran laminar

Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan, atau lamina-lamina dengan satu lapisan meluncur secara merata. Dalam aliran laminar ini viskositas berfungsi untuk meredam kecenderungan-kecenderungan terjadinya gerakan relatif antara lapisan. Sehingga aliran laminar memenuhi hukum viskositas Newton, yaitu :

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (2.1)$$

Dimana :

τ : Tegangan geser pada fluida (N/m^2)

μ : Viskositas dinamik fluida (kg/m.s)

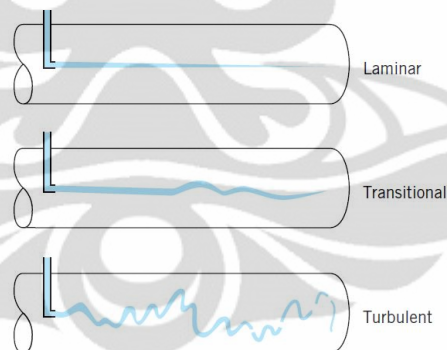
du/dy : Gradien kecepatan

b. Aliran Turbulen

Aliran turbulen didefinisikan sebagai aliran dengan pergerakan partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami pencampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dalam keadaan turbulen maka turbulensi yang terjadi mengakibatkan tegangan geser yang merata di seluruh fluida sehingga menghasilkan kerugian-kerugian aliran.

c. Aliran Transisi

Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari laminar ke aliran turbulen.



Gambar 2.12 Perbedaan aliran laminar, transisi dan turbulen

Sedangkan berdasarkan dapat tidaknya fluida dikompres, aliran fluida dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu :

- Compressible flow* merupakan aliran yang mampu mampat.
- Incompressible flow* merupakan aliran yang tidak mampu mampat.

2.4.3 Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds digunakan untuk menentukan sifat aliran, apakah aliran tersebut bersifat laminar, transisi ataupun turbulen. Osborne Reynolds telah

mempelajari untuk mencoba menentukan bila dua situasi aliran yang berbeda akan serupa secara dinamik bila memenuhi :

1. Kedua aliran tersebut serupa secara geometrik, yaitu ukuran-ukuran linear yang bersesuaian memiliki perbandingan yang konstan.
2. Garis-garis aliran yang bersesuaian adalah serupa secara geometrik, atau tekanan-tekanan di titik-titik yang bersesuaian memiliki perbandingan konstan.

Dalam menyimak dua situasi aliran yang serupa secara geometrik, Reynolds menyimpulkan bahwa aliran-aliran tersebut akan serupa secara dinamik jika persamaan-persamaan diferensial umum yang menggambarkan aliran-aliran tersebut identik.

2.4.4 Viskositas

Viskositas fluida merupakan ukuran ketahanan sebuah fluida terhadap perubahan bentuk (deformasi). Viskositas dipengaruhi oleh temperatur, tekanan, kohesi dan laju perpindahan momentum molekulernya. Viskositas zat cair cenderung menurun seiring dengan bertambahnya kenaikan temperatur. Hal ini disebabkan gaya-gaya kohesi pada zat cair bila dipanaskan akan mengalami penurunan dengan bertambahnya temperatur pada zat cair yang menyebabkan turunnya viskositas dari zat cair tersebut.

Viskositas dibedakan menjadi dua macam yaitu viskositas dinamik (mutlak) dan viskositas kinematik.

a. Viskositas dinamik

Viskositas dinamik atau viskositas mutlak (*absolute viscosity*) adalah sifat fluida yang menghubungkan tegangan geser dengan gerakan fluida. Viskositas dinamik memiliki nilai sama dengan hukum viskositas Newton :

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy} \quad (2.2)$$

Dimana :

τ : Tegangan geser pada fluida (N/m^2)

μ : Viskositas dinamik fluida ($kg/m.s$)

du/dy : Gradien kecepatan

b. Viskositas kinematik

Viskositas kinematik merupakan perbandingan antara viskositas dinamik terhadap kerapatan massa.

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.3)$$

v : Viskositas kinematik fluida (m^2/s)

μ : Viskositas dinamik fluida ($\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$)

ρ : Kerapatan atau massa jenis (kg/m^3)

2.4.5 Massa Jenis (*density*)

Massa jenis suatu fluida merupakan ukuran bentuk konsentrasi fluida tersebut dan dinyatakan dalam massa fluida per satuan volume. Sifat ini dapat ditentukan dengan cara menghitung rasio massa fluida yang terkandung dalam suatu bagian tertentu terhadap volume bagian tersebut. Massa jenis ini biasanya digunakan untuk mengkarakteristikan massa sebuah sistem fluida. Hubungan tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut :

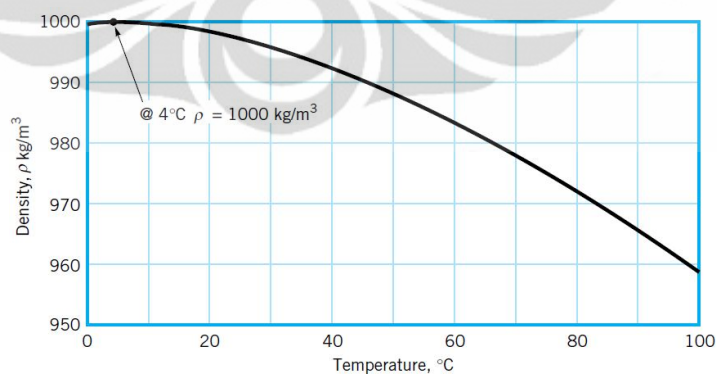
$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.4)$$

Dimana :

ρ : Kerapatan atau massa jenis (kg/m^3)

m : Massa fluida (kg)

V : Volume fluida (m^3)



Gambar 2.13 Massa jenis air sebagai fungsi temperatur

Nilai kerapatan atau massa jenis dapat dipengaruhi oleh temperatur, semakin tinggi temperatur maka kerapatan akan semakin berkurang yang disebabkan gaya kohesi dari molekul-molekul semakin berkurang. Untuk zat-zat

cair, variasi tekanan dan temperatur umumnya hanya memberikan pengaruh kecil terhadap massa jenisnya. Berbeda dengan fluida yang berupa gas, massa jenis fluida ini sangat dipengaruhi oleh perubahan tekanan dan temperaturnya.

Ada beberapa fluida yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu *slurry* (campuran eceng gondok dengan air) dan biogas (berupa gas). Tiap-tiap fluida tersebut memiliki massa jenis yang berbeda.

a. Massa Jenis *Slurry*

Slurry ini merupakan campuran antara eceng gondok dengan air. Perbandingannya adalah 1:4. Perbandingan ini dipilih karena pada konsentrasi tersebut akan menghasilkan biogas optimum dengan bahan baku eceng gondok. Massa jenis *slurry* dapat dihitung berdasarkan konsentrasi padatan (berat dalam *slurry* tersebut), massa jenis cairan dan padatannya.

$$\rho_{slurry} = \frac{100\%}{\left[\frac{C_{W\ eceng\ gondok}}{\rho_{eceng\ gondok}} + \frac{(100\% - C_{W\ eceng\ gondok})}{\rho_{air}} \right]} \quad (2.5)$$

Dimana :

ρ_{slurry} : Massa jenis *slurry* (kg/m^3)

$C_{W\ eceng\ gondok}$: Konsentrasi eceng gondok (beratnya dalam *slurry*) (%)

$\rho_{eceng\ gondok}$: Massa jenis eceng gondok (kg/m^3)

ρ_{air} : Massa jenis air (kg/m^3)

b. Massa Jenis Biogas

Massa jenis biogas dapat ditentukan dari komponen pembentuk biogas tersebut. Berikut merupakan tabel komponen pembentuk biogas berdasarkan bahan baku pembentuk biogasnya :

Tabel 2.6 Analisa komponen dari biogas dari berbagai bahan baku

Bahan baku	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	CO (%)	NH ₃ (%)	H ₂ S (%)
WH-F	65	34,94	0,03	0,01	0,02
WH-A	60	39,94	0,03	0,01	0,02
WH-C	64	35,94	0,03	0,01	0,02
WH-T	71	28,98	0,03	0,01	0,02

(Sumber : A. U. Ofoefule dkk, 2009)

Keterangan :

- 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

Persentase tiap komponen dikalikan dengan massa jenis masing-masing komponen. Kemudian dijumlahkan sehingga didapat massa jenis biogas.

$$\begin{aligned} \rho_{Biogas} = & (\% CH_4 \times \rho CH_4) + (\% CO_2 \times \rho CO_2) + (\% CO \times \rho CO) \\ & + (\% NH_3 \times \rho NH_3) \\ & + (\% H_2S \times \rho H_2S) \end{aligned} \quad (2.6)$$

Dimana :

- ρ_{Biogas} : Massa jenis biogas (kg/m^3)
 ρ : Massa jenis komponen (kg/m^3)
 % : Persentase komponen (%)
 CH₄ : Metana
 CO₂ : Karbon dioksida
 CO : Karbon monoksida
 NH₃ : Ammonia
 H₂S : Hidrogen sulfida

2.4.6 Tekanan

Tekanan dalam sebuah fluida dalam keadaan diam didefinisikan sebagai gaya normal per satuan luas yang diberikan pada sebuah permukaan bidang (nyata maupun semu) yang terendam dalam fluida dan terbentuk dari tumbukan permukaan tersebut dengan molekul-molekul fluida. Nilai tekanan mengindikasikan keaktifan dari molekul-molekul dalam suatu fluida. Saat molekul-molekul tersebut bergerak sangat aktif, maka temperatur juga akan meningkat. Temperatur mengindikasikan energi akibat gerakan dari molekul-molekul fluida, semakin aktif gerakannya maka semakin besar energinya. Tekanan berbanding lurus dengan temperatur.

a. Tekanan Hidrostatik

Tekanan hidrostatik merupakan tekanan yang terjadi di bawah cairan. Tekanan ini terjadi karena adanya berat cairan yang menyebabkan fluida ini memiliki tekanan. Tekanan sebuah cairan tergantung pada kedalaman cairan di dalam sebuah ruang dan pengaruh percepatan gravitasi juga menjadi faktor pengaruh. Sebuah volume kecil fluida pada kedalaman tertentu dalam sebuah bejana akan memberikan tekanan ke atas untuk mengimbangi berat fluida yang ada di atasnya. Untuk suatu volume yang sangat kecil, tekanan adalah sama di segala arah dan berat fluida yang di atas volume sangat kecil tersebut ekuivalen dengan tekanan yang dirumuskan sebagai berikut :

$$p = \rho gh \quad (2.7)$$

Dimana :

- p : Tekanan cairan (pa)
- ρ : Kerapatan atau massa jenis (kg/m^3)
- g : Percepatan gravitasi (m/s^2)
- h : Ketinggian cairan (m)

b. Tekanan Atmosferik

Lapisan atmosfer yang melindungi bumi meluas hingga 1000 km ke atas bumi dan memiliki massa $4,5 \times 10^{18}$ kg. Massa atmosfer yang menekan permukaan bumi inilah yang disebut dengan tekanan atmosfer. Tekanan atmosfer di permukaan laut adalah 76 cmHg.

c. Tekanan Statik

Cairan tidak dapat dimampatkan, sehingga fluida ini dapat menghasilkan tekanan normal pada semua permukaan yang kontak dengannya. Pada keadaan statik (diam), tekanan tersebut bersifat isotropik yaitu bekerja dengan besar yang sama ke segala arah. Karakteristik ini membuat fluida dapat mentransmisikan gaya di sepanjang pipa atau tabung. Ini artinya bahwa bila suatu gaya diberikan pada fluida di dalam pipa, maka gaya tersebut akan di transmisikan hingga ujung pipa. Jika terdapat gaya lawan di ujung pipa yang besarnya tidak sama dengan gaya yang ditransmisikan maka fluida tersebut akan bergerak dalam arah yang sesuai dengan arah gaya resultan.

2.4.7 Kecepatan Fluida

Secara umum, fluida dikenal memiliki kecenderungan untuk bergerak atau mengalir. Sangat sulit mengekang fluida agar tidak bergerak. Tegangan geser yang sangat kecil saja sudah menyebabkan fluida bergerak. Begitu pula suatu ketidakseimbangan dari tegangan (tekanan) normal akan menyebabkan fluida bergerak.

Parameter kecepatan merupakan salah satu aspek dari gerakan fluida tanpa meninjau gaya-gaya aktual yang diperlukan untuk menghasilkan gerakan tersebut. Ketika fluida mengalir, ada gerakan netto dari molekul-molekul dari satu titik ke titik lainnya di dalam ruang sebagai fungsi waktu. Namun lebih mudah kita meninjau gerakan fluida bukan dari molekul-molekul fluidanya, tetapi dari partikel-partikel fluida yang berinteraksi satu sama lainnya dan dengan lingkungannya. Setiap partikel terdiri dari banyak molekul. Jadi, kita dapat menggambarkan aliran suatu fluida dalam gerakan partikel-partikel fluida, dibandingkan dengan menggambarkannya untuk masing-masing molekul.

Kecepatan sebuah partikel merupakan laju perubahan per satuan waktu dari vektor posisi partikel tersebut. Kecepatan pada dasarnya merupakan sebuah vektor, maka kecepatan ini memiliki besar dan arah.

2.4.8 Debit Aliran

Debit aliran dipergunakan untuk menghitung kecepatan aliran pada masing-masing pipa yang dapat dihitung dengan persamaan :

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

Sedangkan dari persamaan kontinuitas didapat :

$$Q = AV \quad (2.9)$$

Atau

$$V = \frac{Q}{A} \quad (2.10)$$

Dimana :

- Q : Debit aliran (m³/s)
- V : Kecepatan aliran (m/s)
- A : Luas penampang (m²)

\forall : Volume fluida (m^3)

2.4.9 Persamaan Kontinuitas

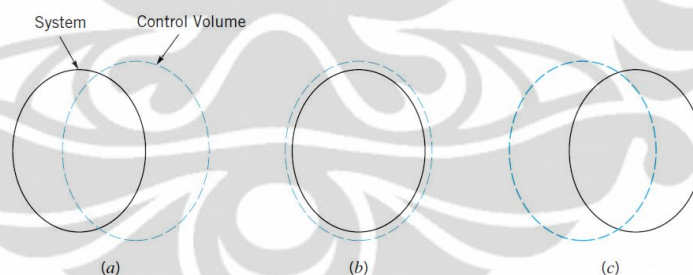
Hukum kekekalan massa atau kontinuitas ini merupakan bagian dari prinsip-prinsip fisika yang menjadi dasar dari analisis volume atur hingga (*finite control volume analysis*). Sebuah sistem didefinisikan sebagai sebuah kumpulan dari isi yang tidak berubah, maka prinsip kekekalan massa untuk sebuah sistem dinyatakan secara sederhana sebagai :

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

Atau laju perubahan terhadap waktu dari massa sistem sama dengan nol. Massa sistem, M_{sys} , lebih umum dinyatakan sebagai :

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

Pengintegralannya meliputi seluruh volume sistem. Massa sistem sama dengan jumlah dari seluruh perkalian kerapatan-unsur volume dari isi sistemnya. Untuk sebuah sistem dan sebuah volume atur tetap dan tidak berdeformasi yang berimpit pada suatu saat yang sama, seperti ilustrasi pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 Sistem dari volume atur pada waktu yang berbeda. (a) Sistem dan volume atur pada $t - \delta t$. (b) Sistem dan volume atur pada waktu t , (c) Sistem dan volume atur pada $t + \delta t$.

$$\frac{D}{Dt} \int_{sys} \rho d\forall = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \rho d\forall + \int_{cs} \rho V \cdot \hat{n} dA \quad (2.13)$$

Laju perubahan terhadap waktu dari massa sistem yang berimpit sama dengan laju perubahan terhadap waktu dari massa dari kandungan volume atur yang berimpit ditambah dengan laju aliran netto dari massa melalui permukaan atur. Dari persamaan 2.15 dinyatakan bahwa laju perubahan terhadap waktu dari

massa sistem adalah jumlah dari kuantitas volume atur, yaitu laju perubahan terhadap waktu dari massa kandungan volume atur

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \rho dV \quad (2.14)$$

Dan laju netto massa aliran melalui permukaan atur

$$\int_{cs} \rho V \cdot \hat{n} dA \quad (2.15)$$

Apabila sebuah aliran tunak, maka seluruh sifat medan (yaitu sifat dari suatu titik tertentu), termasuk kerapatan tetap konstan terhadap waktu dan laju perubahan terhadap waktu dari massa kandungan volume atur adalah nol. Artinya bahwa :

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \rho dV = 0 \quad (2.16)$$

Integran $V \cdot \hat{n} dA$, dalam integral laju aliran massa menyatakan perkalian dari komponen kecepatan V , yang tegak lurus terhadap suatu bagian kecil permukaan atur dan bidang diferensial dA . Jadi, $V \cdot \hat{n} dA$, adalah laju aliran volume melalui dA dan $\rho V \cdot \hat{n} dA$ adalah laju aliran massa yang melalui dA . Lebih lanjut lagi, tanda dari perkalian titik, $V \cdot \hat{n}$ adalah “+” untuk aliran keluar dari volume atur dan “-“ untuk aliran ke dalam volume atur karena \hat{n} dianggap positif apabila menunjuk keluar dari volume atur. Jika seluruh kuantitas diferensial $\rho V \cdot \hat{n} dA$, dijumlahkan pada seluruh permukaan atur, seperti yang ditunjukkan oleh integral

$$\int_{cs} V \cdot \hat{n} dA \quad (2.17)$$

Maka hasilnya adalah laju aliran massa netto melalui permukaan atur, atau

$$\int_{cs} V \cdot \hat{n} dA = \sum \dot{m}_{keluar} - \sum \dot{m}_{ke dalam} \quad (2.18)$$

Pernyataan volume atur untuk kekekalan massa yang biasa disebut dengan persamaan kontinuitas, untuk volume atur tetap dan tidak berdeformasi adalah :

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \rho dV + \int_{cs} \rho V \cdot \hat{n} dA = 0 \quad (2.19)$$

Untuk menjaga kekekalan massa, laju perubahan terhadap waktu dari massa kandungan volume atur ditambah dengan laju netto aliran massa melalui permukaan atur harus sama dengan nol.

Pernyataan yang sering digunakan untuk laju aliran massa \dot{m} , melalui sebuah bagian dari permukaan atur luas A adalah :

$$\dot{m} = \rho Q = \rho AV \quad (2.20)$$

Dimana :

ρ : Kerapatan atau massa jenis (kg/m^3)

V : Kecepatan aliran (m/s)

A : Luas penampang (m^2)

\dot{m} : Laju aliran massa (kg/s)

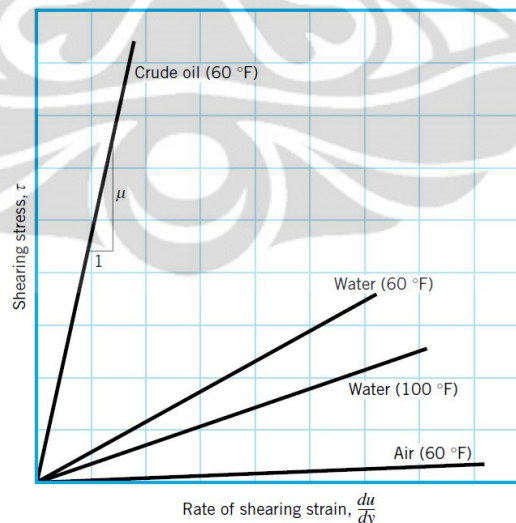
Q : Debit aliran (m^3/s)

Karena pada aliran *incompressible* tidak ada perubahan aliran massa jenis maka berlaku :

$$Q = AV = \text{konstan} \quad (2.21)$$

2.4.10 Fluida Newtonian dan Non-Newtonian

Fluida dapat dikelompokkan menjadi dua jenis berdasarkan tegangan geser yang dihasilkan yaitu fluida Newtonian dan non-Newtonian. Fluida Newtonian mengalami hubungan yang linier antara besarnya tegangan geser dengan laju regangan gesernya (laju deformasi angularnya).

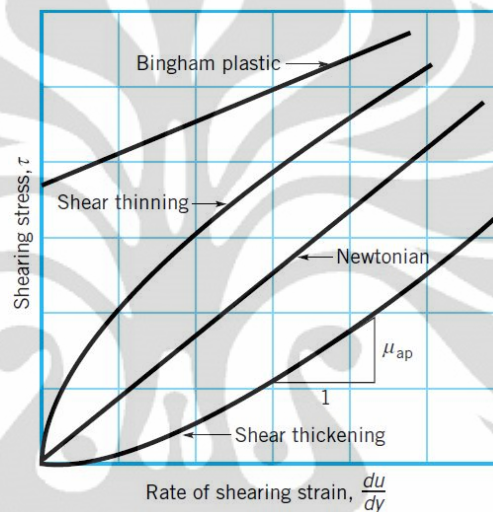


Gambar 2.15 Variasi linier dari tegangan geser terhadap laju regangan geser untuk fluida-fluida yang umum

Kebanyakan fluida biasa, baik zat cair maupun gas adalah fluida Newtonian. Fluida ini akan terus mengalir sekalipun terdapat gaya yang bekerja pada fluida. Hal ini disebabkan karena viskositas dari suatu fluida Newtonian

bersifat konstan ketika terdapat gaya yang bekerja pada fluida. Viskositas dari suatu fluida Newtonian hanya bergantung pada temperatur dan tekanan.

Sedangkan fluida non-Newtonian mengalami hubungan yang tidak linier lagi antara besarnya tegangan geser yang terjadi dan laju regangan gesernya. Kemiringan tegangan geser terhadap laju regangan geser dinyatakan sebagai viskositas nyata (*apparent viscosity*), μ_{ap} . Untuk fluida-fluida Newtonian, viskositas nyatanya sama dengan viskositasnya dan tidak tergantung pada laju geseran.



Gambar 2.16 Variasi linier dari tegangan geser terhadap laju regangan geser untuk beberapa jenis fluida, termasuk fluida non-Newtonian yang umum

Untuk fluida yang mengencer akibat geseran (*shear thinning fluids*) viskositas nyatanya berkurang dengan meningkatnya laju geseran. Semakin kuat fluida mengalami geseran, maka fluida tersebut akan semakin encer (viskositasnya berkurang). Contoh fluida yang bersifat seperti ini adalah suspensi koloid dan larutan polimer. Cat lateks tidak menetes dari kuas karena laju geserannya kecil dan viskositas nyatanya besar. Namun, cat tersebut mengalir dengan mulus pada dinding karena lapisan tipis cat antara dinding dengan kuas mengakibatkan laju geseran yang besar dan viskositas nyata yang kecil.

Untuk fluida yang mengental akibat geseran (*shear thickening fluids*), viskositas nyatanya meningkat dengan peningkatan laju geseran. Semakin kuat fluida mengalami geseran, maka semakin kental fluida tersebut (viskositasnya meningkat). Contohnya adalah campuran air dengan tepung jagung (maizena) dan campuran air dengan pasir. Jadi akan semakin sulit bagi kita untuk memisahkan

sebuah benda dalam campuran air dengan pasir bila kecepatan pemisahannya besar.

2.5 *Computational Fluid Dynamics*

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah sebuah ilmu yang mempelajari metode atau cara memperkirakan bagaimana fluida (gas, air, dll), atau campuran fluida baik dengan fluida lain ataupun dengan partikel padat, akan bergerak mengalir dalam sebuah sistem fisik yang ditetapkan serta pengaruhnya terhadap batas-batas dimana fluida tersebut mengalir. Gerakan fluida diperkirakan oleh CFD dengan menerapkan konsep konservasi massa, momentum dan energi diterapkan dalam medan aliran fluida. Karena interaksi yang besar yang menyertai di dalam fluida (baik gas maupun cairan), komputer digunakan untuk melakukan jutaan kalkulasi yang diperlukan untuk mensimulasikannya dengan permukaan yang telah didefinisikan dengan batasan kondisi.

Computational Fluid Dynamics (CFD) ini menggunakan metode perhitungan dengan sebuah kontrol dimensi, luas dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputasi komputer untuk melakukan perhitungan pada tiap-tiap elemen pembagiannya. Prinsipnya adalah suatu ruang yang berisi fluida yang akan dilakukan penghitungan dibagi-bagi menjadi beberapa bagian, hal ini sering disebut dengan sel dan prosesnya dinamakan *meshing*. Bagian-bagian yang terbagi tersebut merupakan sebuah kontrol penghitungan yang akan dilakukan adalah aplikasi. Kontrol-kontrol penghitungan ini beserta kontrol-kontrol penghitungan lainnya merupakan pembagian ruang yang disebut tadi atau *meshing*. Nantinya, pada setiap titik kontrol penghitungan akan dilakukan penghitungan oleh aplikasi dengan batasan domain dan *boundary condition* yang telah ditentukan. Prinsip inilah yang banyak dipakai pada proses penghitungan dengan menggunakan bantuan komputasi komputer. *Boundary condition* adalah kondisi dimana kontrol-kontrol perhitungan didefinisikan sebagai definisi awal yang akan dilibatkan ke kontrol-kontrol penghitungan yang berdekatan dengannya melalui persamaan-persamaan yang terlibat.

Ada banyak *software* CFD seperti *CFDSOF*, *SolidWorks Flow Simulation*, *Phoenics*, *Fluent* dan sebagainya. Untuk melakukan perhitungan dinamika aliran

fluida, *software* CFD ini memiliki paket yang terdiri dari tiga modul, yaitu : *pre-processor*, *solver* atau *processor* dan *post-processor*.

2.5.1 Pre-processor

Pre-processor adalah tahap dimana data dimasukkan mulai dari pendefinisian domain serta pendefinisian kondisi batas atau *boundary condition*. Ditahap itu juga sebuah benda atau ruangan yang akan analisa dibagi-bagi dengan jumlah *grid* tertentu atau sering disebut juga dengan *meshing*.

2.5.2 Solver (Processor)

Pada tahap ini dilakukan proses penghitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara iteratif. Artinya penghitungan dilakukan hingga hasil menuju *error* terkecil atau hingga mencapai nilai yang konvergen. Penghitungan dilakukan secara menyeluruh terhadap volume kontrol dengan proses integrasi persamaan diskrit.

2.5.3 Post-processor

Tahap ini merupakan tahap akhir dimana hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam gambar, grafik bahkan animasi dengan pola-pola warna tertentu.

Hal yang paling mendasar mengapa konsep CFD banyak sekali digunakan dalam dunia industri yaitu karena dengan CFD ini dapat dilakukan analisa terhadap suatu sistem dengan mengurangi biaya dan waktu eksperimen. Selain itu, pemahaman lebih mendalam pada suatu masalah mengenai karakteristik aliran fluida dengan melihat hasil berupa grafik, vektor, kontur dan bahkan animasi.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

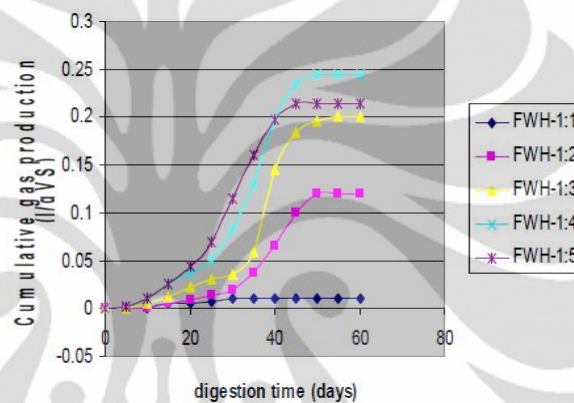
Penelitian mengenai biogas eceng gondok ini diawali dengan mencari informasi dari beberapa sumber yang dapat dijadikan referensi. Dari data informasi yang didapat, diharapkan dapat menjadi bahan acuan untuk merancang suatu *plant* biogas. Perancangan ini dilakukan dengan memperhatikan beberapa aspek yaitu : tujuan dan konsep pembuatan *plant* biogas, potensi yang ada mengenai peralatan dan bahan baku yang tersedia di lingkungan.

Konsep utama pembuatan *plant* biogas ini adalah untuk menghasilkan biogas dari bahan organik yang tersedia di alam dan peralatannya mudah didapat serta mudah untuk dipindah-tempatkan. Maka dipilihlah drum plastik dengan kapasitas 200 liter sebagai digesternya. Tahap selanjutnya adalah merancang *plant* biogas dengan komponen-komponennya.

Tahap produksi peralatannya dilakukan setelah tahapan desain selesai. Pembuatan peralatan yang utamalah yang didahulukan. Digester, saluran masuk *slurry*, saluran keluar residu dan saluran hasil biogas dibuat dahulu. Ini dimaksudkan agar bahan organik yang akan difermentasi di dalam digester dapat segera dimulai mengingat waktu fermentasinya cukup lama agar terbentuk biogas. Kemudian peralatan yang lain dapat dibuat dan disatukan sehingga menjadi sebuah *plant* biogas. Pengambilan data dilakukan setelah biogas mulai terbentuk yang ditandai dengan keluarnya gas pada plastik penampung. Data-data tersebut dijadikan parameter untuk simulasi CFD agar dapat mempelajari fenomena yang terjadi serta perilaku dari aliran *slurry* pada saluran masuk *slurry*.

Sistem perpipaan pada saluran masuk *slurry* mulai dari *feeder* hingga masuk ke dalam digester inilah yang dipelajari dengan simulasi CFD. Aliran *slurry* dirancang dapat mengalir secara kontinyu untuk mengisi digester. Alirannya diatur melalui katup pada saluran masuknya. Diharapkan dapat mengalir selama masa retensi di dalam digester. *Slurry* yang baru akan mendorong *slurry* yang telah tinggal lama di dalam digester ke saluran keluar residu.

Selama *slurry* mengalir melalui pipa yang dengan ketidakseragaman dimensi pipa, melewati katup dan belokan serta pipa yang panjang, maka penurunan tekanan tentunya akan terjadi. Penurunan tekanan tidak hanya disebabkan oleh saluran yang dilewati, tetapi oleh *slurry* itu sendiri. *Slurry* merupakan campuran eceng gondok yang telah dihaluskan dengan air dengan perbandingan 1 : 4. Sengaja perbandingan antara eceng gondok dengan air lebih besar untuk memudahkan ketika mengalir melalui pipa serta karena pada konsentrasi tersebut akan menghasilkan biogas optimum dengan bahan baku eceng gondok.



Gambar 3.1 Produksi biogas dengan berbagai konsentrasi eceng gondok dengan air

(Sumber : Jagadish H. Patil dkk, 2011)

Data input yang dijadikan parameter dalam simulasi CFD *Solidwork Flow Simulation* adalah tekanan hidrostatis *slurry* dari hasil perhitungan. Sedangkan hasil dari eksperimen mengenai debit aliran *slurry* bukaan katup penuh dijadikan parameter dalam simulasi CFDSOF untuk menganalisa aliran *slurry* di dalam digester dengan dua variasi *outlet*.

3.1.1 Objek, Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian mengenai biogas dengan bahan baku eceng gondok ini dimulai dari merancang *plant* biogasnya hingga pembuatan peralatannya. Objek yang dijadikan bahan penelitian adalah saluran masuk *slurry* dan digesternya.

Tempat pembuatan *plant* biogas dan pengambilan data dilakukan di rumah “X” yang berlokasi di Kukusan, Depok. Waktu pembuatan *plant* biogas dan pengambilan data dimulai sejak bulan Januari hingga Mei 2011.

3.1.2 Peralatan dan Bahan

Ada beberapa peralatan dan bahan dalam pembuatan sebuah *plant* biogas sederhana, yaitu : digester, saluran masuk *slurry*, saluran keluar residu, saluran biogas, *gas holder*, dan *feeder*.

a. Digester

Digester ini berupa drum plastik dengan kapasitas 200 liter. Drum digester ini diberi saluran masuk *slurry* dan saluran keluar residu serta saluran keluar gas yang dihasilkan. Drum digester ini diposisikan secara horizontal.



Gambar 3.2 Drum digester

b. Saluran masuk *slurry*

Saluran masuk ini berupa pipa dengan katup untuk mengatur aliran *slurry* dari *feeder* ke digester. Katup ini berupa *ball valve* yang dibuka dengan bukaan tertentu agar terpenuhi laju aliran massa per harinya sesuai dengan yang diinginkan.



Gambar 3.3 Sistem perpipaan saluran masuk *slurry*

c. Saluran keluar residu

Saluran keluar residu ini juga berupa pipa yang digunakan untuk mengalirkan residu dari bahan baku biogas yang telah difermentasi selama waktu

retensi di dalam digester. Saluran ini mulai dari bagian bawah di salah satu sisi digester.



Gambar 3.4 Saluran keluar residu

Saluran residu ini dibuat agar residu mengalir ke atas terlebih dahulu hingga permukaannya sama dengan permukaan *slurry* dalam digester. Dengan tujuan agar *slurry* tidak langsung keluar tanpa dorongan dari *slurry* baru. Dengan begitu udara tidak dapat masuk ke dalam digester walaupun saluran residu ini tidak tertutup. Permukaan *slurry* di dalam saluran residulah yang menghalangi udara masuk ke dalam digester.

d. Saluran biogas

Saluran biogas ini sangat penting untuk menyalurkan biogas yang telah terbentuk di dalam digester sehingga tidak terkumpul dalam digester. Dengan adanya saluran biogas ini, memudahkan dalam pengukuran dan mengelola hasil biogasnya. Saluran biogas ini dihubungkan ke *gas holder*.



Gambar 3.5 Saluran biogas

e. *Gas holder*

Gas holder atau penampung gas ini hanya berupa plastik PE yang berukuran 40 liter yang disangga oleh kotak sederhana agar plastik penampungnya terbentuk rapi dan memudahkan pengukuran dimensi penampung

gasnya. Saluran gas yang menuju *gas holder* ini didesain dengan dua buah katup agar memudahkan mengatur aliran gasnya. Kita dapat menutup katupnya ketika akan melepas plastik penampung gasnya. Bila akan langsung digunakan gasnya misalnya untuk bahan bakar kompor, dapat langsung disalurkan melalui saluran tersendiri dengan katup yang lain.



Gambar 3.6 *Gas holder*

f. *Feeder*

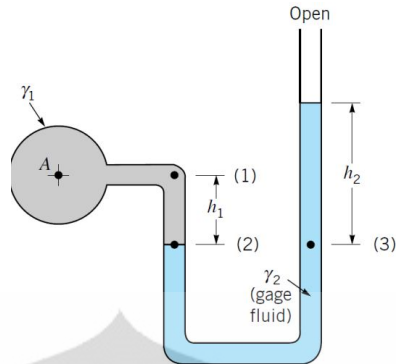
Feeder ini merupakan drum penampungan sementara bahan baku biogas yang telah berupa *slurry*. Drumnya sama dengan drum untuk digester yaitu dengan kapasitas 200 liter. Instalasinya dibuat vertikal untuk memudahkan mengalirkan *slurry* ke digester secara kontinyu melalui saluran pipa.



Gambar 3.7 Drum *feeder*

g. Manometer U

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



Gambar 3.8 Manometer tabung U sederhana

(Sumber : Bruce R. Munson, Dkk. 2002)

Fluida yang terdapat dalam manometer disebut fluida pengukur. Untuk menentukan tekanan P_A yang dinyatakan dalam berbagai kolom, 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 :

$$P_A + \gamma_1 h_1 - \gamma_2 h_2 = P_{atm} \quad (3.1)$$

$$P_A = P_{atm} + \gamma_2 h_2 - \gamma_1 h_1 \quad (3.2)$$

Dimana :

P_A : tekanan fluida A yang akan diukur (Pa)

P_{atm} : tekanan atmosfer (Pa)

γ_1 : Berat jenis fluida A (ρ_A dikalikan dengan percepatan gravitasi) ($\text{kg/m}^2\text{s}^2$)

h_1 : Ketinggian fluida A (m)

γ_2 : Berat jenis fluida pengukur (ρ_{air} dikalikan dengan percepatan gravitasi) ($\text{kg/m}^2\text{s}^2$)

h_2 : Selisih ketinggian fluida pengukur (m)

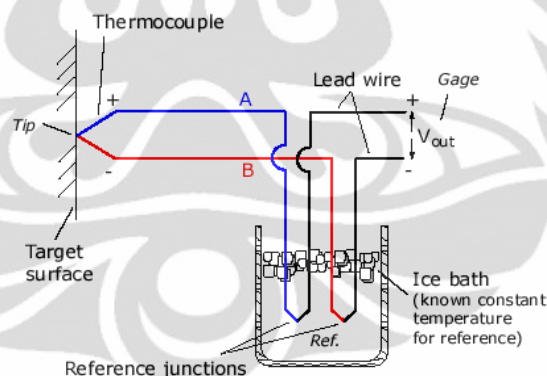
Fluida A dapat berupa cairan maupun gas. Bila berupa gas, kontribusi dari ketinggian kolom gas $\gamma_1 h_1$ hampir selalu diabaikan, sehingga $P_A \approx P_2$ dan persamaannya menjadi :

$$P_A = P_{atm} + \gamma_2 h_2 \quad (3.3)$$

Untuk fluida pengukurnya dapat berupa air raksa ataupun air biasa. Air raksa digunakan bila fluida yang akan diukur tekanannya memiliki tekanan yang cukup besar. Sedangkan bila fluida yang akan diukur memiliki tekanan yang relatif kecil, maka air biasa sudah cukup untuk dijadikan fluida pengukur dalam manometer U.

h. Termokopel

Termokopel adalah sensor temperatur yang banyak digunakan untuk mengubah perbedaan suhu dalam benda menjadi perubahan tegangan listrik (voltase). Termokopel yang sederhana dapat dipasang, dan memiliki jenis konektor standar yang sama, serta dapat mengukur temperatur dalam jangkauan suhu yang cukup besar dengan batas kesalahan pengukuran kurang dari 1 °C.



Gambar 3.9 Skema termokopel

Ketidaksamaan material (metal) yang dihubungkan menyebabkan terjadinya suatu beda tegangan pada sirkuit terbuka. Voltase ini perubahan temperatur T sambungan tersebut. Sambungan kabel metal tersebut biasanya disebut dengan *junction*. Jika kedua *junction* berada pada temperatur yang sama maka tidak ada voltase, jika terjadi perbedaan temperatur diantara dua *junction* maka terdapat voltase. Nilai voltase ini tergantung dari materialnya dan temperatur dari kedua *junction*-nya. Biasanya salah satu *junction* bernilai 0° C sebagai referensi.

Termokopel dipasang di dalam digester untuk mengetahui temperatur *slurry* yang baru dimasukkan dengan yang sudah mengalami pencernaan anaerob. Tampilan digital termokopel dipasang di atas digester untuk memudahkan pembacaannya.

i. *Slurry* Eceng Gondok

Slurry merupakan campuran eceng gondok yang telah dihaluskan dengan air. *Slurry* ini adalah fluida kerja pada pembuatan biogas. Eceng gondok yang masih segar dibersihkan kemudian dipotong-potong agar mudah untuk dimasukkan dalam blender.



Gambar 3.10 (a) Eceng gondok segar, (b) Eceng gondok dipotong-potong.

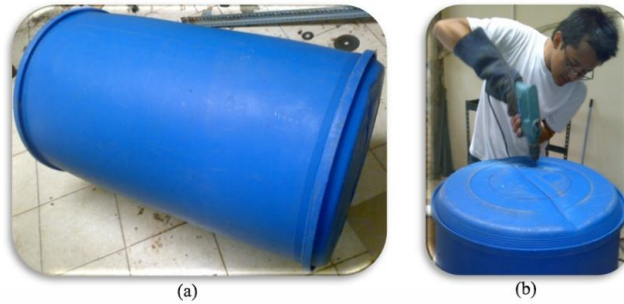
Eceng gondok dihancurkan agar mudah menyatu dengan air membentuk *slurry*. Ini juga akan memudahkan kita dalam melakukan pengisian *slurry* melalui pipa ke dalam digester.



Gambar 3.11 (a) Eceng gondok diblender, (b) *Slurry* eceng gondok dialirkan ke dalam digester.

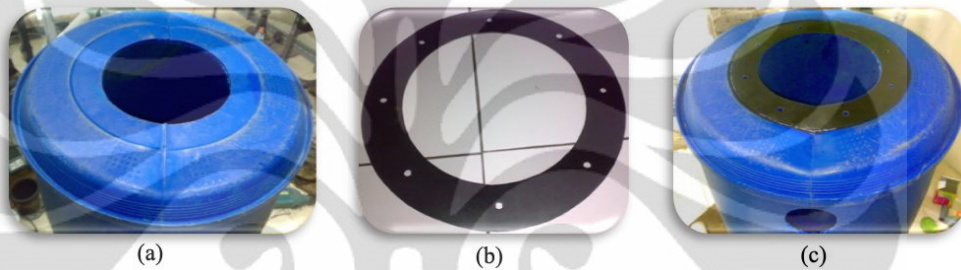
3.1.3 Langkah Pembuatan *Plant* Biogas

Pengerjaan *plant* biogas ini dimulai dari membuat peralatan utamanya yaitu digester menggunakan drum.



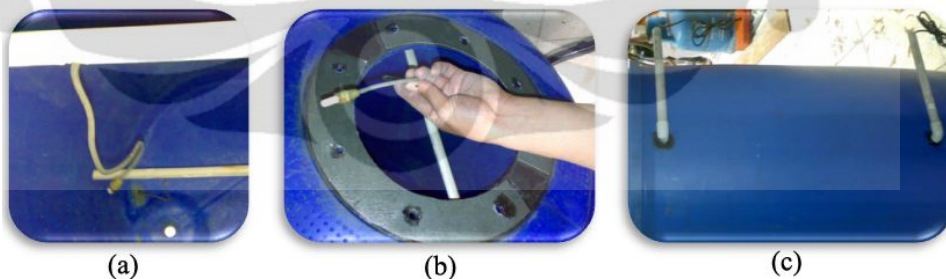
Gambar 3.12 (a) Drum digester yang akan dikerjakan, (b) Pelubangan salah satu sisi drum

Drum plastik berkapasitas 200 liter dilubangi pada bagian sisinya untuk saluran masuk *slurry*. Lubang sengaja dibuat besar untuk memasang akrilik.



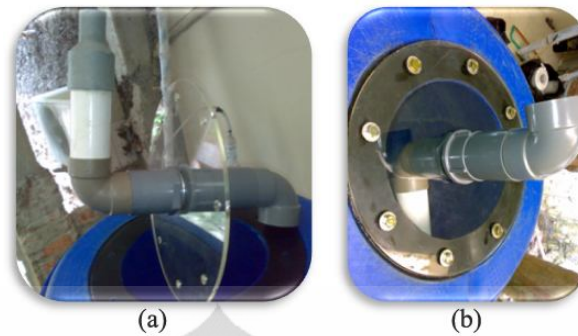
Gambar 3.13 (a) Sisi drum yang telah dilubangi, (b) Karet *seal*, (c) Pemasangan karet *seal*

Akrilik ini dipasang untuk mengetahui level *slurry* di dalam digester. Pada bagian lubang di beri semacam karet sebagai *seal* agar saat menyatukan akrilik menggunakan baut tidak rusak.



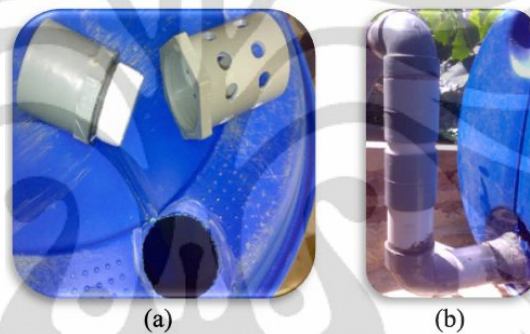
Gambar 3.14 (a) Sensor termokopel dalam digester, (b) Sensor termokopel, (c) Pipa pelindung kabel termokopel

Bagian dalam digester dipasang dua buah sensor termokopel untuk mengetahui temperatur di dalam saat dioperasikan. Bagian dinding digester dilubangi untuk memasang pipa kecil untuk melindungi kabel termokopel.



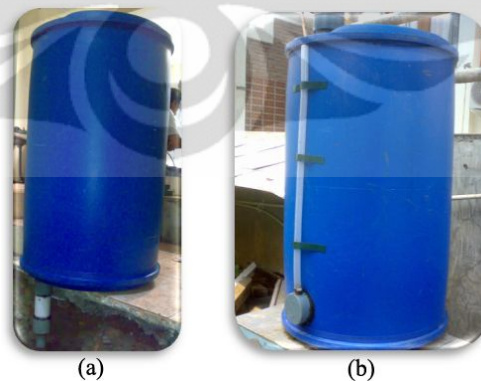
Gambar 3.15 (a) Akrilik dengan pipa saluran masuk, (b) Pemasangan akrilik dan saluran masuk dengan baut dan lem

Pemasangan akrilik ini sekaligus bersama pipa saluran masuk. Kemudian bagian yang terbuka ditutup dengan lem agar tidak bocor.



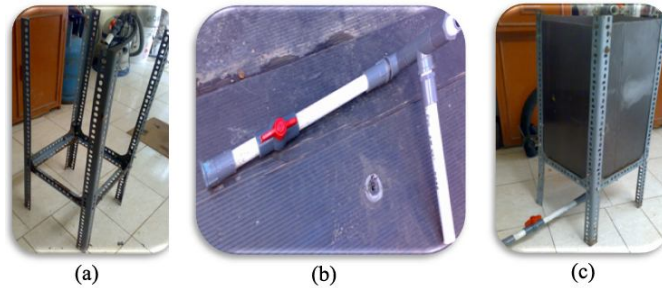
Gambar 3.16 (a) Lubang pada saluran keluar, (b) Pipa saluran keluar

Saluran keluar berada disalah satu sisi digester. Setiap sambungan pipa juga harus dilem agar tidak bocor.



Gambar 3.17 (a) Saluran masuk *slurry* pada feeder, (b) Selang transparan pada feeder

Kemudian setelah digester selesai dibuat, *feeder* selanjutnya yang di kerjakan dengan melubangi sisi bawahnya untuk saluran masuk ke digester. Ada pemasangan selang transparan untuk mengetahui level *slurry* dalam *feeder*.



Gambar 3.18 (a) Kerangka besi siku untuk *gas holder*, (b) Pipa saluran biogas, (c) *Gas holder* yang telah jadi

Selanjutnya pengerjaan *gas holder* yang dibuat dari rangka besi siku kemudian ditutup setiap sisinya dengan penutup. Sistem perpipaan saluran gas berada dibagian bawah dari *gas holder*.

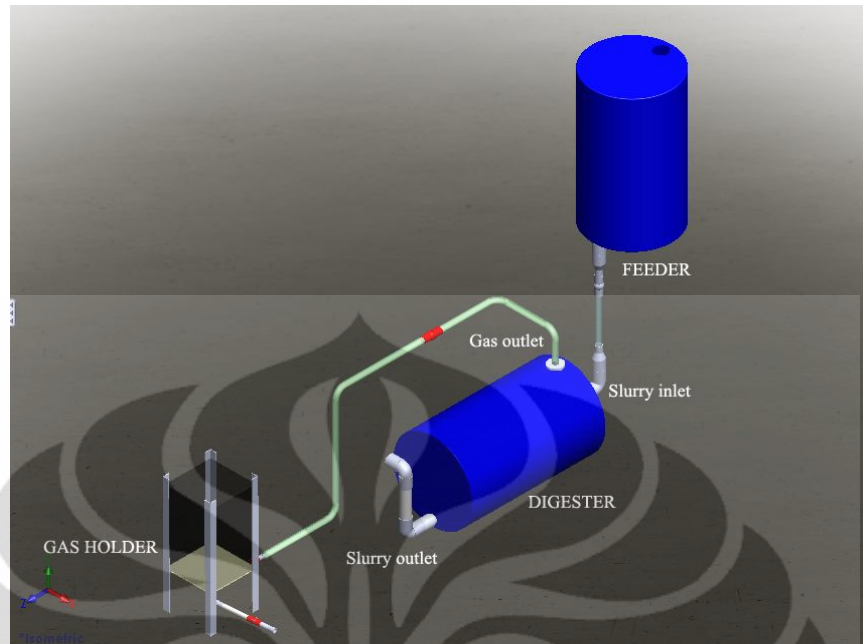


Gambar 3.19 Instalasi komponen *plant* biogas

Semua komponen *plant* biogas telah dibuat, kemudian disatukan menjadi sebuah *plant* biogas yang siap dioperasikan.

3.1.4 Deskripsi Alat

Plant biogas ini merupakan peralatan yang digunakan untuk memproduksi biogas dari bahan organik berupa eceng gondok yang telah dihaluskan dan dicampur dengan air. Biogas terbentuk akibat aktifitas bakteri metanogen dalam kondisi *anaerob* (kedap udara) di dalam digester. Proses pembentukan biogasnya dilakukan dalam beberapa hari selama waktu retensi yang diinginkan.



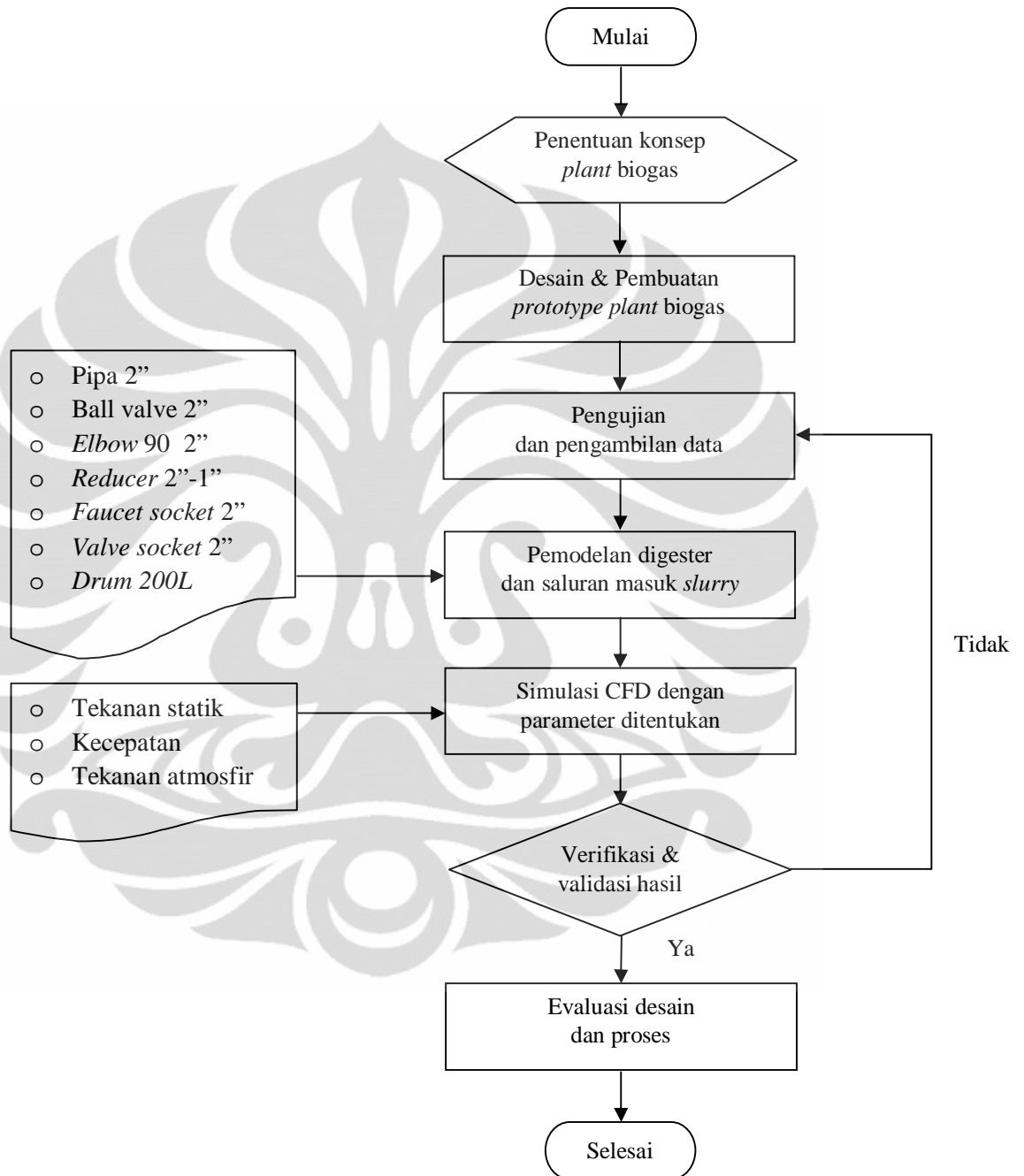
Gambar 3.20 Model *plant* biogas

Plant biogas ini memiliki beberapa komponen, yaitu : digester, saluran masuk *slurry*, saluran keluar residu, saluran biogas, penampung biogas (*gas holder*) dan *feeder*.

Digester merupakan peralatan utama dalam *plant* biogas. Di dalam digester inilah produksi biogas berlangsung. Digester terbuat dari drum plastik yang diberi saluran pada kedua sisinya. Digester diletakkan di ruang terbuka agar mendapat sinar matahari secara langsung sehingga temperaturnya bagus untuk pertumbuhan bakteri dalam digester. Saluran masuk *slurry* merupakan pipa saluran untuk mengalirkan *slurry* dari *feeder* ke digester. Saluran ini sangat penting untuk kelangsungan pengisian digester secara kontinyu. Ada sebuah katup pengontrol pada saluran masuk yang dapat dibuka sesuai dengan kebutuhan. Sedangkan saluran keluar residu merupakan saluran untuk mengalirkan *slurry* yang telah diproses menghasilkan biogas. Residu ini dialirkan ke penampungan residu. Saluran keluar residu terletak di sisi yang berlawanan dengan saluran masuk *slurry*-nya. Saluran biogas mengalirkan hasil dari fermentasi yang berupa gas ke penampungan gas. Penampungan gas (*gas holder*) ini berupa plastik PE yang akan menampung biogas. *Feeder* merupakan alat untuk menampung *slurry* sementara sebelum dialirkan ke digester.

3.1.5 Diagram Alir

Berikut merupakan diagram alir proses penelitian mengenai biogas yang telah dilakukan :



3.2 Metode Pengujian Kemampuan Digester

Ada banyak parameter uji yang dilakukan pengujian untuk mengetahui kemampuan digester yang telah dioperasikan. Parameter uji tersebut yaitu temperatur, derajat keasaman (pH), laju aliran massa *slurry* per hari, produksi

biogas yang dihasilkan, kesetimbangan massa *slurry*, tekanan biogas, tekanan hidrostatik, dan nyala api biogas.

3.2.1 Temperatur

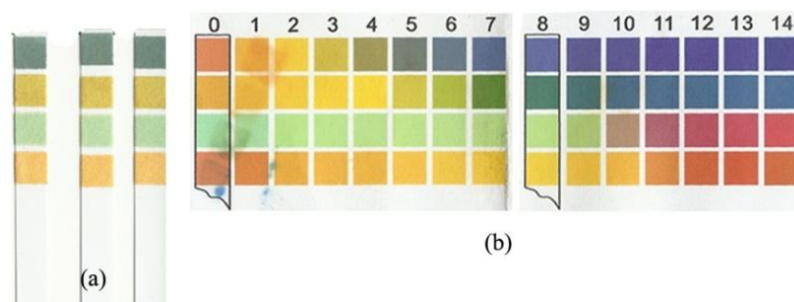
Temperatur pada digester diukur dengan menggunakan termokopel dengan tampilan digital. Bagian yang diukur adalah di dalam digester pada sisi saluran masuk *slurry* dan sisi saluran keluar residu. Untuk membedakan temperatur *slurry* baru dengan *slurry* yang telah mengalami waktu retensi. Pengambilan data temperatur dilakukan setiap hari.



Gambar 3.21 Tampilan temperatur digester

3.2.2 Derajat Keasaman (pH)

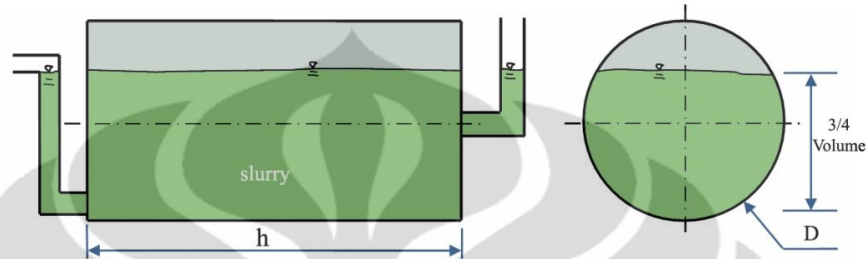
Derajat keasaman (pH) pada *slurry* diukur setiap hari. Pengukuran dilakukan dengan kertas lakmus. Kertas lakmus adalah kertas yang diberi suatu senyawa kimia sehingga akan menunjukkan warna yang berbeda setelah dimasukkan pada larutan asam maupun basa. Warna kertas lakmus akan berubah sesuai dengan larutannya. Cara pengukurannya adalah dengan mencelupkan kertas lakmus yang terdiri dari kotak-kotak warna ke dalam *slurry*. Kemudian didiamkan beberapa saat dan dicocokkan dengan ukuran referensi yang terdapat pada bungkus kertas lakmus.



Gambar 3.22 Kertas lakmus. (a) Kertas pengukur pH, (b) warna referensi berdasarkan pH

3.2.3 Perhitungan Volume *Slurry*

Slurry diisikan ke dalam digester hingga $\frac{3}{4}$ volume digester. Volume sisanya adalah untuk ruang biogas yang terbentuk. Karena digester berbentuk silinder maka perhitungannya menggunakan rumus silinder dengan dikalikan seberapa penuh digester tersebut diisi *slurry*.



Gambar 3.23 Dimensi digester

Berikut merupakan persamaan untuk menghitung volume *slurry* digester :

$$\begin{aligned} V_{slurry} &= \frac{3}{4} \text{Volume digester} \\ &= \frac{3}{4} \left(\frac{1}{4} \pi D^2 h \right) \end{aligned} \quad (3.4)$$

Dimana :

V_{slurry} : Volume *slurry* dalam digester (m^3)

D : Diameter digester (m)

h : Tinggi/panjang digester (m)

3.2.4 Laju Aliran Massa *Slurry* per Hari

Laju aliran massa *slurry* tiap harinya adalah hasil hitungan antara massa residu ditambah dengan massa biogas yang dihasilkan. Untuk menunggu hingga biogas terbentuk dan residu terdorong keluar digester, dibutuhkan waktu retensi. Misalnya 30 hari, sehingga didapat biogas dan residu. Massa dari keduanya inilah yang akan digantikan dengan massa *slurry* yang baru setiap harinya. Ketika *slurry* baru dimasukkan ke digester, *slurry* lama akan terdorong dan bergeser. *Slurry* yang berada di saluran keluar akan terdorong keluar setiap harinya.

3.2.5 Tekanan Biogas

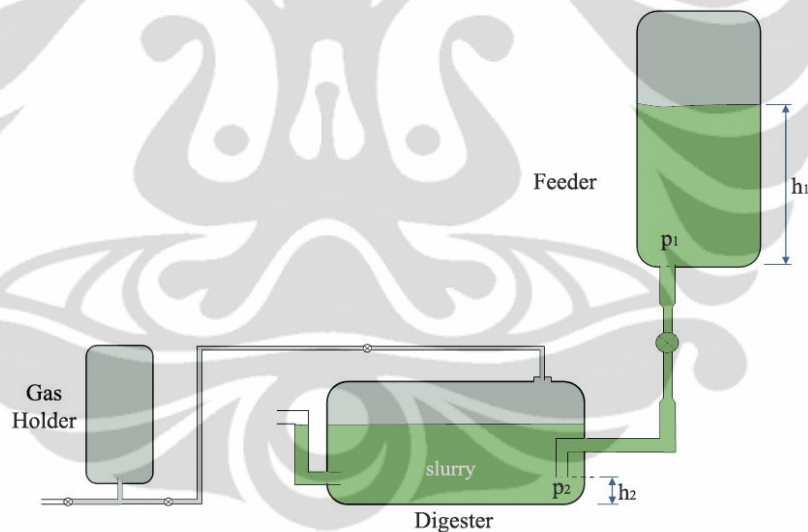
Tekanan biogas dapat diukur dengan manometer U sederhana. Manometer U sederhana dibuat di samping digester untuk mengukur tekanan biogas tiap harinya. Selang transparan dihubungkan ke digester sehingga biogas dapat

mengalir dan mendorong fluida pengukur (air) dalam selang tersebut. Selang yang berisi fluida pengukur, dibentuk menyerupai huruf U sehingga memudahkan pengukuran.

Perbedaan tinggi air dalam selang manometer U diukur setiap hari untuk data perhitungan.

3.2.6 Tekanan Hidrostatik Pada Saluran Masuk *Slurry*

Tekanan hidrostatik pada digester dan *feeder* ini akan digunakan sebagai tekanan input dalam simulasi CFD. *Feeder* diisi dengan *slurry* dengan ketinggian *slurry* 60 cm dari dasar *feeder*. Tekanan pada mulut pipa di dasar *feeder* ini dipengaruhi oleh tekanan biogas yang dihasilkan *slurry* selama tinggal didalam *feeder*. Sedangkan tekanan pada mulut pipa di dalam digester dipengaruhi oleh tekanan biogas yang terbentuk dalam digester dan ketinggian mulut pipa tersebut terhadap dasar digester.



Gambar 3.24 Skema sistem perpipaan digester

Perhitungan Tekanan hidrostatik

a. Tekanan di titik 1 :

$$p_1 = (\rho_{slurry} \cdot g \cdot h_1) + p_{biogas} \quad (3.5)$$

b. Tekanan di titik 2 :

$$p_2 = (\rho_{slurry} \cdot g \cdot h_2) + p_{biogas} \quad (3.6)$$

Dimana :

p_1 : Tekanan pada titik 1 (pa)

- p_2 : Tekanan pada titik 2 (pa)
 p_{biogas} : Tekanan biogas (pa)
 ρ_{slurry} : Massa jenis *slurry* (kg/m^3)
 g : Percepatan gravitasi bumi (m/s^2)
 h_1 : Ketinggian permukaan cairan terhadap titik 1 (m)
 h_2 : Ketinggian titik 2 terhadap dasar cairan (m)

3.2.7 Pengujian Nyala Api Biogas

Pengujian nyala api biogas yang dihasilkan dilakukan dengan cara membakar secara langsung hasil biogasnya. Bila penampung biogas sudah penuh, maka plastik penampung biogas dilepas kemudian dipasang yang baru.

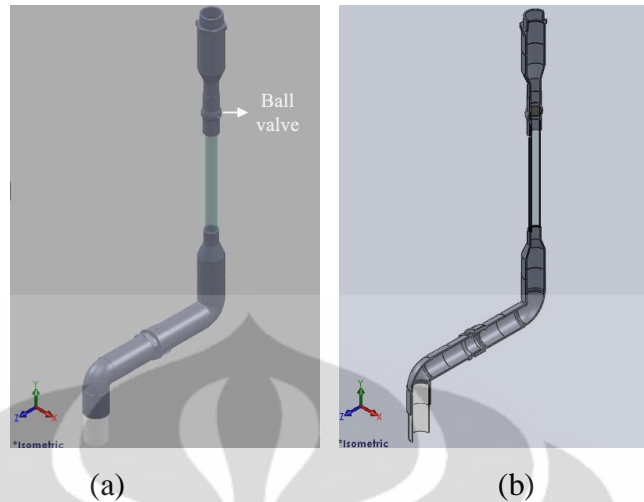
Ujung plastik biogas disambungkan dengan nosel yang berbentuk pipa. Kemudian dapat dinyalakan dengan api. Bila biogasnya cukup banyak, selang pada saluran biogas dapat disambungkan dengan kompor gas yang telah dimodifikasi agar tetap menyala apinya walaupun tekanannya kecil. Bila dibandingkan dengan gas elpiji, tekanan biogas ini jauh lebih kecil. Untuk membantu agar biogas ini bertekanan, penampung biogas harus diberi pemberat.

3.3 Metode Simulasi

Ada beberapa simulasi CFD dengan *software* yang berbeda, yaitu simulasi bukaan katup dengan *SolidWorks Flow Simulation*, simulasi aliran *slurry* di dalam digester dengan *SolidWorks Flow Simulation* dan CFDSOF.

3.3.1 Simulasi Bukaan Katup Pada Saluran Masuk *Slurry*

Simulasi bukaan katup pada saluran masuk *slurry* ini dilakukan untuk mendapatkan derajat bukaan katup yang sesuai dengan laju aliran massa yang telah didapat dari proses pengoperasian digester. Bagian dari komponen *plant* biogas yang dimodelkan untuk dianalisa penurunan tekanannya adalah saluran masuk *slurry*. Saluran ini merupakan tempat mengalirnya *slurry* baru dari *feeder* untuk mengisi digester. Geometri saluran ini berdasarkan pada kebutuhan. Dengan *feeder* dan digester berkapasitas 200 liter, dipilihlah ukuran pipa dan sambungan-sambungannya 1 dan 2 inchi. Ada katup (*ball valve*) yang digunakan untuk mengontrol aliran *slurry*.



Gambar 3.25 (a) Model perpipaan dengan pandangan isometrik. (b) Penampang model pipa

Simulasi ini dengan beberapa parameter yang telah ditentukan sebagai berikut :

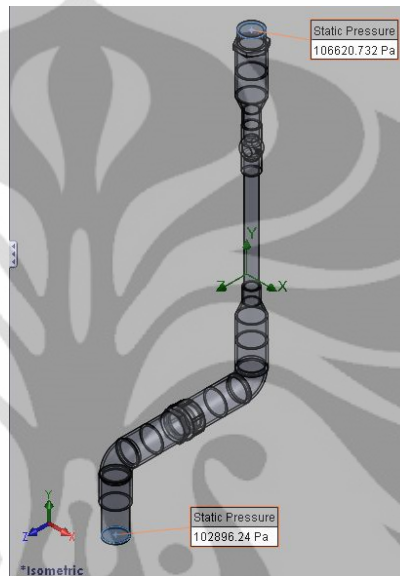
- *Analysis type* : Internal
- *Fluid* : *Slurry* dengan *user defined*
Parameter *slurry* campuran eceng gondok dengan air ini diasumsikan memiliki :

Massa jenis (ρ_{slurry})	: 888,1 kg/m ³
Konduktivitas termal (K)	: 3,84 W/m.K
Kalor spesifik (Cp)	: 4179 J/kg.K
Viskositas (μ)	: 0,0913 pa.s
- *Wall conditions* : *Adiabatic Wall*
- *Result resolution* : *Level 3*
- *Boundary condition 1* : *Type static pressure*
 $p = 106620,732 \text{ pa}$
 $T = 303 \text{ K}$
- *Boundary condition 2* : *Type static pressure*
 $p = 102896,24 \text{ pa}$
 $T = 303 \text{ K}$
- *Goals* : *Surface goals*
SG Total pressure 1 dan 2
SG Mass flow rate 1 dan 2

SG Volume flow rate 1 dan 2

SG Av velocity 1 dan 2

Untuk nilai konduktivitas termal dan viskositas dari *slurry* eceng gondok ini diasumsikan sama dengan *slurry* kotoran hewan pada umumnya. Sedangkan untuk massa jenis *slurry* adalah hasil dari perhitungan. Untuk kalor spesifik *slurry* diasumsikan sama dengan kalor spesifik air pada kondisi temperatur 303 K.



Gambar 3.26 *Boundary condition* pada saluran masuk *slurry*

3.3.2 Simulasi Aliran *Slurry* di Dalam Digester Dengan Desain Saluran Keluar di Bagian Atas

Ada dua *software* yang digunakan untuk simulasi aliran *slurry* ini di dalam digester, yaitu *SolidWorks Flow Simulation* dan *CFDSOF*. Kedua hasil simulasi tersebut dibandingkan sehingga didapat yang sesuai dengan yang diinginkan.

a. Simulasi Dengan *SolidWorks Flow Simulation*

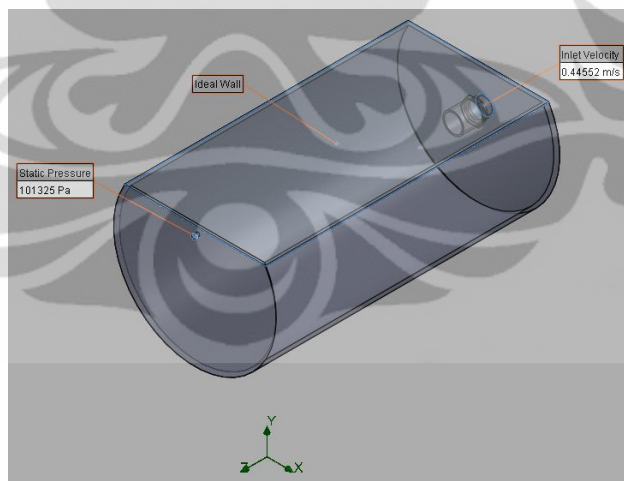
Simulasi ini dengan beberapa parameter yang telah ditentukan sebagai berikut :

- *Analysis type* : *Internal*
- *Fluid* : *Slurry* dengan *user defined*

Parameter *slurry* campuran eceng gondok dengan air ini diasumsikan memiliki :

Massa jenis (ρ_{slurry}) : 888,1 kg/m³

- Konduktivitas termal (K) : 3,84 W/m.K
 Kalor spesifik (Cp) : 4179 J/kg.K
 Viskositas (μ) : 0,0913 pa.s
- *Wall conditions* : *Adiabatic Wall*
 - *Result resolution* : *Level 3*
 - *Boundary condition 1* : *Type Inlet velocity*
 $V = 0,44552 \text{ m/s}$
Fully developed flow
 - *Boundary condition 2* : *Type static pressure*
 $p = 101325 \text{ pa}$
 - *Goals* : *Surface goals*
SG Mass flow rate 1 dan 2
SG Volume flow rate 1 dan 2
SG Av velocity 1 dan 2
 - *Boundary condition 3* : *Type Wall*
Ideal Wall
Reference axis = Z



Gambar 3.27 *Boundary condition* pada digester dengan saluran keluar di bagian atas

b. Simulasi Dengan CFDSOF

Parameter-parameter yang digunakan dalam simulasi CFDSOF ini meliputi :

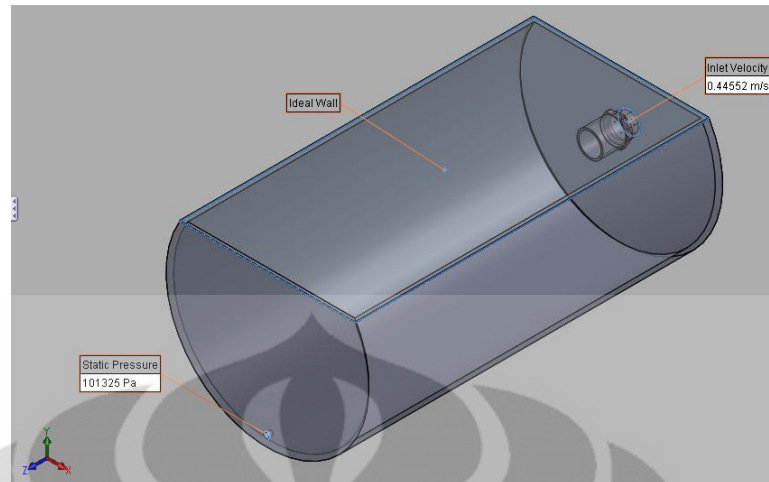
- Ukuran domain

3.3.3 Simulasi Aliran *Slurry* di Dalam Digester Dengan Desain Saluran Keluar di Bagian Bawah

a. Simulasi Dengan *SolidWorks Flow Simulation*

Simulasi ini dengan beberapa parameter yang telah ditentukan sebagai berikut :

- *Analysis type* : *Internal*
- *Fluid* : *Slurry* dengan *user defined*
 Parameter *slurry* campuran eceng gondok dengan air ini diasumsikan memiliki :
 - Massa jenis (ρ_{slurry}) : 888,1 kg/m³
 - Konduktivitas termal (K) : 3,84 W/m.K
 - Kalor spesifik (Cp) : 4179 J/kg.K
 - Viskositas (μ) : 0,0913 pa.s
- *Wall conditions* : *Adiabatic Wall*
- *Result resolution* : *Level 3*
- *Boundary condition 1* : *Type Inlet velocity*
 $V = 0,44552 \text{ m/s}$
Fully developed flow
- *Boundary condition 2* : *Type static pressure*
 $p = 101325 \text{ pa}$
- *Goals* : *Surface goals*
SG Mass flow rate 1 dan 2
SG Volume flow rate 1 dan 2
SG Av velocity 1 dan 2
- *Boundary condition 3* : *Type Wall*
Ideal Wall
Reference axis = Z



Gambar 3.29 *Boundary condition* pada digester dengan saluran keluar di bagian bawah

b. Simulasi Dengan CFDSOF

Parameter-parameter yang digunakan dalam simulasi CFDSOF ini meliputi :

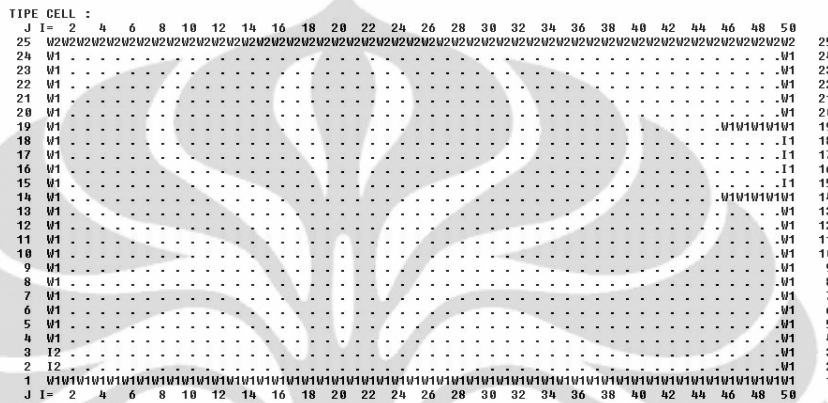
- Ukuran domain
 - Panjang : 0,94 m
 - Lebar : 0,4125 m
- Jumlah *cell*
 - Koordinat I : 50 *cell*
 - Koordinat J : 25 *cell*
- Kondisi fisik *slurry*
 - Massa jenis (ρ_{slurry}) : 888,1 kg/m³
 - Viskositas (μ_{slurry}) : 0,0913 kg/m-s
- *Inlet 1*
 - Kecepatan normal : 0,44552 m/s
- *Inlet 2*
 - Tekanan : 101325 pa
- Koordinat I dan J

Tabel 3.2 Koordinat-koordinat I dan J

<i>Inlet 1</i>	$Wall_{Inlet 1}$ (W1)	$Wall_{Inlet 1}$ (W1)	$Wall_{permukaan}$ (W2)	<i>Inlet 2</i>
I ₅₀	I ₄₆	I ₄₆	I ₁	I ₁

I ₅₀	I ₅₀	I ₅₀	I ₅₀	I ₁
J ₁₅	J ₁₄	J ₁₉	J ₂₅	J ₂
J ₁₈	J ₁₄	J ₁₉	J ₂₅	J ₃

Dari koordinat-koordinat tersebut kemudian dibangun sebuah daftar *cell* yang membentuk digester dengan model 2 dimensi.



Gambar 3.30 Daftar *cell* pada digester

BAB 4

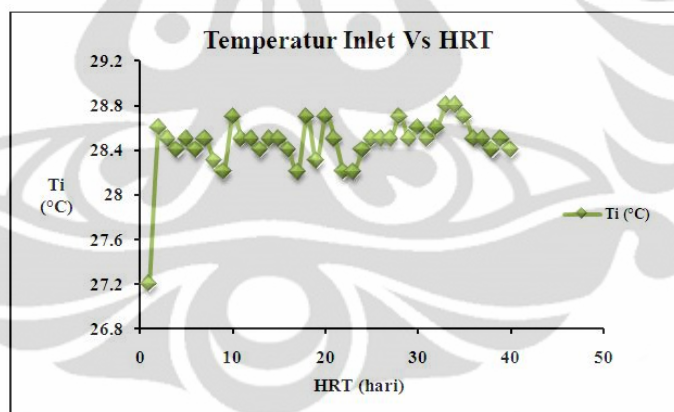
ANALISA HASIL DATA EKSPERIMEN DAN SIMULASI CFD

4.1 Hasil Pengujian Kemampuan Digester

Pengujian digester yang telah dibuat ini untuk mengetahui kemampuan digester dalam beroperasi menghasilkan biogas. Ada beberapa parameter yang diuji yaitu : temperatur, derajat keasaman (pH), laju aliran massa *slurry* per hari, produksi biogas yang dihasilkan, kesetimbangan massa *slurry*, tekanan biogas, tekanan hidrostatik, dan nyala api biogas.

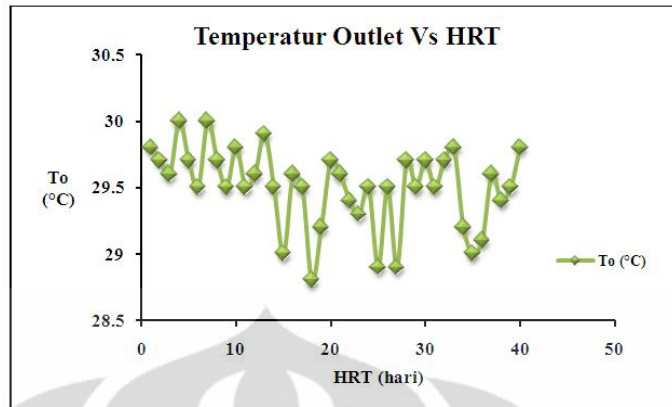
4.1.1 Temperatur

Temperatur lingkungan cukup bagus sehingga temperatur dalam digester juga masih dalam toleransi untuk tumbuh-kembangnya bakteri penghasil biogas. Digester ditempatkan di lingkungan terbuka yang dapat sinar matahari secara langsung. Pengambilan data temperatur dilakukan setiap hari selama retensi antara pukul 09.00-11.00 WIB. Temperatur yang dihasilkan berkisar antara 27°-30° C.



Gambar 4.1 Grafik hubungan Temperatur *inlet* dengan HRT

Temperatur yang diambil datanya setiap hari selama waktu retensi tidak konstan. Letak digester berada di tempat terbuka yang tentunya akan mengikuti temperatur di sekitar. Ketika cuaca hujan, tentu temperatur rendah. Ketika malam hari hingga pagi hari, temperatur rendah. Sedangkan ketika cuaca panas, maka temperatur meningkat. Sangat sulit mempertahankan temperatur konstan. Berbeda bila digester diletakkan di dalam tanah, temperatur lebih mudah dijaga konstan.



Gambar 4.2 Grafik hubungan Temperatur *outlet* dengan HRT

Walaupun tidak konstan temperaturnya, namun tidak sampai melebihi hingga 2°C. Terlihat pada grafik temperatur *outlet* yang mewakili temperatur *slurry* di dalam digester perbedaan temperaturnya antara 28,8 - 30,0 °C.

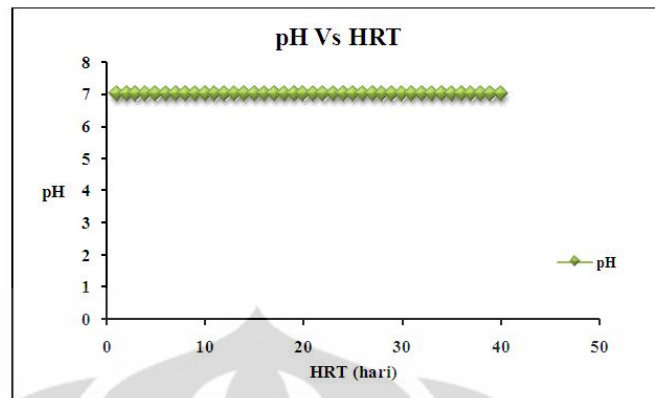
4.1.2 Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman *slurry* juga cukup bagus untuk kehidupan bakteri penghasil biogas. Pada saat awal-awal retensi, pH masih rendah hanya 6 namun masih dalam batas kewajaran untuk kehidupan bakteri pembentuk biogas. Kemudian pH naik menjadi 7, sehingga semakin baik untuk kehidupan bakterinya.



Gambar 4.3 Visualisasi alat ukur pH

Ketelitian alat ukur pH ini sangat terbatas, sehingga hasilnya tidak bisa sedetail bila menggunakan alat ukur digital. Pada awal waktu retensi, nilai pH *slurry* masih rendah (hanya 6). Setelah beberapa hari, pH naik menjadi 7. Pada saat pengisian kontinyu, pH *slurry* yang didapat tetap berada pada tingkat 7.



Gambar 4.4 Grafik hubungan pH dengan HRT

4.1.3 Perhitungan Volume *Slurry*

Slurry diisikan ke dalam digester hingga $\frac{3}{4}$ volume digester. Volume sisanya adalah untuk ruang biogas yang terbentuk. Karena digester berbentuk silinder maka perhitungannya menggunakan rumus silinder dengan dikalikan seberapa penuh digester tersebut diisi *slurry*.

Diketahui :

$$D = 55 \text{ cm} = 0,55 \text{ m}$$

$$h = 94 \text{ cm} = 0,94 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} V_{slurry} &= \frac{3}{4} \text{ Volume digester} \\ &= \frac{3}{4} \left(\frac{1}{4} \pi D^2 h \right) \\ &= \frac{3}{4} \left(\frac{1}{4} \pi \times 0,55^2 \times 0,94 \right) \\ &= 0,1674 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Jadi volume *slurry* yang memenuhi $\frac{3}{4}$ digester adalah sebesar $0,1674 \text{ m}^3$. Dengan ketinggian saluran keluar yang ditetapkan agar ketinggian *slurry* di dalam digester tetap, maka bila *slurry* diisi melebihi dari jumlah $0,1674 \text{ m}^3$ akan keluar secara sendirinya melalui saluran keluar residu.

4.1.4 Massa Jenis *Slurry*

Slurry ini merupakan campuran antara eceng gondok dengan air. Perbandingannya adalah 1:4. Perbandingan ini dipilih karena pada konsentrasi tersebut akan menghasilkan biogas optimum dengan bahan baku eceng gondok.

Berdasarkan penelitian Stewart (1972) mengenai massa jenis dari eceng gondok yang dipotong-potong untuk mereduksi volumenya adalah sebesar 670 kg/m^3 .

$$\begin{aligned}\rho_{slurry} &= \frac{100 \%}{\left[\frac{C_{W \text{ eceng gondok}}}{\rho_{\text{eceng gondok}}} + \frac{(100 \% - C_{W \text{ eceng gondok}})}{\rho_{\text{air}}} \right]} \\ &= \frac{100 \%}{\left[\frac{25 \%}{670} + \frac{(100 \% - 25 \%)}{995,7} \right]} \\ &= \frac{100 \%}{1,126 \times 10^{-3}} \\ &= 888,1 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Jadi massa jenis dari *slurry* yang berupa campuran eceng gondok dengan air adalah sebesar $888,1 \text{ kg/m}^3$. Massa jenis *slurry* ini dengan konsentrasi air lebih banyak yaitu 4 kali dari eceng gondok. Eceng gondoknya diberi perlakuan dengan memotong-motongnya kemudian menghaluskannya dengan tujuan untuk memudahkan dalam pencampuran dengan air. Perlakuan tersebut akan menaikkan kerapatan (massa jenis) eceng gondok itu sendiri.

4.1.5 Massa Jenis Biogas

Massa jenis biogas dapat ditentukan dari komponen pembentuk biogas tersebut. Persentase tiap komponen dikalikan dengan massa jenis masing-masing komponen. Kemudian dijumlahkan sehingga didapat massa jenis biogas.

Diketahui :

$$\rho \text{ CH}_4 = 0,68 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho \text{ CO}_2 = 1,87 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho \text{ CO} = 1,184 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho \text{ NH}_3 = 0,73 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho \text{ H}_2\text{S} = 1,45 \text{ kg/m}^3$$

$$\% \text{ CH}_4 = 65 \%$$

$$\% \text{ CO}_2 = 34,94 \%$$

$$\% \text{ CO} = 0,03 \%$$

$$\% \text{ NH}_3 = 0,01 \%$$

% H₂S = 0,02 %

Maka massa jenis biogas adalah :

$$\begin{aligned}\rho_{Biogas} &= (65 \% \times \rho \text{ CH}_4) + (34,94 \% \times \rho \text{ CO}_2) + (0,03 \% \times \rho \text{ CO}) \\ &+ (0,01 \% \times \rho \text{ NH}_3) + (0,02 \% \times \rho \text{ H}_2\text{S}) \\ &= (65 \% \times 0,68) + (34,94 \% \times 1,87) + (0,03 \% \times 1,184) \\ &\quad + (0,01 \% \times 0,73) + (0,02 \% \times 1,45) \\ &= 1,097 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Jadi massa jenis biogas dengan bahan baku eceng gondok adalah sebesar 1,097 kg/m³. Massa jenis biogas ini sedikit lebih kecil dibanding dengan massa jenis udara.

4.1.6 Laju Aliran Massa *Slurry* per Hari

Pengujian digester selama periode retensi pertama menghasilkan volume biogas sebesar 150 liter dan residu sebesar 3,8 liter.

- o Massa biogas

$$\begin{aligned}\forall_{biogas} &= 150 \text{ liter} \\ &= 0,15 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Jadi massa biogas yang diproduksi selama retensi (sebelum pengisian *slurry* kontinyu) adalah :

$$\begin{aligned}m_{biogas} &= \rho_{biogas} \times \forall_{biogas} \\ &= 1,097 \times 0,15 \\ &= 0,16 \text{ kg}\end{aligned}$$

- o Massa residu

$$\begin{aligned}\forall_{residu} &= 3,8 \text{ liter} \\ &= 0,0038 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Jadi massa residu yang dihasilkan selama masa retensi (sebelum pengisian *slurry* kontinyu) adalah :

$$\begin{aligned}m_{residu} &= \rho_{slurry} \times \forall_{residu} \\ &= 888,1 \times 0,0038 \\ &= 3,37 \text{ kg}\end{aligned}$$

Selama masa retensi, *slurry* di dalam digester mengalami proses pencernaan oleh bakteri. Sebagian berubah menjadi biogas dan sebagian tetap

cairan. *Slurry* di dalam digester sebagian kecil akan terdorong keluar digester karena tekanan biogas dalam digester dan menjadi residu. Keduanya, massa biogas dan residu ini haruslah diganti dengan massa *slurry* yang baru untuk kesetimbangan massa dalam proses anerobik secara kontinyu. Pengisian *slurry* baru secara kontinyu dilakukan setiap hari agar produksi biogas meningkat.

$$\begin{aligned} m_{slurry}/hari &= m_{biogas} + m_{residu} \\ &= 0,16 \text{ kg} + 3,37 \text{ kg} \\ &= 3,52 \text{ kg/hari atau,} \\ &= 4,0741 \times 10^{-5} \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Atau setara dengan

$$\begin{aligned} V_{slurry}/hari &= m_{slurry} : \rho_{slurry} \\ &= 3,52 \text{ kg} : 888,1 \text{ kg/m}^3 \\ &= 0,00396 \text{ m}^3 \\ &= 3,96 \text{ liter} \approx 4 \text{ liter} \end{aligned}$$

4.1.7 Produksi Biogas per Hari

a. Potensial Produksi Biogas per Hari

Eceng gondok memiliki potensial yang cukup besar untuk menghasilkan biogas. Eceng gondok segar dengan massa 1 kg dapat menghasilkan 0,045 m³ biogas per hari (Bhimsen Gurung, 1996). Karena tiap hari yang diberikan ke dalam digester berupa *slurry* (perbandingan 1:4 antara eceng gondok dengan air) sebesar 3,52 kg maka massa eceng gondoknya saja, per hari adalah :

$$\begin{aligned} m_{eceng\ gondok} &= 3,52 : 4 \\ &= 0,88 \text{ kg} \approx 0,9 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$m_{eceng\ gondok}/hari = 0,9 \text{ kg/hari}$$

jadi massa eceng gondok segar yang harus disediakan setiap harinya adalah sebesar 0,9 kg. Dan diperkirakan dapat menghasilkan sejumlah biogas sebesar :

$$\begin{aligned} \frac{V_{biogas}}{hari} &= 0,9 \times 0,045 \\ &= 0,0405 \text{ m}^3/hari \\ &= 40,5 \text{ liter/hari} \end{aligned}$$

Volume biogas hasil perhitungan secara ideal tersebut nantinya akan di bandingkan dengan produksi biogas per hari secara aktual.

b. Produksi Biogas Aktual per Hari

Penampung biogas yang berupa plastik dipasang pada *gas holder* yang berbentuk kotak. Bila gas terisi, maka plastik diasumsikan akan memenuhi kotak *gas holder* sehingga bentuknya menjadi seperti *gas holder*-nya. Perhitungan volume biogas dalam penampung plastik ini akan mudah dilakukan. Level biogas yang tertampung diukur menggunakan mistar.

Berikut pergitungan volume biogas dalam plastik penampung biogas dengan level rata-rata dari produksi setiap harinya selama retensi :

Diketahui :

$$p = 32 \text{ cm} = 0,32 \text{ m}$$

$$l = 32 \text{ cm} = 0,32 \text{ m}$$

$$h_{\text{rata-rata}} = 11,50 \text{ cm} = 0,115 \text{ m}$$

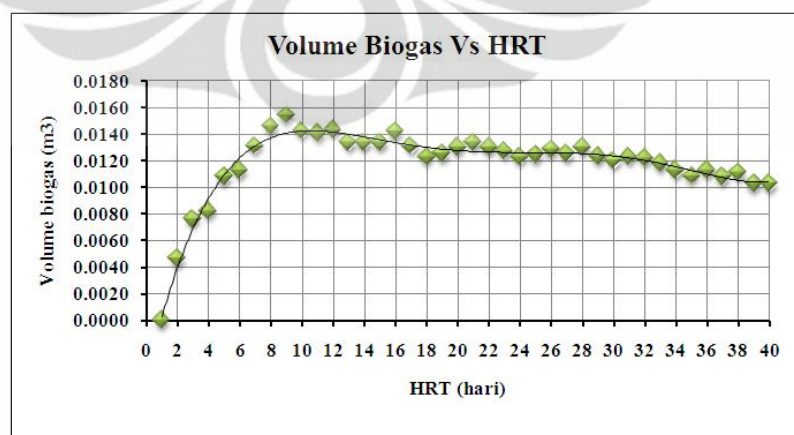
$$V_{\text{Biogas}} = p \times l \times h$$

$$= 0,32 \times 0,32 \times 0,115$$

$$= 0,01178 \text{ m}^3$$

$$= 11,78 \text{ liter}$$

Jadi produksi biogas rata-rata tiap hari adalah sebesar 11,78 liter.



Gambar 4.5 Grafik hubungan Volume biogas dengan HRT

Data perhitungan volume biogas yang dimulai dari hari pertama retensi hingga hari yang ke-40 dapat dilihat pada grafik hubungan volume biogas dengan HRT. Volume biogas yang terukur merupakan volume yang ada di penampung biogas *gas holder*. Di awal waktu retensi produksi biogas masih rendah, karena *slurry* baru belum lama dimasukkan secara kontinyu. Namun seiring bertambahnya waktu retensi dan pengisian *slurry* secara kontinyu ini akan meningkatkan produksi biogas, dan kemudian agak menurun karena *scum* sudah banyak terbentuk di permukaan *slurry*.

Hasil aktual jauh lebih kecil dibandingkan dengan potensial produksi biogas tiap hari. Selisihnya sebesar :

$$\begin{aligned}\text{Selisih} &= 100\% - \left(\frac{11,78}{40,5} \times 100\% \right) \\ &= 100\% - 29,09\% \\ &= 70,91\%\end{aligned}$$

Nilai selisih ini sangat tinggi sekali, potensial dengan produksi aktualnya jauh berbeda. Ada beberapa factor yang mempengaruhi hal tersebut, seperti temperatur yang belum mencapai temperatur optimal (30°-35° C), perlakuan eceng gondok yang mungkin berbeda, factor pengadukan yang belum optimal (hanya mengandalkan aliran *slurry*) dan adanya faktor cahaya yang masuk ke dalam digester (melewati bagian digester yang terbuat dari akrilik).

4.1.8 Kesetimbangan Massa *Slurry*

Berdasarkan hukum kesetimbangan massa, massa *slurry* yang dimasukkan ke dalam digester adalah sama dengan massa *slurry* yang keluar dari digester. Massa *slurry* yang keluar dari digester ini berupa massa biogas dan massa residu.

- o Massa residu total

Didapat bahwa residu total yang keluar dari digester sebesar :

$$\begin{aligned}V_{\text{residu}} &= 144,2 \text{ liter} \\ &= 0,1442 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Maka massa residu total (dengan asumsi massa jenis residu sama dengan massa jenis *slurry*) adalah :

$$m_{\text{residu total}} = \rho_{\text{residu}} \times V_{\text{residu}}$$

$$= 888,1 \times 0,1442$$

$$= 128,06 \text{ kg}$$

o Massa biogas total

Massa biogas secara keseluruhan adalah massa biogas yang ditampung pada penampung gas dari hari pertama retensi hingga terakhir ditambahkan dengan biogas yang masih berada di dalam digester sebesar $\frac{1}{4}$ volume digester.

$$m_{biogas \text{ total}} = (\forall_{biogas \text{ total}} \times \rho_{biogas}) + \left(\frac{1}{4} \forall_{digester} \times \rho_{biogas}\right)$$

$$= (0,461 \times 1,097) + (0,223 \times 1,097)$$

$$= 0,506 + 0,245$$

$$= 0,751 \text{ kg}$$

o Massa *slurry* output

Massa *slurry* output ini merupakan jumlah dari massa residu total dengan massa biogas total.

$$m_{slurry \text{ output}} = m_{residu \text{ total}} + m_{biogas \text{ total}}$$

$$= 128,06 + 0,751$$

$$= 128,811 \text{ kg}$$

o Selisih massa *slurry*

Volume *slurry* yang dimasukkan mulai dari hari ke 9 ketika gas sudah mulai produksi, sebesar 4 liter. Pengisian dilakukan secara kontinyu selama 40 hari sehingga :

$$\forall_{slurry} = 156 \text{ liter}$$

$$= 0,156 \text{ m}^3$$

$$m_{slurry \text{ input}} = \rho_{slurry} \times \forall_{slurry}$$

$$= 888,1 \times 0,156$$

$$= 138,544 \text{ kg}$$

$$\text{Selisih} = 100\% - \left(\frac{128,811}{138,544} \times 100\%\right)$$

$$= 100\% - 92,97\%$$

$$= 7,03\%$$

Nilai selisih yang cukup kecil yaitu 7,03 %. Ini menunjukkan bahwa massa *slurry* yang dimasukkan sama dengan massa output *slurry* yang keluar dari digester dengan kesalahan 7,03 %. Selisih tersebut dapat terjadi karena keterbatasan alat ukur maupun terjadi sedimentasi dalam digester maupun pipa saluran masuk dan keluar.

4.1.9 Tekanan Biogas

Pengukuran tekanan biogas dilakukan setiap hari dengan menggunakan manometer U sederhana. Berikut contoh perhitungan tekanan biogas dari fluida pengukur pada manometer U dengan ketinggian rata-rata setiap harinya selama masa retensi :

Diketahui :

$P_{\text{Biogas rata-rata}}$: Tekanan biogas rata-rata (Pa)

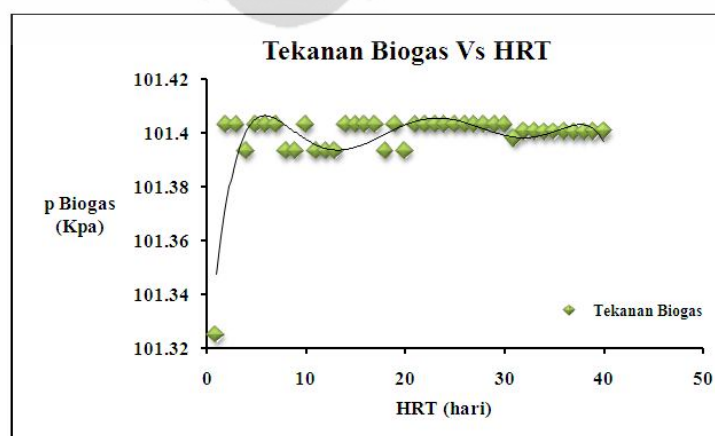
P_{atm} : Tekanan *atmosfir* (Pa)

γ_{air} : Berat jenis air pada $T_{30^{\circ}\text{C}}$ (ρ_{air} dikalikan dengan percepatan gravitasi) ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^2$)

h_{air} : Ketinggian fluida pengukur (air) (m)

$$\begin{aligned} p_{\text{Biogas rata-rata}} &= p_{\text{atm}} + (\gamma_{\text{air}} h_{\text{air}}) \\ &= p_{\text{atm}} + (995,7 \times 9,81 \times 0,007) \\ &= 101325 + 68,37 \\ &= 101393,375 \text{ pa} \end{aligned}$$

Jadi tekanan biogas rata-rata dalam digester adalah sebesar 101,393375 Kpa atau 1,00067 atm.

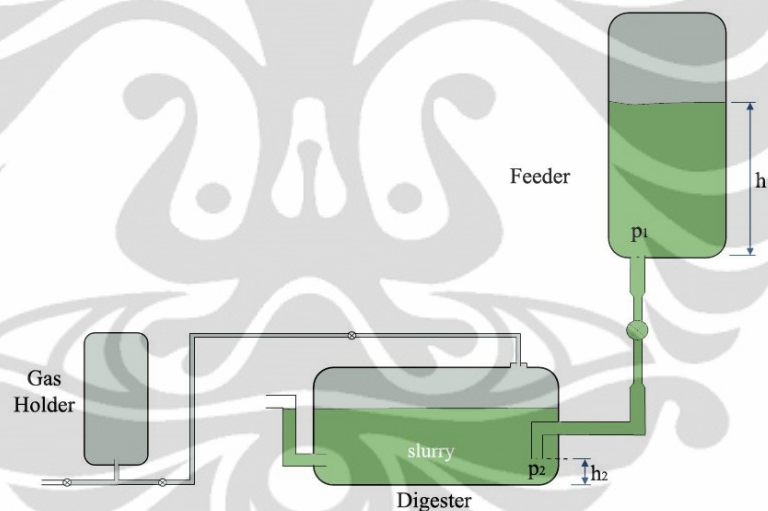


Gambar 4.6 Grafik hubungan tekanan biogas dengan HRT

Nilai tekanan yang ditandai dengan level air pada manometer U sederhana ini nilainya tergantung dari level biogas yang tertampung dalam plastik penampung. Namun tekanan biogas ini tetap dengan *range* yang tidak terlalu tinggi, yaitu antara 7-8 mm Hg.

4.1.10 Tekanan Hidrostatik

Tekanan hidrostatik pada digester dan *feeder* ini akan digunakan sebagai tekanan input dalam simulasi CFD. Feeder diisi dengan *slurry* dengan ketinggian *slurry* 60 cm dari dasar *feeder*. Tekanan pada mulut pipa di dasar *feeder* ini dipengaruhi oleh tekanan biogas yang dihasilkan *slurry* selama tinggal di dalam *feeder*. Sedangkan tekanan pada mulut pipa di dalam digester dipengaruhi oleh tekanan biogas yang terbentuk dalam digester dan ketinggian mulut pipa tersebut terhadap dasar digester.



Gambar 4.7 Skema sistem perpipaan digester

Perhitungan Tekanan hidrostatik

c. Tekanan di titik 1 :

$$\begin{aligned}
 p_1 &= (\rho_{slurry} \cdot g \cdot h_1) + p_{biogas} \\
 &= (888,1 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,6 \text{ m}) + 101393,375 \text{ pa} \\
 &= (5227,357 \text{ N/m}^2) + 101393,375 \text{ pa} \\
 &= 106620,732 \text{ pa}
 \end{aligned}$$

d. Tekanan di titik 2 :

$$\begin{aligned}
 p_2 &= (\rho_{slurry} \cdot g \cdot h_2) + p_{biogas} \\
 &= (888,1 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,1725 \text{ m}) + 101393,375 \text{ pa}
 \end{aligned}$$

$$= (1502,865 \text{ N/m}^2) + 101393,375 \text{ pa}$$

$$= 102896,24 \text{ pa}$$

e. Temperatur

Temperatur lokasi = $30^\circ \text{ C} = 303 \text{ K}$

f. Fluida

Fluida kerja : *slurry* campuran air dan eceng gondok

4.1.11 Nyala Api Biogas

Hasil dari uji nyala api biogas yang dihasilkan dari digester menunjukkan bahwa biogas sangat mudah terbakar (*flammable*). Total biogas yang dihasilkan selama waktu retensi adalah sebesar $0,684 \text{ m}^3$. Biogas tersebut bila disetarakan dengan bahan bakar lain yaitu sebesar $0,325 \text{ kg}$ elpiji atau $2,4 \text{ kg}$ kayu bakar. Berikut adalah pengujian nyala api biogas yang dihasilkan :



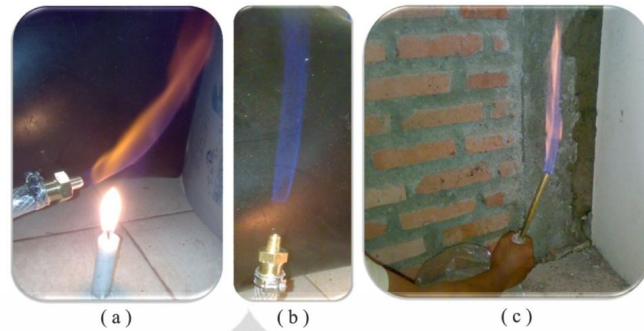
Gambar 4.8 Uji nyala api dengan pena logam sebagai noselnya

Pengujian dengan menggunakan nosel yang berdiameter kecil seperti sebatang pena maupun nosel las asitilin ini lebih sulit nyala apinya. Hal ini karena kecepatan aliran biogas pada nosel terlalu cepat sehingga sulit terbakar.



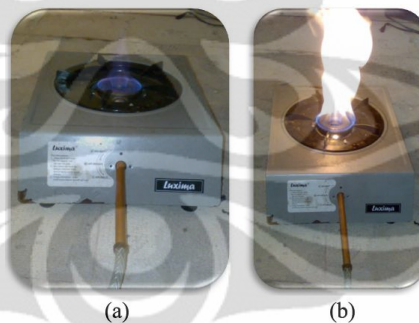
Gambar 4.9 Uji nyala api dengan nosel las. (a) Penyalaan dibantu dengan lilin.
(b) Penyalaan tanpa dengan bantuan lilin

Sedangkan bila dengan nosel yang berdiameter lebih besar, nyala apinya lebih mudah dan dapat dipertahankan lebih lama.



Gambar 4.10 Uji nyala api dengan mulut nosel yang lebih besar, (a) Penyalaan dibantu dengan lilin. (b) Penyalaan tanpa dengan bantuan lilin. (c) Penyalaan dengan nosel berupa pipa tembaga

Ini membuktikan bahwa biogas yang telah dihasilkan dapat digunakan untuk keperluan memasak bila disalurkan ke sebuah kompor. Hal ini dapat dibuktikan langsung dengan menyalurkan biogas ke kompor gas yang telah dimodifikasi. Perlu modifikasi karena setiap kompor gas memiliki nosel pada salurannya. Ini akan menyulitkan biogas untuk menyala karena memang pada dasarnya tekanan biogas jauh lebih kecil dibanding tekanan gas elpiji. Agar agak lebih bertekanan, penampung biogas diberi pembebanan yang diletakkan diatas plastik penampung. Ini akan memaksa biogas keluar ke kompor.



Gambar 4.11 Uji nyala api kompor gas. (a) Api yang dihasilkan dengan bukaan katup minimum. (b) Api dengan bukaan maksimum



Gambar 4.12 Penggunaan biogas untuk memasak

4.1.12 Penentuan Sudut Bukaannya Katup

Konsep digester yang dibuat adalah dengan aliran kontinyu. Dengan digester ukuran yang kecil, kapasitas *slurry* di dalamnya pun tidak terlalu besar. Dari hasil percobaan selama satu bulan pertama, bahwa *slurry* yang telah diproses anaerob oleh bakteri selama waktu retensi menghasilkan biogas sebesar 0,16 kg dan residu 3,37 kg.

Dalam hukum kontinuitas, laju aliran massa yang masuk ke dalam sistem sama dengan laju aliran massa yang keluar dari sistem. Untuk pengisian *slurry* secara kontinyu, dapat menggunakan prinsip kekekalan massa tersebut. Jadi *slurry* baru yang dimasukkan jumlahnya harus sama dengan yang keluar dari digester yang berupa biogas dan residu. Setiap hari jumlah *slurry* yang diisikan sebesar 3,52 kg untuk menggantikan *slurry* lama yang telah dicerna bakteri menjadi biogas dan residu (pupuk).

Untuk memudahkan pengisian *slurry*, dapat diatur dengan membuka katup (*ball valve*) pada saluran masuk *slurry*. Bukaannya disesuaikan dengan jumlah massa *slurry* yang harus dialirkan setiap harinya.

$$\dot{m}_{slurry} = 3,52 \frac{kg}{hari}$$

$$\dot{m}_{slurry} = 3,52 \frac{kg}{hari} \times \frac{hari}{24 jam} \times \frac{jam}{3600 s} = 4,0741 \times 10^{-5} kg/s$$

Jadi massa *slurry* yang harus dialirkan per detik adalah $4,0741 \times 10^{-5}$ kg. Untuk memperkirakan berapa derajat bukanya katup yang sesuai dengan yang diinginkan yaitu dapat mengalirkan *slurry* $4,0741 \times 10^{-5}$ kg/s dari *feeder* ke digester adalah dengan simulasi CFD. Metode simulasinya dengan mencoba tiap derajat bukanya katup sehingga didapat bukanya katup yang sesuai ataupun mendekati dengan laju aliran massa sebesar $4,0741 \times 10^{-5}$ kg/s.

4.2 Hasil Simulasi

Hasil simulasi dijelaskan berdasarkan simulasi yang dilakukan yaitu sebagai berikut :

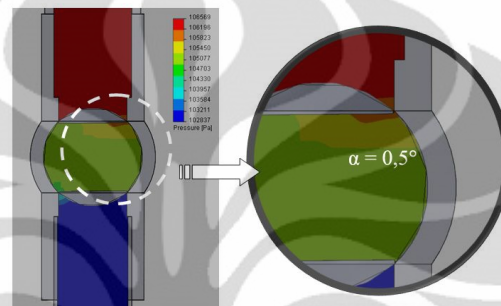
4.2.1 Hasil Simulasi Bukaannya Katup Pada Saluran Masuk *Slurry*

Dari beberapa simulasi dengan variasi bukanya katup mulai dari bukanya penuh hingga bukanya minimum, maka didapatkan bahwa bukanya katup yang

paling mendekati dengan apa yang diharapkan adalah $0,5^\circ$. Pada bukaan katup $0,5^\circ$ ini mampu mengalirkan *slurry* sebesar $3,045 \times 10^{-4}$ kg/s sedangkan yang diperlukan adalah sebesar $4,0741 \times 10^{-5}$ kg/s.

a. Visualisasi bukaan katup $0,5^\circ$

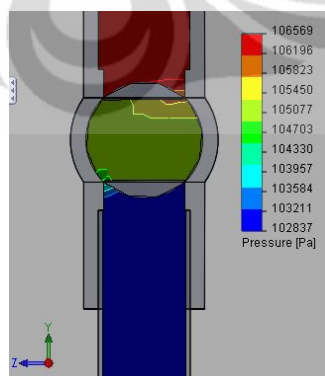
Bukaan katup $0,5^\circ$ ini memang sangat kecil sekali. Alirannya pun juga cukup kecil untuk memenuhi kebutuhan *slurry* sebesar 3,52 kg/hari.



Gambar 4.13 Visualisasi bukaan katup $0,5^\circ$

b. Profil tekanan

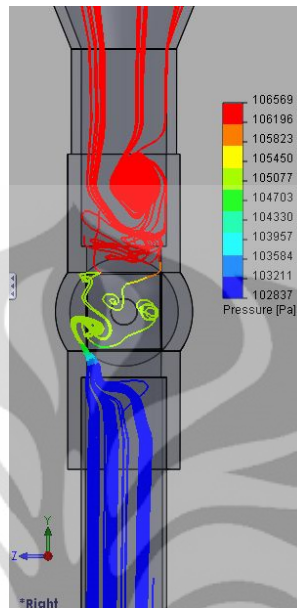
Dari sepanjang pipa saluran masuk *slurry* ini hanya pada bagian katup yang luas permukaannya mengalami penurunan secara drastis. Maka sangat wajar bila tekanan terbesar berada di bagian sebelum melewati katup. Aliran *slurry* terhambat oleh sebagian besar katup. Pada bagian katup yang terbuka sebesar $0,5^\circ$ ini, tekanan berangsur-angsur turun. Setelah melewati katup, tekanan semakin kecil.



Gambar 4.14 Profil tekanan pada katup dengan visualisasi *cut plot* berupa *contours* dan *isolines* 9 warna

Terjadi olakan yang besar ketika aliran terhambat oleh katup. Olakan ini akan terus-menerus terjadi selama aliran *slurry* masih ada. Sebagian kecil akan

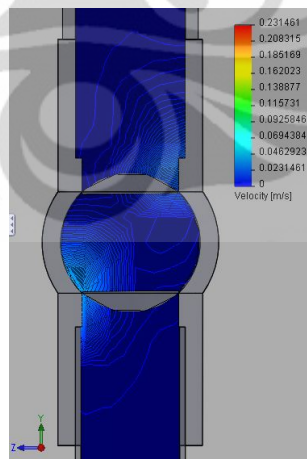
mengalir ke dalam katup. Di dalam katup juga terjadi banyak olakan kecil karena dimensi dalam katup lebih luas dibanding bukaan katupnya.



Gambar 4.15 Profil tekanan pada katup dengan visualisasi *trajectories lines* dengan jumlah garis 200 dan tebal 1

c. Profil kecepatan

Kecepatan aliran pada saat melewati bukaan katup yang sangat kecil ini akan mengalami peningkatan. Peningkatan kecepatannya tidak terlalu besar karena aliran yang dapat melewati bukaan katup hanya sedikit demi sedikit.



Gambar 4.16 Profil kecepatan pada katup dengan visualisasi *cut plot* berupa *contours* dan *isolines* 254 warna

Terlihat pada gambar hasil simulasi, kecepatan berangsur-angsur meningkat ketika akan melewati bukaan katup. Kemudian berangsur-angsur turun

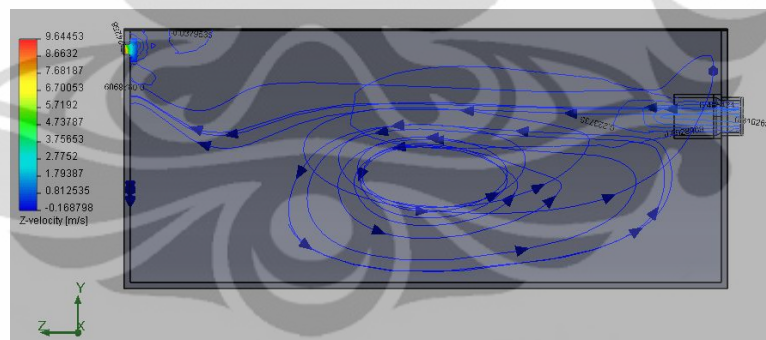
kecepatannya setelah melewati bukaan katup dan masuk dalam katup. Begitu juga pada bukaan katup bagian bawah.

4.2.2 Hasil Simulasi Aliran *Slurry* di Dalam Digester Dengan Desain Saluran Keluar di Bagian Atas

a. Simulasi Dengan *SolidWorks Flow Simulation*

Hasil simulasi aliran *slurry* di dalam digester dengan letak saluran keluar berada di bagian atas dapat disajikan dalam bentuk 2D berupa profil kecepatan-Z dengan spesifikasi *result* sebagai berikut :

- *Cut Plot* : - *Isoline with values*
 - : - Jumlah warna = 75
 - : - *Palette* = 6
- *Flow Trajectories* : - *Lines with arrows*
 - Jumlah garis = 5
 - Tebal garis = 4 mm
 - Jumlah warna = 75
 - *Palette* = 6



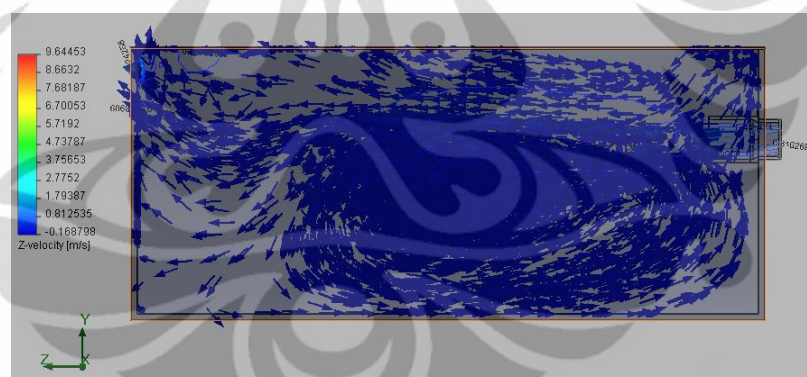
Gambar 4.17 Profil kecepatan arah Z

Gambar 4.17 adalah tampilan profil kecepatan arah z dari hasil simulasi berupa *isolines* dari sebuah *cut plot* dan berupa *lines with arrows* dari sebuah *flow trajectories*.

Sebuah ruang yang dilengkapi dengan saluran *inlet* di salah satu sisi dan *outlet* di sisi yang lain, kemudian sisi *inlet* diberi kecepatan, maka akan ada aliran massa dari *inlet* ke *outlet*.

Pada sisi *inlet*, aliran kecepatan *slurry* diwakili oleh warna yang biru dengan lapisan-lapisan aliran. Ini menunjukkan bahwa kecepatan *slurry* di sisi *inlet* lebih tinggi dibanding *slurry* di dalam digester. Kemudian disisi *outlet* terlihat jelas perbedaan kontur warnanya. Semakin mendekati titik *outlet*, kecepatan semakin tinggi yang ditandai dengan kontur warna biru muda-hijau-kuning muda-kuning tua-merah. Aliran *slurry* pada luasan yang kecil, akan lebih tinggi.

Aliran *slurry* juga ditandai dengan garis-garis yang ada anak panahnya. *Slurry* mengalir ke dalam digester kemudian karena adanya gaya gravitasi bumi, maka *slurry* mengalir ke bawah. Aliran *slurry* yang masuk ke dalam digester juga mengakibatkan terdorongnya sebagian *slurry* menuju dinding pada sisi *outlet*. Sebagian kecil *slurry* mengalir keluar melalui *outlet* dengan kecepatan yang lebih tinggi secara kontinyu. Sebagian besar lagi, aliran *slurry* menabrak dinding kemudian berbalik arah menuju *inlet* dan bertumbukan dengan *slurry* yang mengalir dari *inlet* sehingga menyebabkan putaran aliran.



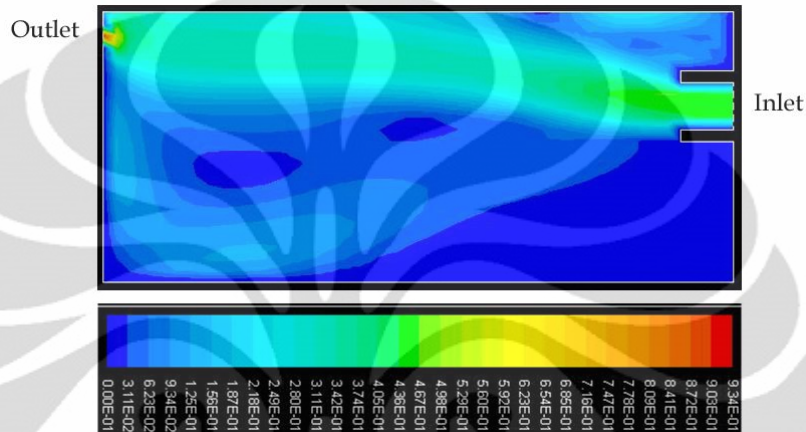
Gambar 4.18 Profil kecepatan arah Z dengan *flow trajectories* berupa *arrows*

Terlihat lebih jelas dengan tampilan kecepatan *slurry* berupa anak panah dengan jumlah 75 garis. Anak panah menunjukkan arah *slurry* mengalir. Putaran aliran *slurry* ini disebabkan Karena pertemuan aliran *slurry* yang berlawanan arah. Anak panah hampir memenuhi seluruh digester dengan arah yang berbeda-beda. Ini menunjukkan bahwa *slurry* hampir mengaduk seluruh digester. Pengadukan dalam proses pembentukan biogas sangatlah diperlukan agar produksi biogas tidak terhambat lapisan buih (*scum*) pada permukaan *slurry*.

b. Simulasi Dengan CFDSOF

Profil besarnya kecepatan aliran *slurry* dalam digester yang melewati *inlet* dan keluar melalui *outlet* ini dengan :

- Sifat : Kontur penuh
- *Max. Velocity* : $9,34 \times 10^{-1}$
- *Min. Velocity* : $0,000 \times 10^{-1}$



Gambar 4.19 Profil besarnya kecepatan

Pada sisi *inlet*, kecepatan aliran ditandai dengan kontur warna hijau pada bagian tengah. Aliran *slurry* pada bagian tengah *inlet* ini cukup besar. Namun semakin mendekati dinding pipa *inlet*, kecepatan menurun karena adanya gaya gesek antara *slurry* dengan dinding pipa. Ini ditandai dengan perubahan kontur warna dari hijau ke biru muda dan biru tua pada bagian dinding pipa.

Semakin mengalir ke dalam digester, kecepatan *slurry* menurun yang ditandai dengan adanya perubahan kontur warna dari hijau ke biru muda. Perubahan ini secara periodik, kecepatannya semakin menurun. Turunnya kecepatan ini dikarenakan adanya gaya gesek antar *slurry*, *slurry* baru dan *slurry* lama yang sudah ada di dalam digester.

Adanya *outlet* di dinding sisi lainnya ini mengakibatkan aliran *slurry* dari dalam digester ke luar digester melewati lubang *outlet* tersebut. *Slurry* yang dimasukkan dengan kecepatan 0,446 m/s melalui *inlet* akan mendorong *slurry* lama untuk keluar digester melalui *outlet* yang terbuka.

Dinding bagian atas adalah permukaan *slurry* yang kontak dengan biogas yang dihasilkan dari dalam digester. Aliran *slurry* di permukaan ini, reduksi

kecepatannya kecil karena gesekan hanya terjadi pada *slurry* itu sendiri. Aliran *slurry* akan menuju ke *outlet*, sehingga *slurry* yang letaknya dekat dengan lubang *outlet* akan terdorong keluar. Lubang *outlet* ini memiliki dimensi yang jauh lebih kecil dari *inlet*, sehingga yang dapat melewati *outlet* hanya aliran kecil, sebagian *slurry* yang terdorong itu akan menabrak dinding dan mengalir dengan aliran yang berlawanan. Adanya gaya badan pada *slurry*, menyebabkan *slurry* turun ke bagian bawah, dan mengalir menuju tengah digester. Kecepatan aliran balik *slurry* ini makin lama, semakin menurun karena gesekan antara *slurry* yang mengalir dengan *slurry* yang tidak mengalir.

Kecepatan terbesar terjadi ketika *slurry* melewati *outlet* yang memiliki diameter kecil. Fluida tak mampu mampat seperti *slurry* ini memiliki debit aliran yang konstan seperti pada persamaan kontinuitas

$$Q = AV$$

Dengan nilai Q yang konstan, dan diameter pipa *outlet* lebih kecil dari *inlet*, maka nilai V akan meningkat. Hal ini ditandai dengan kontur warna kuning tua hingga merah. Ketika akan memasuki *outlet*, kecepatan *slurry* mulai meningkat dan ketika sudah berada di dalam pipa *outlet*, kecepatan maksimal.

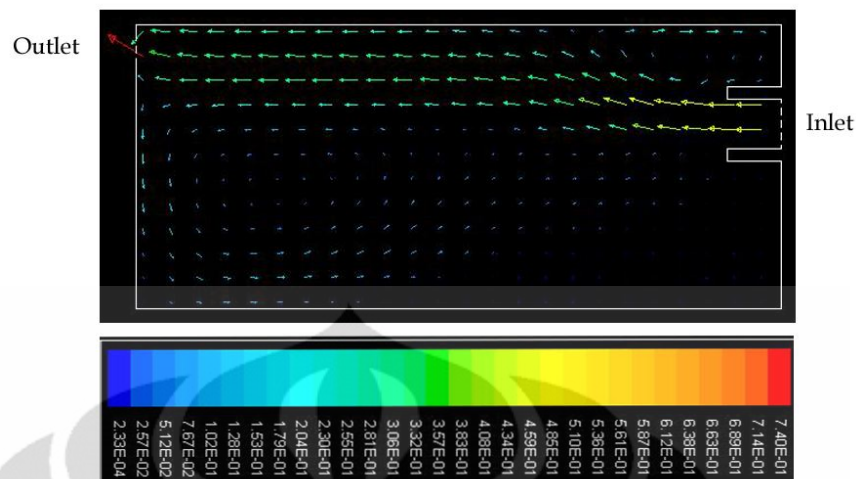
Kontur warna biru dalam digester menandakan bahwa *slurry* mengalir dengan kecepatan rendah, bahkan tidak mengalir.

Sedangkan bila dilihat dari vektor kecepatannya, aliran *slurry* dalam digester yang melewati *inlet* dan keluar melalui *outlet* ini dengan :

- *Max. Velocity* : $7,40 \times 10^{-1}$
- *Min. Velocity* : $2,33 \times 10^{-4}$

Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada vektor kecepatannya. Vektor kecepatan ini memiliki besar dan arah. Besarnya kecepatan ditandai dengan garis vektor yang panjang dengan kontur warna kecepatan. Arah kecepatan ditandai dengan arah anak panah di setiap garis vektor kecepatannya.

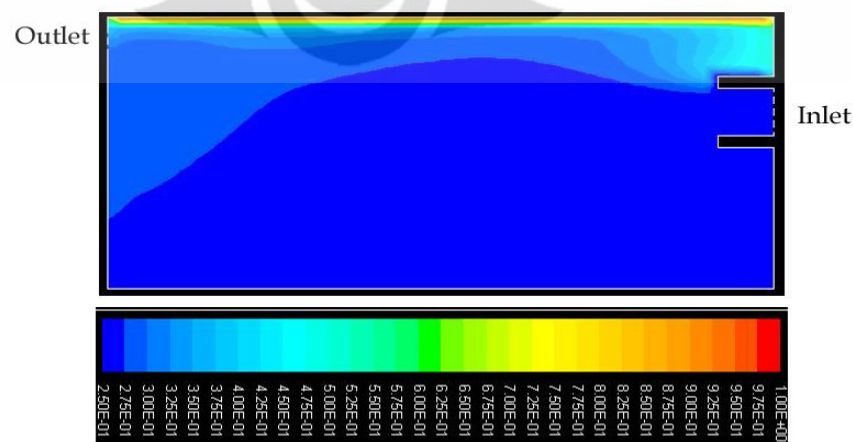
Di sisi *inlet*, kecepatan lebih besar mengalirkan *slurry* ke dalam digester dengan gambar garis vektor yang panjang dan kontur warna kuning. *Slurry* baru mendorong *slurry* lama menuju ke *outlet* sehingga kecepatannya menurun yang ditandai dengan garis vektor yang lebih pendek dan kontur warna hijau hingga biru tua.



Gambar 4.20 Vektor kecepatan

Dengan vektor kecepatan ini, arah dan besarnya kecepatan lebih mudah diketahui. Pusaran aliran yang terjadi di dalam digester juga dapat dilihat dengan jelas.

Bila dilihat dari kontur fraksi massanya, desain digester dengan *outlet* berada di bagian atas memiliki besar fraksi massa *slurry* 0,34. Fraksi massa ini menunjukkan keteradukan antara *slurry* dengan airnya. Bila dalam keadaan diam, air akan terpisah di bagian bawah. Sedangkan eceng gondok akan terapung di atas karena massa jenisnya lebih kecil. Kontur warna biru menandakan komposisi airnya lebih banyak. Semakin besar kontur warna birunya, maka ini menandakan kurang bercampur *slurry*-nya. Kontur warna biru muda merupakan campuran air dengan eceng gondok (*slurry*).

Gambar 4.21 Kontur fraksi massa *slurry*

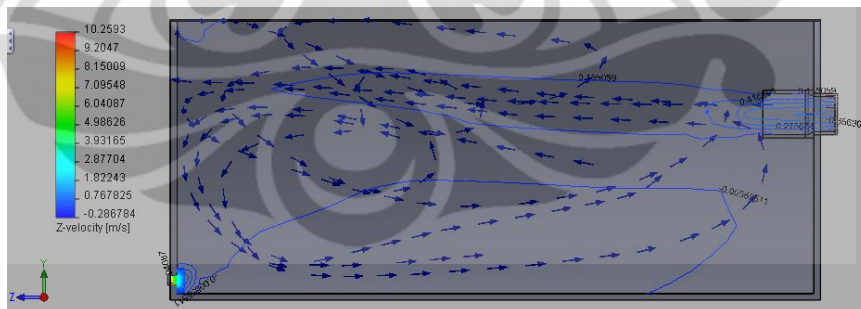
4.2.3 Hasil Simulasi Aliran *Slurry* di Dalam Digester Dengan Desain Saluran Keluar di Bagian Bawah

a. Simulasi Dengan *SolidWorks Flow Simulation*

Hasil simulasi aliran *slurry* di dalam digester dengan letak saluran keluar berada di bagian atas dapat disajikan dalam bentuk 2D berupa profil kecepatan-Z dengan spesifikasi *result* sebagai berikut :

- *Cut Plot* : - *Isoline with values*
 - : - Jumlah warna = 75
 - : - *Palette* = 6
- *Flow Trajectories* : - *Arrows*
 - : - Jumlah garis = 1
 - : - Tebal garis = 9 mm
 - : - Jumlah warna = 75
 - : - *Palette* = 6

Gambar 4.22 adalah tampilan profil kecepatan arah Z dari hasil simulasi berupa *isolines* dari sebuah *cut plot* dan berupa *lines with arrows* dari sebuah *flow trajectories*.

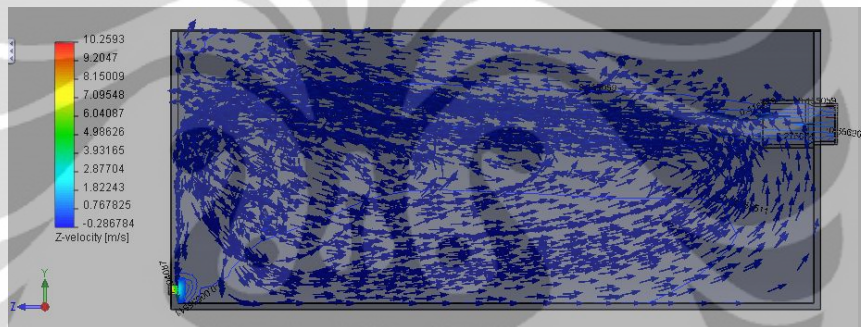


Gambar 4.22 Profil kecepatan-Z

Desain digester dengan *outlet* berada di sisi sebelah bawah. Tampak aliran dari sisi *inlet* menuju ke tengah digester yang diwakili oleh garis warna biru tanpa anak panah. Kecepatan aliran arah Z ini terlihat seperti lapisan-lapisan aliran. Dari sisi *inlet* lapisan aliran ini lebih rapat kemudian setelah masuk ke dalam digester semakin lebar. Kecepatan aliran semakin masuk ke dalam digester akan semakin berkurang karena gesekan antar *slurry*.

Kecepatan aliran *slurry* semakin mendekati *outlet* akan semakin besar. Tepat di bagian titik *outlet*, kecepatan *slurry* menjadi maksimum seperti yang terlihat dengan kontur warna merah.

Profil kecepatan dengan *flow trajectories* berupa anak panah dengan jumlah banyak akan memperlihatkan aliran *slurry* di dalam digester secara mendetail. Dengan *outlet* yang berdimensi jauh lebih kecil dibanding dengan *inlet*, aliran balik (*flow back*) akan tetap terjadi. Aliran balik ini akan menyebabkan putaran aliran karena tumbukan antara aliran *slurry* yang berbeda arah. Putaran aliran dalam digester ini sangat diperlukan dalam proses pembentukan biogas. Agar permukaan *slurry* yang berupa buih (*scum*) dapat diaduk sehingga biogas dapat keluar melalui permukaan.



Gambar 4.23 Profil kecepatan-Z

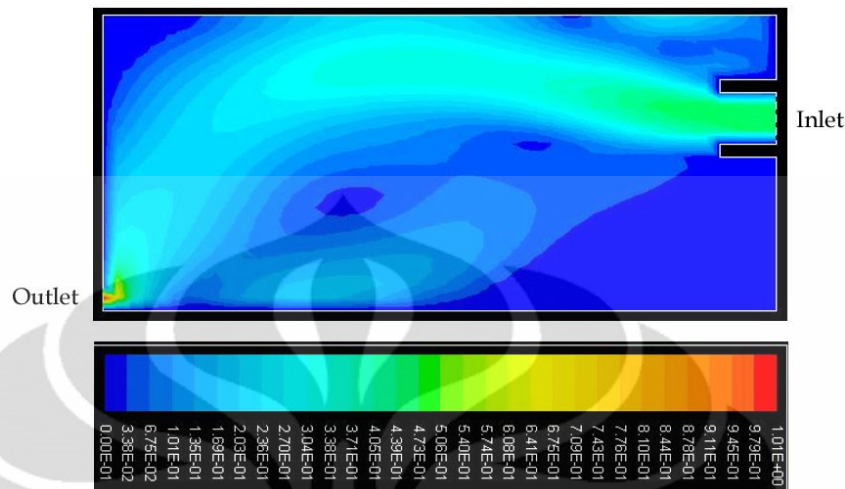
b. Simulasi Dengan CFDSOF

Profil besarnya kecepatan aliran *slurry* dalam digester yang melewati *inlet* dan keluar melalui *outlet* ini memiliki :

- Sifat : Kontur penuh
- *Max. Velocity* : $8,865 \times 10^{-1}$
- *Min. Velocity* : $0,000 \times 10^{-1}$

Untuk desain *outlet* berada di bagian bawah, hasil simulasinya dapat dilihat pada gambar 4.23. *Slurry* baru yang dimasukkan ke dalam digester melalui *inlet* ini memiliki kecepatan yang tinggi dengan ditandai kontur warna hijau pada bagian tengah saluran *inlet*. Semakin mendekati dinding pipa *inlet*, kecepatan akan tereduksi oleh gesekan dengan dinding pipa. Kontur warnanya berangsur-

angsur berubah dari hijau ke biru muda hingga pada dinding pipa menjadi biru tua.



Gambar 4.24 Profil besarnya kecepatan

Semakin mengalir ke dalam digester, kecepatan *slurry* menurun yang ditandai dengan adanya perubahan kontur warna dari hijau ke biru muda. Perubahan ini secara periodik, kecepatannya semakin menurun. Turunnya kecepatan ini dikarenakan adanya gaya gesek antar *slurry*, *slurry* baru dan *slurry* lama yang sudah ada di dalam digester.

Outlet yang berada pada dinding dan terletak di bagian bawah ini menyebabkan aliran *slurry* dari *inlet* akan mendorong *slurry* lama keluar melalui *outlet*. Karena sisi *inlet* yang berada agak di bagian atas, maka *slurry* yang berada pada permukaan dan kontak dengan biogas ini akan mengalir dengan kecepatan yang ditandai dengan kontur warna biru muda. Kemudian akibat letak lubang *outlet* yang berada pada bagian bawah, memaksa *slurry* mengalir ke saluran ini. Kecepatan terbesar terjadi ketika *slurry* melewati *outlet* yang memiliki diameter kecil. Fluida tak mampu mampat seperti *slurry* ini memiliki debit aliran yang konstan seperti pada persamaan kontinuitas

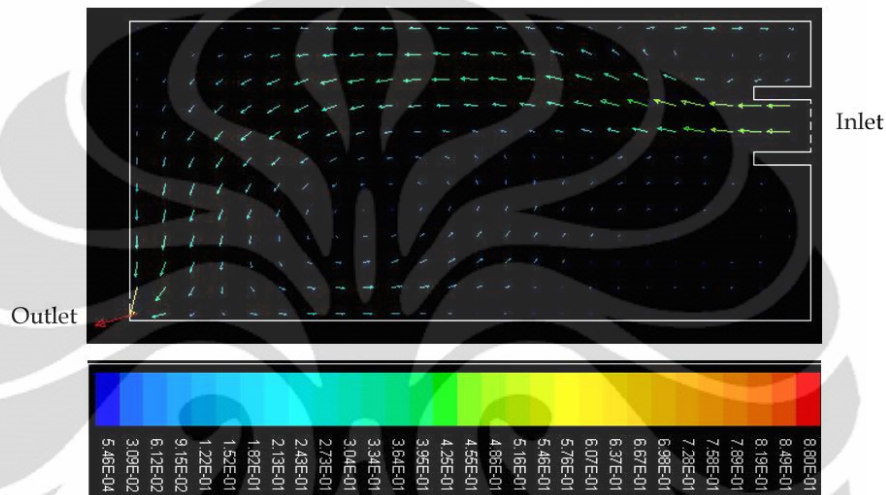
$$Q = AV$$

Dengan nilai Q yang konstan, dan diameter pipa *outlet* lebih kecil dari *inlet*, maka nilai V akan meningkat. Hal ini ditandai dengan kontur warna kuning tua hingga merah. Ketika akan memasuki *outlet*, kecepatan *slurry* mulai meningkat dan ketika sudah berada di dalam pipa *outlet*, kecepatan maksimal.

Kontur warna biru dalam digester menandakan bahwa *slurry* mengalir dengan kecepatan rendah, bahkan tidak mengalir.

Bila dilihat dari visualisasi vektor kecepatan, aliran *slurry* dalam digester yang melewati *inlet* dan keluar melalui *outlet* ini memiliki :

- *Max. Velocity* : $8,8 \times 10^{-1}$
- *Min. Velocity* : $5,46 \times 10^{-4}$

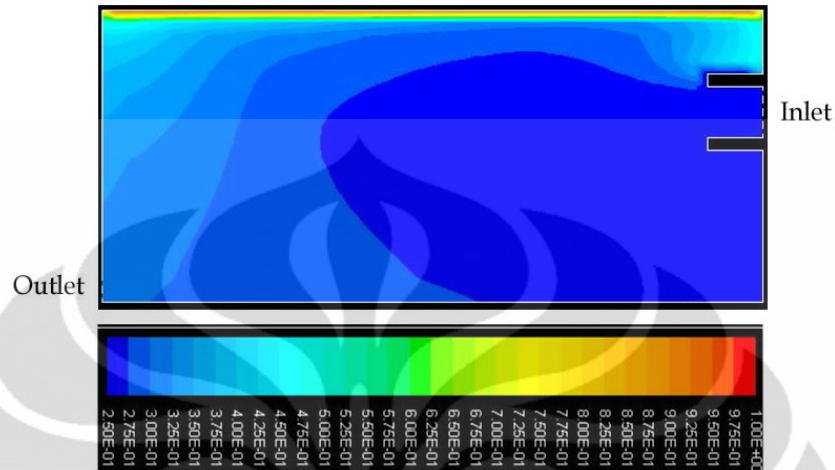


Gambar 4.25 Vektor kecepatan

Dari visualisasi vektor kecepatan, *slurry* pada bagian input memiliki kecepatan yang besar yang ditandai dengan panjang garis vektornya dan juga kontur warnanya. *Slurry* semakin mengalir ke dalam digester akan semakin menurun kecepatannya yang ditandai dengan semakin pendeknya garis vektor kecepatannya dan juga kontur warna yang berubah menjadi biru muda. *Slurry* mengalir ke bawah menuju *outlet*, kecepatan *slurry* ketika akan melewati *outlet* ini akan meningkat dan akhirnya akan maksimal ketika berada di dalam pipa *outlet* hingga keluar digester.

Dari kontur fraksi massa, dapat dilihat besarnya fraksi massa *slurry*-nya sebesar 0,40. Fraksi massa air yang berwarna biru ini lebih kecil, menandakan bahwa keteradukan *slurry*-nya lebih bagus. Pengadukan dalam digester sangat diperlukan untuk menghilangkan *scum* yang terbentuk di permukaan *slurry*. Pada bagian atas yang berwarna merah dan kuning ini menandakan *slurry* yang terapung di permukaan. *Slurry* yang lebih banyak fraksi eceng gondoknya ini akan terpisah dengan fraksi airnya karena perbedaan kerapatan. Airnya akan berada di

bagian bawah karena kerapatannya lebih besar. Kemudian setelah ada *slurry* baru yang dimasukkan dalam digester, akan terjadi pengadukan. Semakin banyak fraksi massa *slurry* yang bercampur, maka akan semakin bagus.



Gambar 4.26 Kontur fraksi massa *slurry*

Dari beberapa tampilan hasil simulasi dengan desain digester yang berbeda letak *outlet*-nya dan disimulasikan menggunakan *SolidWork Flow Simulation* dan *CFDSOF* ini dapat diambil kesimpulan, desain mana yang lebih baik untuk digester biogas dengan tipe aliran kontinu.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari pembahasan yang diuraikan dalam tulisan ini, berdasarkan pengolahan hasil data eksperimen dan simulasi yang dilakukan menggunakan *SolidWorks Flow Simulation* dan *CFDSOF* maka dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Kemampuan digester dalam memproduksi biogas memiliki selisih sebesar 70,91 % dari potensial produksi biogas setiap harinya , namun memiliki selisih yang sangat kecil dalam kesetimbangan massa antara *slurry* input dengan output yaitu sebesar 7,03 %. Ini menunjukkan bahwa digester mampu memproduksi biogas dari bahan baku berupa eceng gondok menjadi pupuk dan biogas dengan sedikit *losses*.
2. Laju aliran massa yang didapatkan adalah sebesar 3,52 kg/hari atau setara dengan 4 liter tiap harinya dengan masa retensi 40 hari.
3. Bukaan katup yang sesuai untuk mengalirkan *slurry* 4 liter per hari secara kontinyu adalah sebesar $0,5^\circ$ (nilai derajat yang paling mendekati).
4. Desain digester dengan modifikasi bagian *outlet* berada pada sisi bawah adalah desain yang terbaik untuk tempat pencernaan anareob dengan alasan akan mengakibatkan *slurry* mengalir secara kontinyu dan terjadi pengadukan isi digester hampir merata oleh *slurry* itu sendiri. Hal ini dapat meningkatkan produksi biogas.

5.2 Saran

Ada beberapa saran yang perlu dipertimbangkan dalam penelitian mengenai biogas pada masa berikutnya :

1. Sebelum digester dibuat, sebaiknya dilakukan beberapa alternatif desain kemudian dilakukan simulasi untuk memperoleh desain yang terbaik.
2. Penggunaan katup sebagai kontrol aliran dalam digester tipe aliran kontinyu dapat diaplikasikan, namun dengan dimensi digester yang besar agar debit aliran *slurry* yang dapat dialirkan lebih banyak sehingga bukaan katupnya lebih besar.

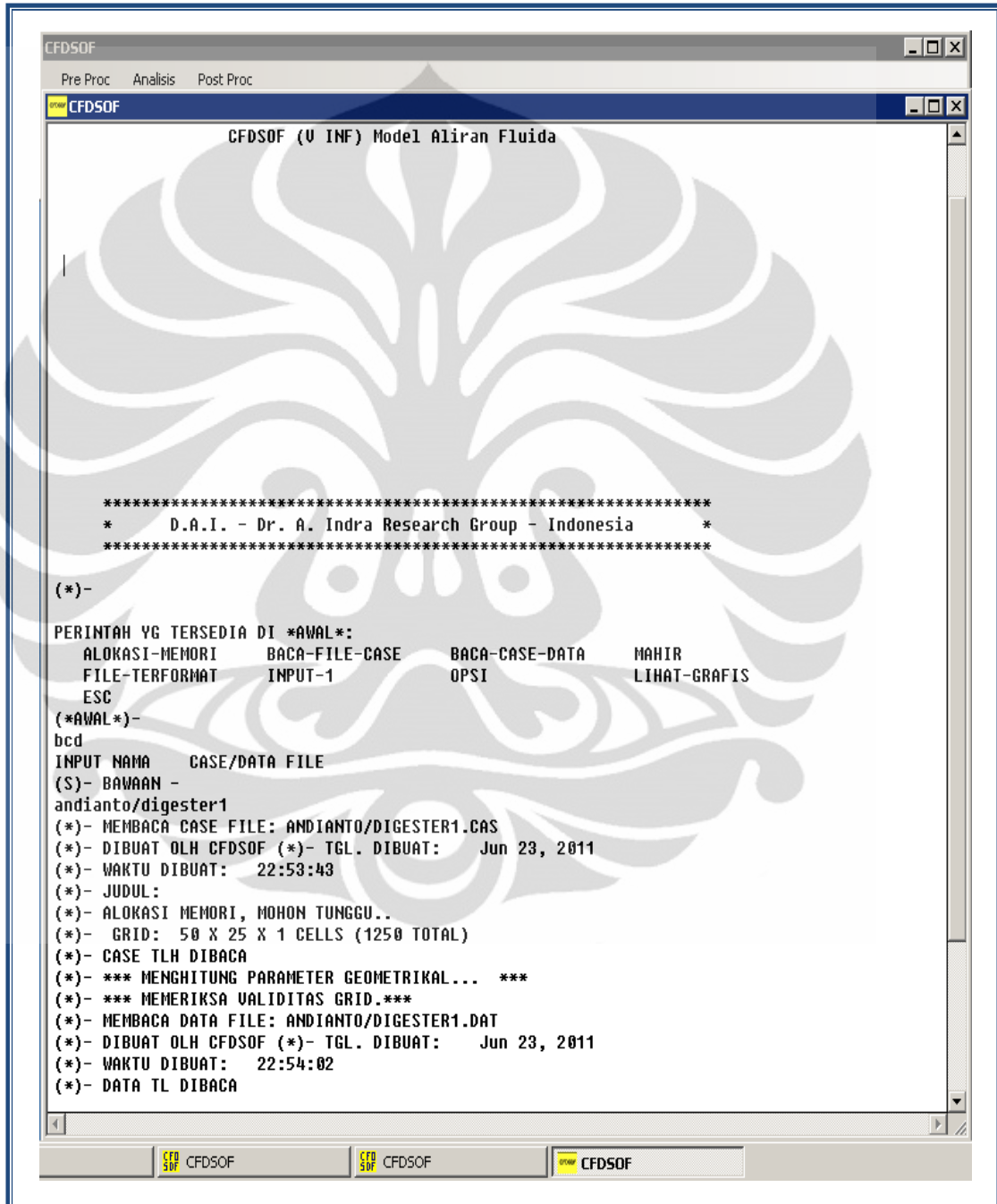
DAFTAR REFERENSI

- Adhiharto, Riky. (2010). Optimasi Rancang Bangun Dan Uji Kinerja Tangki Penyimpanan Gas Dari Biodigester Skala Kecil. Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.
- Ahmad Fauzan. (2006). Rancangan Bangun *Circular Hovercraft* Dan Analisa Aliran Pada Bag Yang Mempengaruhi *Cushion Pressure* Dengan *Computational Fluid Dynamics*, Jakarta.
- Bagnall, Larry O. (1982). *Bulk mechanical properties of waterhyacinth*. J. Aquat. Plant Manage. 20.
- Fox, Robert W., McDonald, Alan T. & Pritchard, Philip J. (2003). *Introduction to Fluid Mechanics* (6th ed.). United States of America: John Wiley & Sons.
- Gebremedhin, K.G., B. Wu, C. Gooch, P. Wright and S. Inglis. (2005). *Heat transfer model for plug-flow anaerobic digesters*. Transactions of the ASAE 48: 777-785.
- Gurung, Bhimsen. (1996). *Biogas Technology A Training Manual For Extension*. Consolidated Management Services Nepal (P) Ltd. Nepal
- Kossmann, Werner., Ponitz, Uta, and Habermehl, Stefan., *Biogas Digest Vol 1-4. Information and Advisory Service on Appropriate Technology*. Germany.
- Langner, Jeremi M. (2009). *Investigation Of Non-Newtonia Flow In Anaerobic Digesters*, A Thesis, Department of Mechanical and Manufacturing Engineering University of Manitoba, Canada.
- Mathur, Shailendra M. and P. Singh. (2004). *A cylindrical chopper with crusher for water hyacinth volume and biomass reduction*. J. Aquat. Plant Manage. 42: 95-99.
- Munson, Bruce R., Donald F. Young, and Theodore H. Okiishi. (2002) *Fundamentals of Fluid Mechanics*, 4th ed. John Wiley & Sons, Inc.
- Patil, Jagadish H., MALourdu AntonyRaj and C.C. Gavimath. (2011). *Impact of dilution on biomethanation of fresh water hyacinth*. International Journal of Chemical Science and Application ISSN 0976-2590. Vol 2, Issue 1, pp 86-90.

- Prasetyo, Nugroho Agung. (2010). Implementasi dan Unjuk Kerja Portal *Openfoam* dalam Lingkungan Komputasi *Cluster*, Tesis S-2, Program Studi Magister Ilmu Komputer Fakultas Ilmu Komputer Universitas Indonesia, Depok.
- Ofoefule, A.U., E.O Uzodinma and O.D. Onukwuli. (2009). *Comparative study of the effect of different pretreatment methods on biogas yield from water hyacinth (Eichhornia crassipes)*. International Journal of Physical Sciences Vol. 4 (8), pp. 535-539.
- Suarlan, Berry. (2010). Analisis Aliran Fluida Pada Sambungan Pipa *Elbow* dan Sambungan Pipa *Tee* Dengan *Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Fakultas Teknologi Industri Universitas Gunadarma, Depok.
- Tarigan, Ramli. (2009). Pemanfaatan Biogas Kotoran Ternak Sapi Sebagai Pengganti Bahan Bakar Minyak dan Gas. Tesis S-2, Sekolah Pasca Sarjana Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Wu, B., E.L. Bibeau and K.G. Gebremedhin. (2009). *Three-dimensional numerical simulation model of biogas production for anaerobic digesters*. Canadian biosystems engineering vol. 51.
- Zashkova, Lilina., Nina Penkova and Rositza Karamfilowa. (2004). *Heat Transfer Processes in A Biogas Reactor*. *Task Quarterly* 9 No 4, 427-438.
<http://encyclopedia.airliquide.com>, diakses terakhir pada 18 April 2011.
http://www.engineeringtoolbox.com/slurry-density-d_1188.html, diakses terakhir pada 18 April 2011.

LAMPIRAN 1

Lembar Legalisasi Penggunaan *Software* CFDSOF



```
CFDSOF
Pre Proc  Analisis  Post Proc
CFDSOF
CFDSOF (U INF) Model Aliran Fluida

*****
*   D.A.I. - Dr. A. Indra Research Group - Indonesia   *
*****

(*)-
PERINTAH YG TERSEDIA DI *AWAL*:
  ALOKASI-MEMORI   BACA-FILE-CASE   BACA-CASE-DATA   MAHIR
  FILE-TERFORMAT  INPUT-1           OPSI              LIHAT-GRAFIS
  ESC
(*AWAL*)-
bcd
INPUT NAMA   CASE/DATA FILE
(S)- BAWAAN -
andianto/digester1
(*)- MEMBACA CASE FILE: ANDIANTO/DIGESTER1.CAS
(*)- DIBUAT OLN CFDSOF (*)- TGL. DIBUAT:   Jun 23, 2011
(*)- WAKTU DIBUAT:   22:53:43
(*)- JUDUL:
(*)- ALOKASI MEMORI, MOHON TUNGGU..
(*)- GRID: 50 X 25 X 1 CELLS (1250 TOTAL)
(*)- CASE TLH DIBACA
(*)- *** MENGHITUNG PARAMETER GEOMETRIKAL... ***
(*)- *** MEMERIKSA VALIDITAS GRID.***
(*)- MEMBACA DATA FILE: ANDIANTO/DIGESTER1.DAT
(*)- DIBUAT OLN CFDSOF (*)- TGL. DIBUAT:   Jun 23, 2011
(*)- WAKTU DIBUAT:   22:54:02
(*)- DATA TL DIBACA
```

LAMPIRAN 2

Perhitungan Biaya Investasi *Plant* Biogas

Alat dan Bahan Utama

Tabel Rincian biaya pengadaan alat dan bahan utama *plant* biogas

No	Material	Spesifikasi	Jumlah	Harga satuan (Rp)	Harga (Rp)
1.	Drum plastik	200 L	1	150000	150000
2.	Pipa PVC	2 in (4m)	1	30000	30000
3.	<i>Elbow</i> PVC	2 in	3	5000	15000
4.	Pipa drat luar PVC	2 in	2	10000	20000
5.	Pipa drat dalam PVC	2 in	2	10000	20000
6.	<i>Stop</i> kran	1/2 in	2	15000	30000
7.	Plastik <i>polyethylene</i>	100 L	1	10000	10000
8.	Selang	1/2 in (3m)	1	10000	10000
9.	Nipel tembaga	1/2 in	1	7000	7000
10.	Dop PVC	2 in	2	3000	6000
11.	Lem PVC		2	5000	10000
12.	Lem resin		2	10000	20000
13.	Lem <i>autosealer</i>		1	12000	12000
14.	<i>Seal tip</i>		4	2000	8000
Total biaya					348000

Perhitungan Ekonomis Penggunaan Biogas

Berikut beberapa asumsi yang digunakan dalam perhitungan ekonomis penggunaan biogas :

- Harga LPG 3 kg = Rp 15000
- *Heat Value of LPG* = 46,1 MJ/kg
- *Heat Value of Biogas* = 21 MJ/m³
- Nilai kesetaraan biogas dengan LPG, untuk 1 m³ biogas ≈ 0,46 kg LPG
- Produksi biogas rata-rata per hari = 0,012 m³
- Biaya operasional (BO) = Rp 500/bulan
- Biaya investasi alat = Rp 348000

Biaya pemakaian LPG dalam satu keluarga per bulan

Penggunaan LPG ini dengan asumsi :

- Jumlah anggota keluarga = 5-6 orang
- Massa pemakaian LPG per hari = 0,46 kg

- o Waktu penggunaan per hari = 3 jam

Maka biaya pemakaian LPG selama sebulan dalam satu keluarga tersebut adalah :

$$= 0,46 \text{ kg} \times 30 \text{ hari} \times \text{Rp } 5000 \text{ LPG per kg} = \text{Rp } 69.000 \text{ per bulan}$$

Massa LPG per jam yang digunakan setiap harinya

LPG sebesar 0,46 kg digunakan setiap hari selama 3 jam, maka penggunaan LPG per jam nya setiap hari adalah :

$$\begin{aligned} \text{Massa LPG per jam} &= \frac{\text{massa LPG per hari}}{\text{Lama waktu penggunaan}} \\ &= \frac{0,46 \text{ kg}}{3 \text{ jam}} = 0,154 \text{ kg per jam} \end{aligned}$$

Kesetaraan produksi biogas per hari dengan LPG

Produksi biogas setiap hari adalah sebesar 0,012 m³, sedangkan nilai kesetaraan 1 m³ biogas adalah sebesar 0,46 kg LPG, maka dengan produksi biogas tersebut, setara dengan LPG sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Massa pengganti biogas} &= 0,46 \text{ kg LPG} \times 0,012 \text{ m}^3 \text{ biogas} \\ &= 0,00552 \text{ kg LPG/hari} \end{aligned}$$

Lama penggunaan biogas per jam

$$\begin{aligned} \text{Lama waktu penggunaan biogas} &= \frac{0,00552 \text{ kg LPG per hari}}{0,154 \text{ kg per jam}} \\ &= 0,036 \text{ jam per hari} \\ &\approx 2,15 \text{ menit per hari} \end{aligned}$$

Dengan asumsi penggunaan biogas per hari sebanyak 1 m³ \approx 0,46 kg LPG selama 3 jam untuk satu keluarga yang beranggotakan 5-6 orang maka dengan produksi biogas setara 0,00552 kg LPG/hari, digester dengan kapasitas 200 liter belum mampu mencukupi kebutuhan biogas per harinya. Nilai produksi biogas tersebut hanya 1,2 % dari total penggunaan LPG per hari dalam satu keluarga.

LAMPIRAN 3

Tahapan-Tahapan Dalam Simulasi CFD Solidwork

Berikut merupakan tahapan-tahapan yang dilalui dalam simulasi aliran fluida pada sebuah sistem perpipaan menggunakan *Solidworks Flow Simulation 2009*.

a. Pemodelan CAD

Bagian dari komponen *plant* biogas yang dimodelkan untuk dianalisa penurunan tekanannya adalah saluran masuk *slurry*. Saluran ini merupakan tempat mengalirnya *slurry* baru dari *feeder* untuk mengisi digester. Geometri saluran ini berdasarkan pada kebutuhan. Dengan *feeder* dan digester berkapasitas 200 liter, dipilihlah ukuran pipa dan sambungan-sambungannya 1 dan 2 inci. Ada katup (*ball valve*) yang digunakan untuk mengontrol aliran *slurry*.



Lampiran Penampang model perpipaan dengan pandangan isometrik

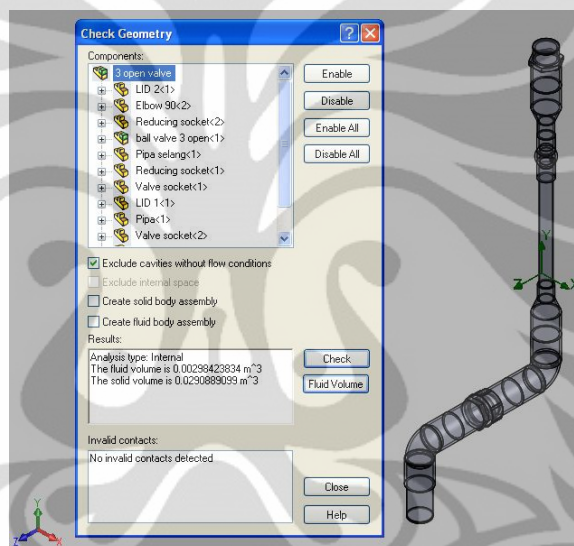
Bukaan katup 90° merupakan bukaan penuh (100 %). Fluida dapat mengalir dengan tidak banyak hambatan melalui sistem perpipaan. Pemodelan CAD sistem perpipaannya menggunakan *software Solidwork Flow Simulation 2009*. Ada beberapa variasi bukaan katup yang di simulasikan untuk membandingkan besarnya rugi tekanan total pada sistem perpipaan di saluran masuk digester biogas. Mulai dari bukaan penuh (90°), bukaan $\frac{2}{3}$ (60°), bukaan katup $\frac{1}{2}$ (45°), bukaan katup $\frac{1}{3}$ (30°) hingga bukaan terendah sesuai hasil perhitungan yaitu $0,5^\circ$. Hasil dari simulasi ini berupa rugi tekanan total dan

hambatan lokal. Untuk hambatan lokal, rugi tekanan total pada bukaan katup penuh dijadikan referensi perhitungan pada bukaan katup yang lain.

b. Cek Geometri

Fluida masuk melalui *inlet* dan keluar melalui *outlet* pada model sistem perpipaan. Untuk memastikan model tersebut tertutup sepenuhnya, maka harus dicek geometrinya terlebih dahulu dengan cara :

- Klik *Flow simulation*
- Klik *Tools*
- Klik *Check geometry*



- Klik *Check*

Untuk menghitung fluida dan volume padatan pada model. Jika volume fluida hasilnya nol maka model tersebut tidak tertutup sepenuhnya.

- Klik *Fluid volume*

Untuk mengetahui volume yang akan ditempati oleh fluida yang dianalisa.

- Klik kembali *Fluid volume*
- *Close*

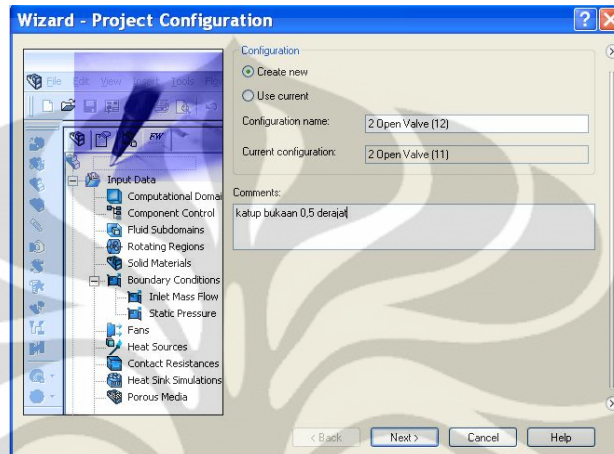
Alat *check geometry* ini memungkinkan kita untuk menghitung total fluida dan volume padatan, memeriksa bagian model yang tidak sesuai geometrinya misalnya kontak antara asembli yang tidak sesuai dan visualisasi daerah yang ditempati fluida serta solid *body* sebagai model pemisahannya.

c. Membuat Proyek Baru

Beberapa tahapan dalam membuat proyek simulasi baru :

- Klik *Flow simulation*
- Klik *Project*
- Klik *Wizard*

Project wizard ini memandu kita untuk melalui definisi proyek *flow simulation* baru. Kotak dialog *project configuration* akan muncul :

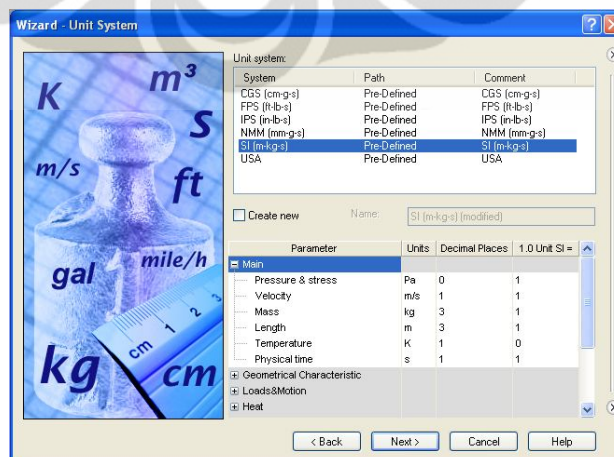


- Klik *create new*

Setiap proyek *flow simulation* terkait dengan konfigurasi solidwork. Kita dapat melampirkan proyek lain ke konfigurasi solidwork tersebut atau membuat konfigurasi solidwork baru berdasarkan konfigurasi yang telah ada.

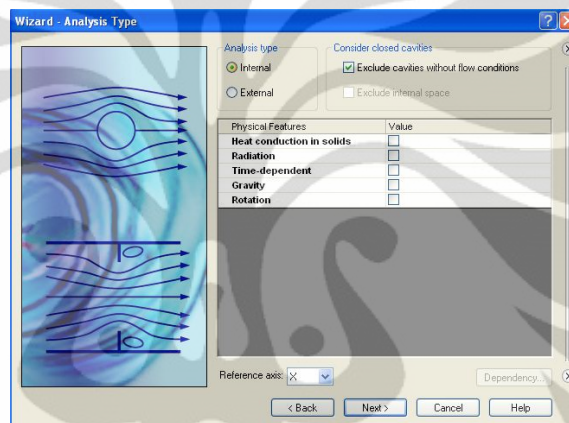
- Klik *next*

Muncul kotak dialog *unit system*, untuk menentukan sistem satuan input maupun output dari simulasi ini.



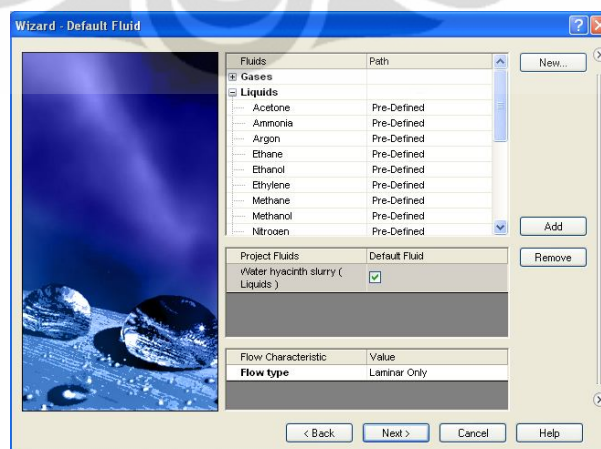
- Pilih *SI system*
- Klik *next*

Muncul kotak dialog *analysis type*, untuk menentukan jenis analisa aliran (internal atau eksternal). Untuk mengabaikan spasi internal tertutup tidak termasuk dalam analisa internal, kita dapat memilih *Exclude cavities without flow conditions*. Sedangkan *Reference axis of the global coordinate system (X, Y or Z)* digunakan untuk data yang spesifik dalam bentuk tabel ataupun bentuk formula dalam sistem koordinat silinder berdasar pada sumbu ini. kotak dialog ini juga dapat memungkinkan kita untuk memilih fitur-fitur fisik canggih yang spesifik seperti konduksi panas dalam padatan, efek gravitasi, waktu (tergantung pada persoalannya), radiasi permukaan ke permukaan, rotasi)



- Pilih *Internal*
- Klik *Next*

Akan muncul kotak dialog *default fluid*. Kita dapat memilih jenis fluidanya.



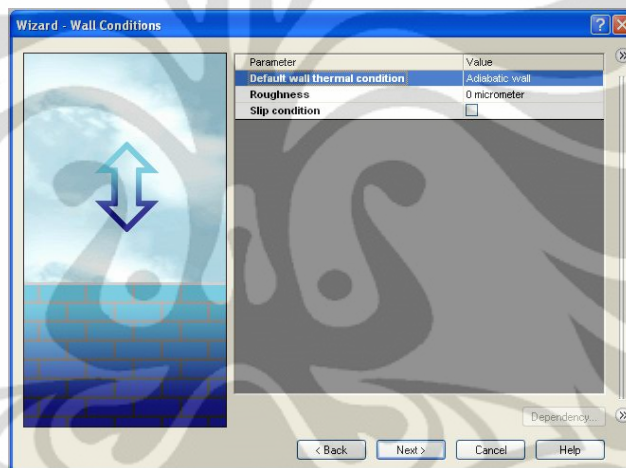
- Pilih *Non-Newtonian Liquids*
- Pilih *Slurry*

- Klik *Add*

Engineering database ini memuat informasi numerical fisik pada berbagai varian gas, cairan dan zat padat sebagai permukaan yang radiatif. Kita juga dapat menggunakan *Engineering database* ini untuk media berpori yang khusus. *Engineering database* ini memuat sistem satuan yang telah ditetapkan sebelumnya. Ini juga berisi mengenai kurva *fan* yang mendefinisikan volume atau debit aliran massa versus selisih tekanan statik dalam pemilihan *fan* di industri. Kita dapat dengan mudah memilih zat, satuan ataupun parameter khusus yang akan divisualisasikan.

- Klik *Next*

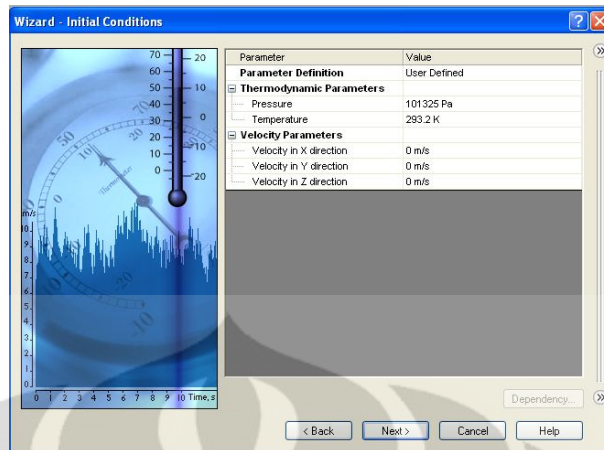
Muncul kotak dialog *Wall conditions*



Selama kita tidak akan menghitung konduksi panas pada padatan, kita harus tetap menetapkan dinding batas kondisi panas sesuai *default*-nya untuk semua model dinding bersentuhan dengan fluida. Untuk proyek ini dipilih tetapannya *adiabatic wall* dimana seluruh dinding model diisolasi sehingga tidak ada panas yang masuk. Disini kita tidak mempertimbangkan kekasaran dinding.

- Klik *Default wall thermal condition* dan *adiabatic wall*
- Klik *Next*

Muncul kotak dialog *Initial condition*

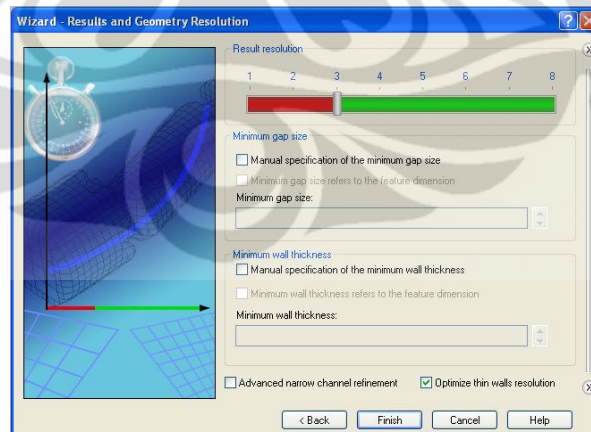


Ini untuk menetapkan nilai-nilai awal pada parameter aliran. Untuk masalah internal yang tunak, spesifikasi nilai-nilai ini dekat dengan medan aliran yang akan mengurangi waktu analisa konvergensi.

Untuk masalah aliran tunak, *Flow simulation* ini mengiterasi hingga didapat solusi yang konvergen. Untuk aliran tak tunak (transien atau tergantung waktu), *Flow simulation* akan mengiterasi sesuai dengan waktu yang kita inginkan.

- Gunakan nilai *default*
- Klik *Next*

Akan muncul kotak dialog *Results and Geometry Resolution*



Kita dapat mengontrol akurasi analisa sebagai pengaturan *mesh* dan melalui komputer yang memadai (waktu CPU dan memori)

Pada proyek ini, ambil saja pengaturan awal yaitu *result resolution* pada *level 3*.

Result resolution ini mengatur akurasi penyelesaian melalui *mesh* dan kondisi perhitungan penyelesaian yang dapat diartikan sebagai resolusi

hasil perhitungan. *Result resolution* yang lebih tinggi, lebih halus *mesh*-nya dan kriteria yang tinggi konvergensinya.

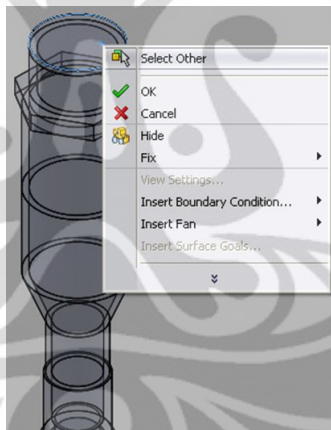
d. Spesifikasi Kondisi Batasan

Spesifikasi *Boundary Conditions* :

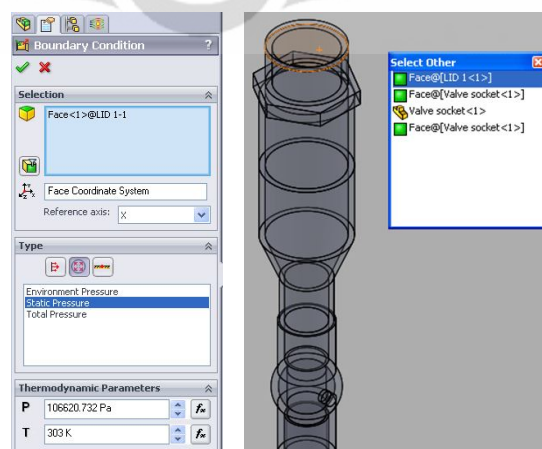
- Klik *Flow Simulation*
- Pilih *Insert*
- Pilih *Boundary Condition*
- Pilih *LID 1*

Permukaan yang dipilih adalah permukaan bagian dalam model yang bersentuhan dengan fluida kerja. Caranya yaitu :

- Arahkan *cursor* ke permukaan *LID 1*
- Klik kanan
- Pilih *Select other*



- Pilih *Face@[LID 1<1>]*

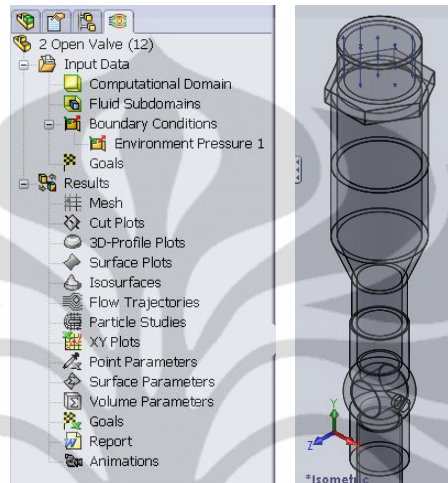


- Pilih *Pressure openings* pada *type of boundary condition list*

- Pilih *Static pressure*
- Masukkan nilai tekanan input

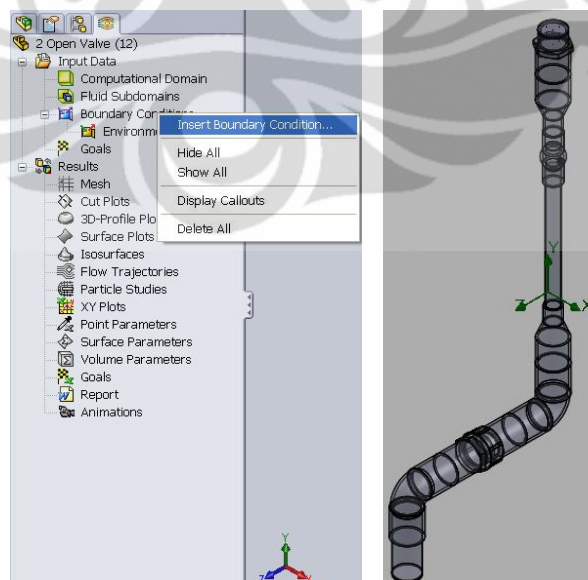
Pada hasil hitungan, didapat tekanan input sebesar 108364,656 Pa dan temperatur sebesar 30° C.

- *Ok*

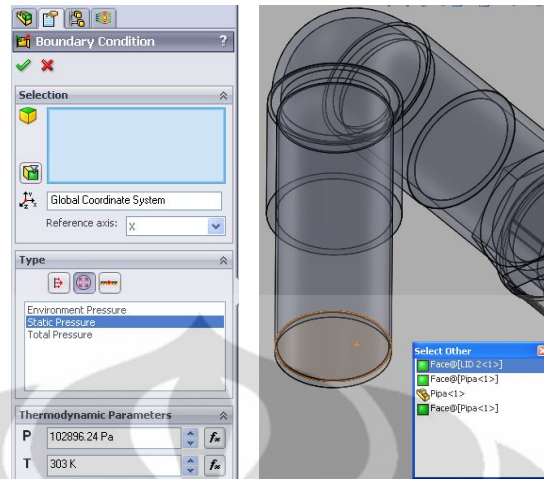


Static pressure sudah terbentuk pada gambar model ditandai dengan garis dengan anak panah di kedua titik garisnya pada permukaan dalam *LID 1* yang bersentuhan langsung dengan fluida kerja.

- Klik kanan pada *Boundary Conditions* untuk parameter output
- Pilih *Insert Boundary Conditions*



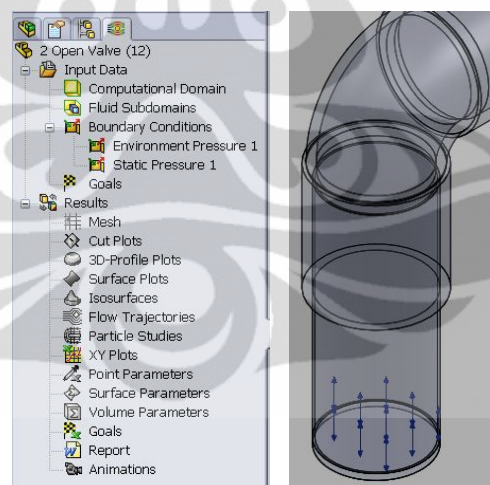
- Klik kanan pada permukaan *LID 2*
- Pilih *Select other*



- Pilih *Face@[LID 2<1>]*
- Klik *Pressure openings*
- Pilih *Static pressure*
- Masukkan nilai tekanan output

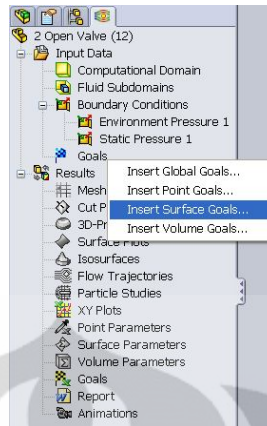
Pada hasil hitungan, didapat tekanan input sebesar 103348,9 Pa dan temperatur sebesar 30° C.

- *Ok*

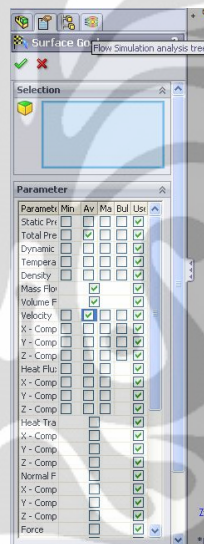


e. Spesifikasi *Surface Goal*

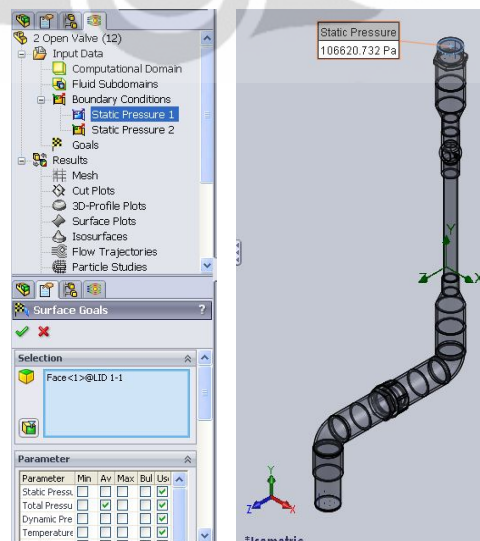
- Klik kanan *Goals*
- Pilih *Insert surface goals*



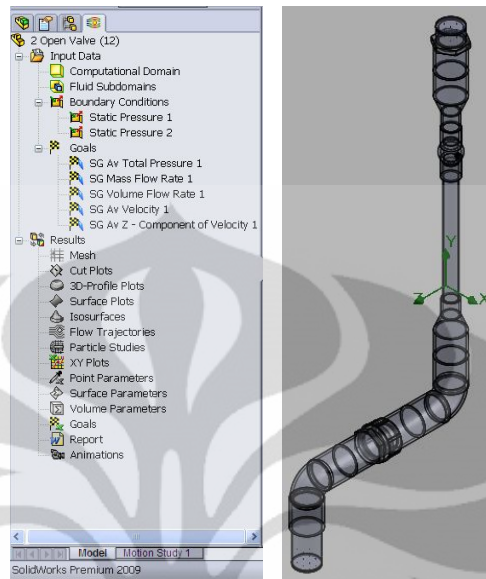
- Pilih *Total pressure, Mass flow rate, Volume flowrate* dan *Velocity* pada kolom *Av*



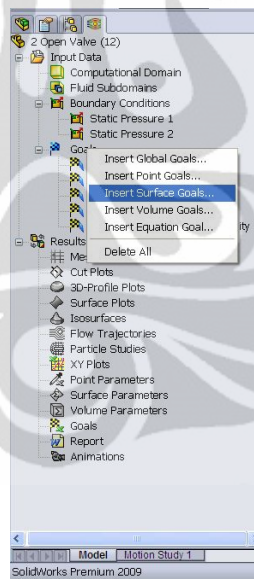
- Klik *flow simulation analysis tree*



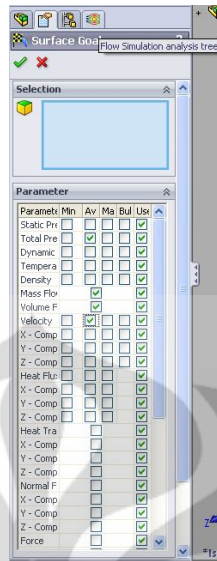
- Pilih *Static pressure 1*
- *Ok*



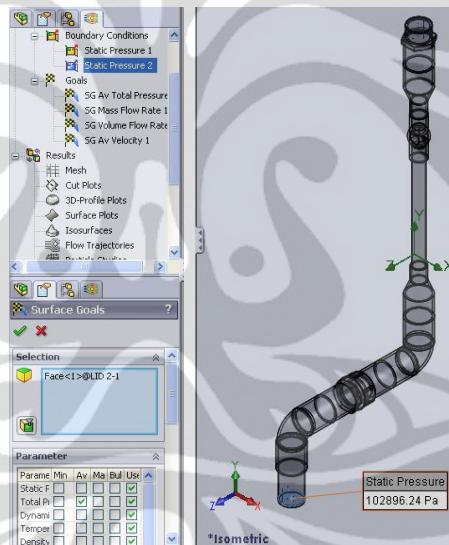
- Klik kanan *Goals*
- Pilih *Insert surface goals*



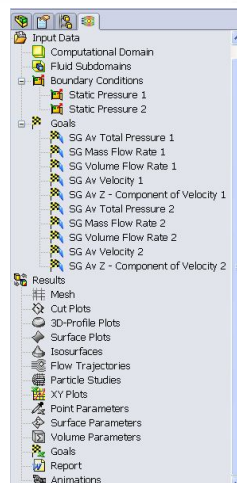
- Pilih *Total pressure, Mass flow rate, Volume flowrate* dan *Velocity* pada kolom *Av*



- Klik *flow simulation analysis tree*

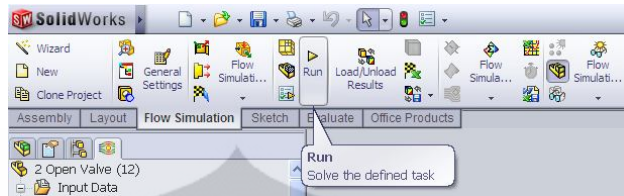


- Pilih *Static pressure 2*
- *Ok*

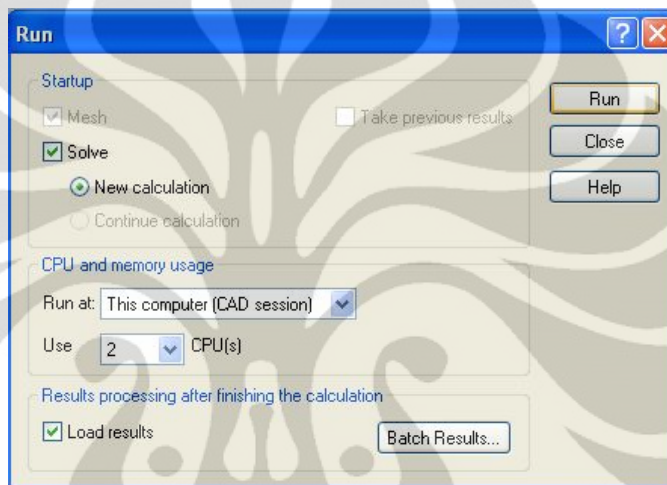


f. Menjalankan Perhitungan

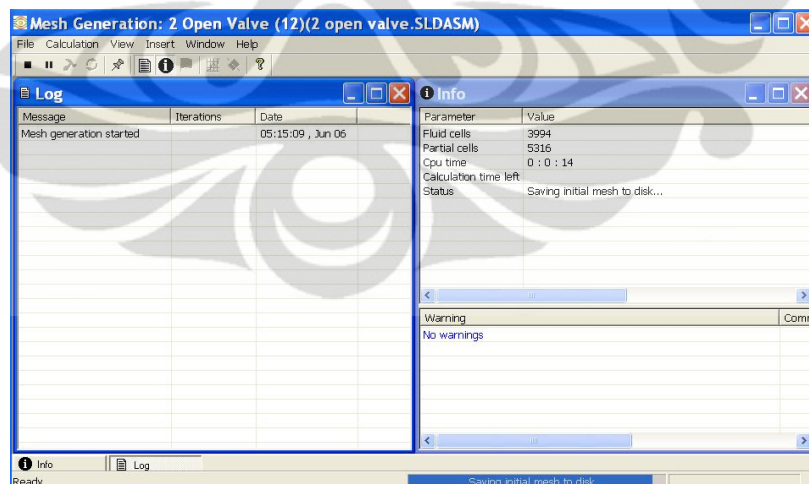
- Klik *Flow simulation*
- Klik *Run*



- Muncul kotak dialog *Run*



- Pilih *Run*

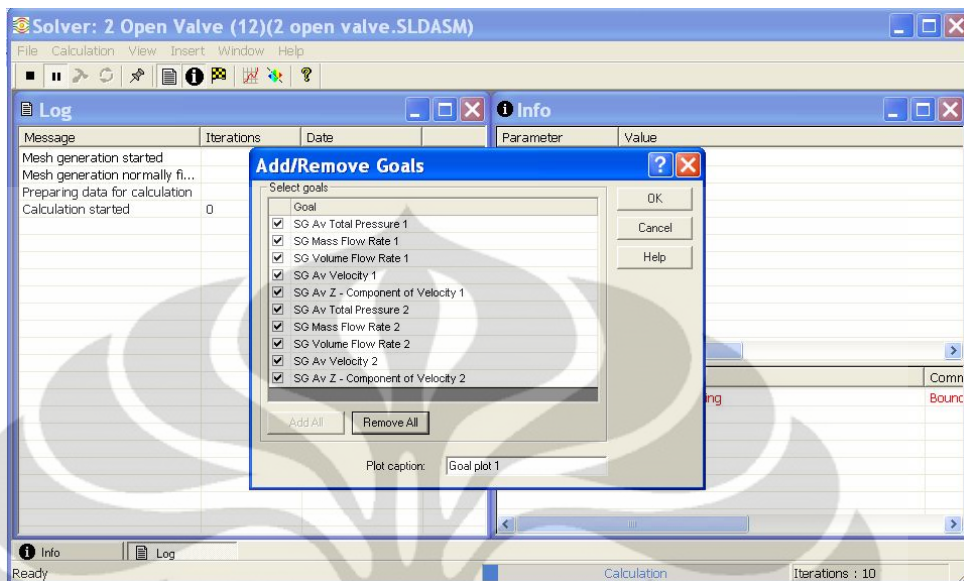


g. Memantau Perhitungan

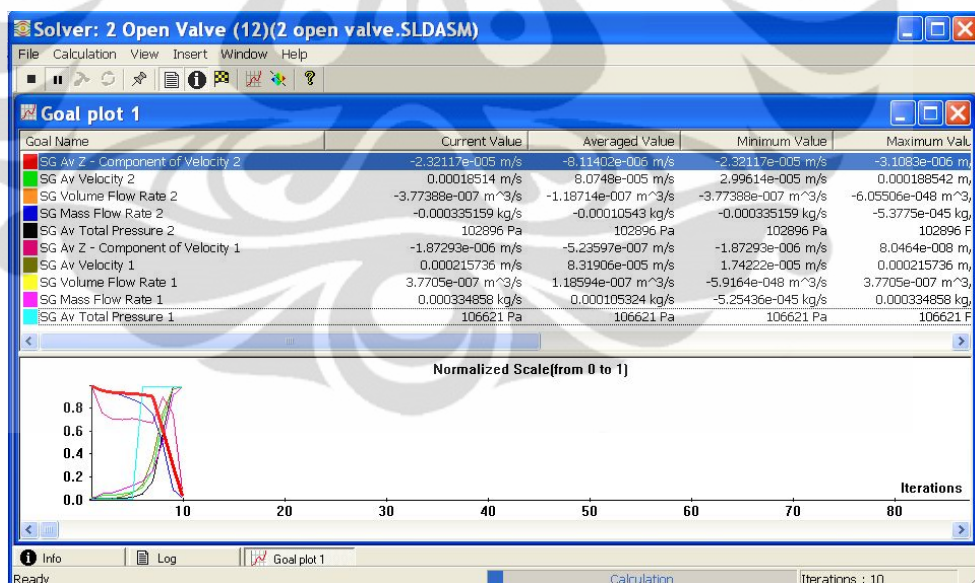
Pada saat mulai iterasi, kita dapat melihat grafik dari setiap parameter yang telah kita pilih sebelumnya. Kita juga dapat melihat perubahan distribusi warna dari model dengan parameter yang telah dipilih.

- Klik *suspend* pada *solver toolbar* saat iterasi mulai berjalan

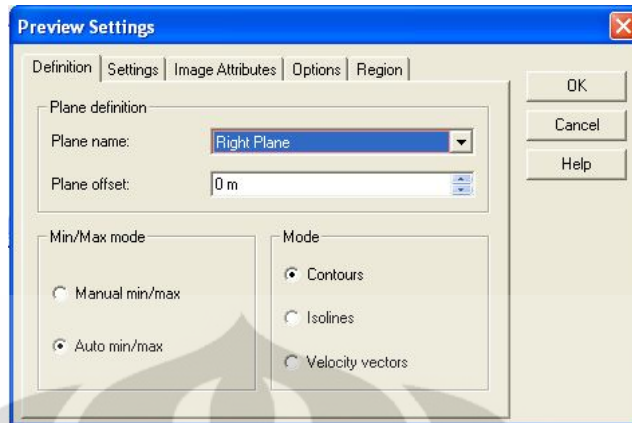
- Klik *insert goal plot* pada *solver toolbar* untuk menampilkan perubahan grafik saat iterasi



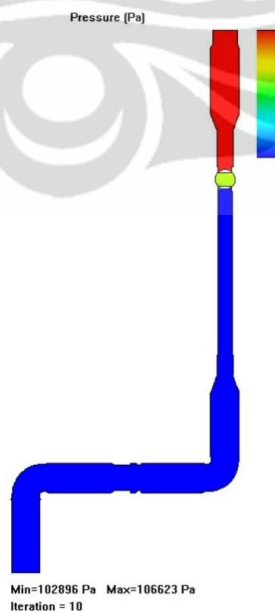
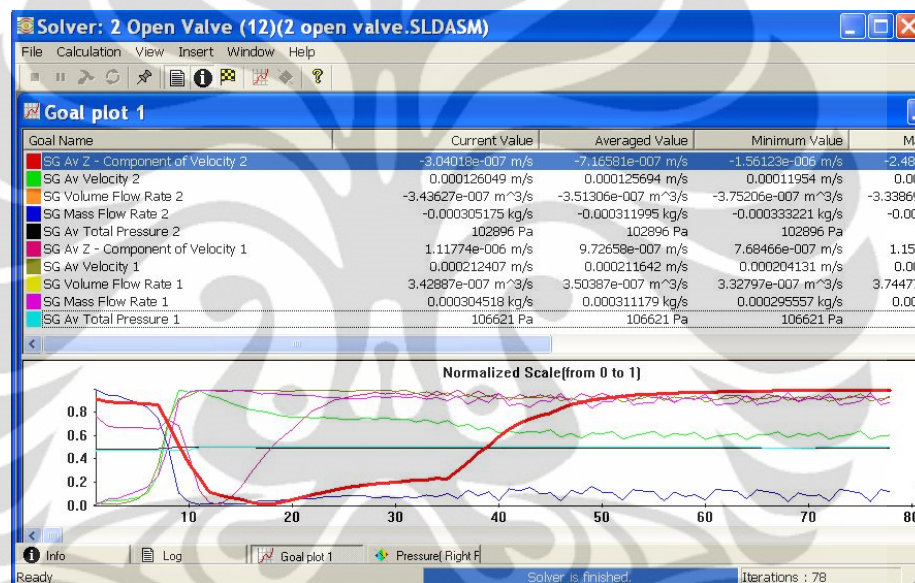
- Pilih *add all* untuk setiap parameter yang dipilih agar tampil pada grafik
- *Ok*



- Klik *insert preview* pada *solver toolbar* untuk menampilkan perubahan warna pada model selama iterasi
- Pilih *plane* pada model agar tampilannya bisa mewakili semua bagian model
- Pilih *right plane*

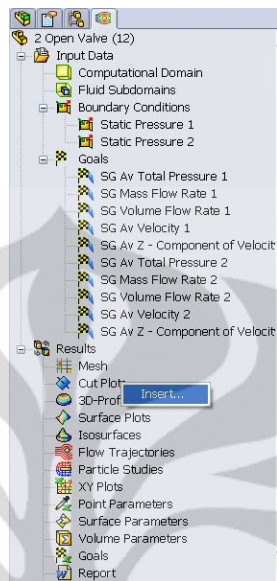


- Klik *suspend* lagi untuk melanjutkan proses iterasi

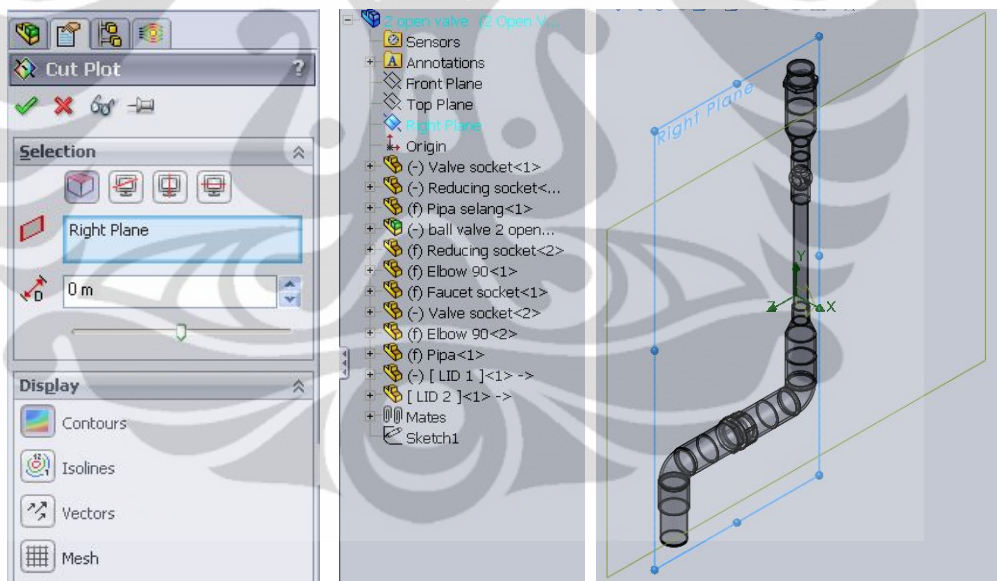


h. Membuat *Cut Plot*

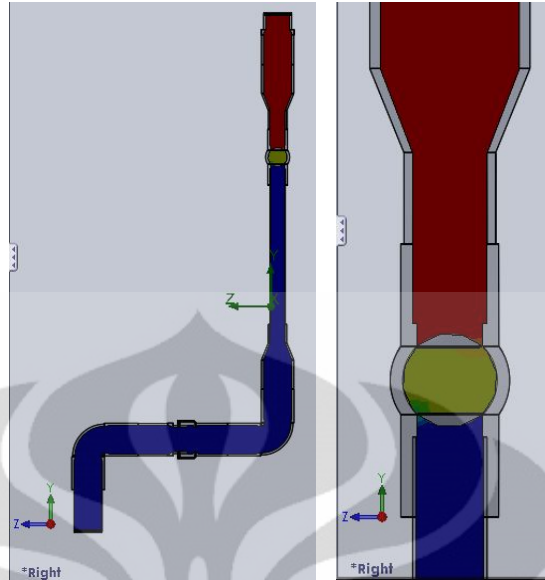
- Klik kanan *cut plot*



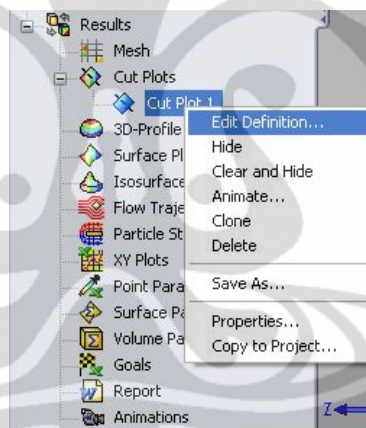
- Pilih *insert*



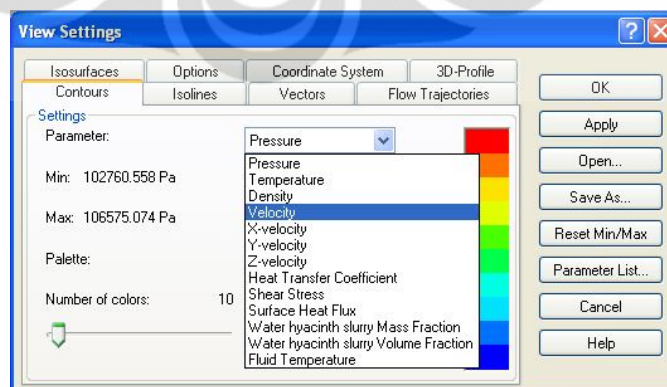
- Pilih *right plane*
- Pilih *contours* untuk *display*-nya



- Klik kanan *Edit definition* pada *cut plot 1*
Untuk mengubah kriteria *cut plot*-nya

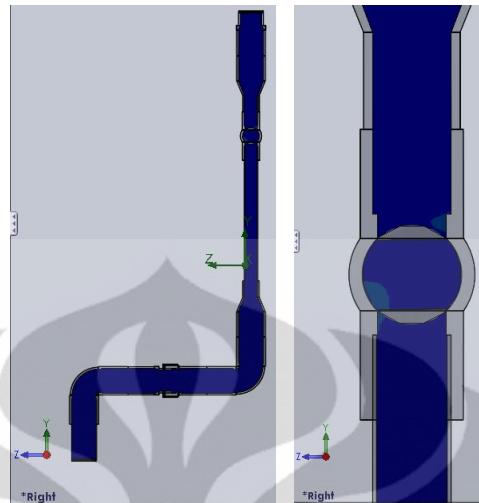


- Klik *view setting*



- Pilih *velocity*
- Geser *slider number of colors* untuk menentukan jumlah warna pada kontur

- *Ok*



i. Membuat Sebuah *Goal Plot*

Goal plot ini memungkinkan kita untuk mengetahui bagaimana nilai dari sebuah *goal* diubah dalam proses perhitungan. *Flow simulation* menggunakan *Microsoft Excell* untuk menampilkan data *goal plot*. Setiap *goal plot* ditampilkan dalam lembar yang terpisah. Nilai-nilai yang konvergen dari seluruh *goal plot* proyek ditampilkan dalam sebuah lembaran ringkas secara otomatis. Berikut adalah tahapan membuat sebuah *goal plot* :

- Klik *View*
- Klik *Display*
- Klik *Section view*
- *Hide the section*
- Klik *goals*
- Pilih *insert*



- Klik *add all*



- *Ok*

Akan muncul lembaran *excel* yang memuat nilai-nilai setiap parameter yang kita kehendaki sebelumnya. Lembar pertama merupakan lembaran ringkasan mengenai parameter-parameter dengan nilai yang telah konvergen.

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
SG Av Total Pressure 1	[Pa]	106620.732	106620.732	106620.732	106620.732	100	Yes	1.17961E-06	0.001066207
SG Av Total Pressure 2	[Pa]	102896.24	102896.24	102896.24	102896.24	100	Yes	7.7294E-07	0.001028962
SG Mass Flow Rate 1	[kg/s]	0.000304518	0.000311173	0.000295557	0.000332573	100	Yes	3.39797E-06	1.47468E-05
SG Mass Flow Rate 2	[kg/s]	-0.000305175	-0.000311995	-0.000333221	-0.000296509	100	Yes	3.36245E-06	1.47711E-05
SG Volume Flow Rate 1	[m³/s]	3.42887E-07	3.50387E-07	3.32797E-07	3.74477E-07	100	Yes	3.82611E-09	1.66049E-08
SG Volume Flow Rate 2	[m³/s]	-3.43627E-07	-3.51305E-07	-3.75205E-07	-3.33869E-07	100	Yes	3.79812E-09	1.66323E-08
SG Av Velocity 1	[m/s]	0.00012407	0.00011632	0.000204131	0.000219658	100	Yes	2.77569E-06	9.53045E-06
SG Av Velocity 2	[m/s]	0.000126049	0.000125694	0.00011954	0.000131895	100	Yes	6.60413E-06	6.98526E-06
SG Av Z - Component of V4	[m/s]	1.11774E-06	9.72859E-07	7.86486E-07	1.15072E-06	100	Yes	1.03239E-07	2.64977E-07
SG Av Z - Component of V4	[m/s]	-3.04018E-07	-7.16681E-07	-1.56123E-06	-2.48551E-07	100	Yes	1.31268E-06	1.49093E-06

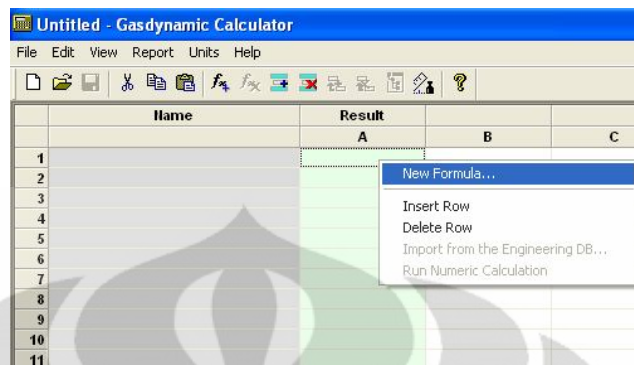
Iterations: 78
Analysis interval: 24

j. Bekerja Menggunakan Kalkulator

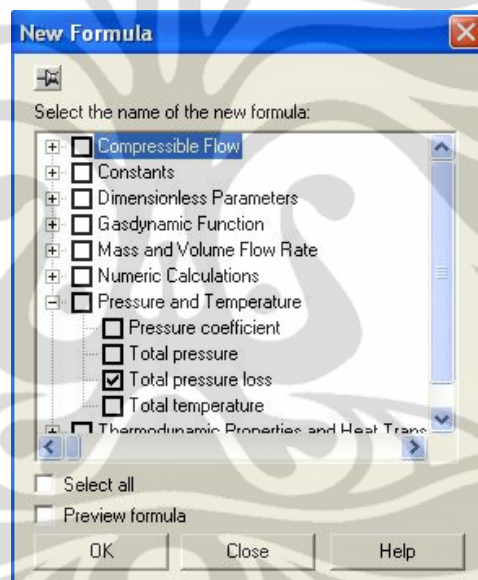
Kalkulator ini berisi berbagai rumus dinamika fluida yang dapat digunakan untuk perhitungan teknik. Kalkulator merupakan sebuah alat untuk mendapatkan perkiraan kasar hasil yang diharapkan, serta untuk perhitungan karakteristik penting dan referensi nilai. Satuan dalam perhitungan di kalkulator ini menggunakan satuan internasional (SI). Berikut adalah tahapan penggunaan kalkulator :

- Klik *Flow Simulation*

- Pilih *Tools*
- Pilih *Calculator*



- Klik kanan pada *cell A1* pada lembar kalkulator
- Pilih *New formula*



- Klik *Pressure and temperature*
- Pilih *Total pressure loss*

	Name	Result				
		A	B	C	D	E
1						
2	Total pressure loss	Total pressure loss	Total pressure at point 1	Total pressure at point 2	Density	Velocity
3	Bukaan Katup 0.5 derajat	527905713	106620.732 Pa	102896.24 Pa	888.1 kg/m ³	0.000126049 m/s
4						

- *Copy* nilai-nilai pada lembar *Excel* yang dibutuhkan pada kalkulator
 Nilai-nilai yang diambil adalah sesuai parameter yang dibutuhkan pada perhitungan di kalkulator. Lembaran ringkasan pada *Microsoft Excel* pada *goal plot* memuat nilai-nilai yang telah konvergen tersebut.

- *Paste* pada kalkulatornya

Total pressure loss akan didapatkan setelah memasukkan nilai-nilai *total pressure 1*, *total pressure 2*, *density* dan *velocity*.

- *Save*

Rugi tekanan total dan hambatan lokal

Tabel Rugi tekanan total dan hambatan lokal untuk berbagai bukaan katup

Sudut Bukaan katup	Tekanan inlet (pa)	Tekanan outlet (pa)	Kecepatan outlet (m/s)	Massa Jenis (kg/m ³)	Rugi Tekanan Total	Hambatan Hambatan Lokal
0,5°	106564,747	102840,255	0,000126049	888,1	527905713	527905633,6
1°	106564,747	102840,255	0,00034566	888,1	70199970,9	70199891,47
1,5°	106564,748	102840,256	0,00096106	888,1	9081012,23	9080932,799
2°	106564,747	102840,255	0,000367123	888,1	62231744,1	62231664,67
2,5°	106564,748	102840,255	0,000738265	888,1	15389009,2	15388929,77
3°	106564,748	102840,256	0,000980563	888,1	8723369,35	8723289,919
90°	106664,969	102895,937	0,326890845	888,1	79,4314335	0

Laju aliran massa

Tabel Laju Aliran Massa

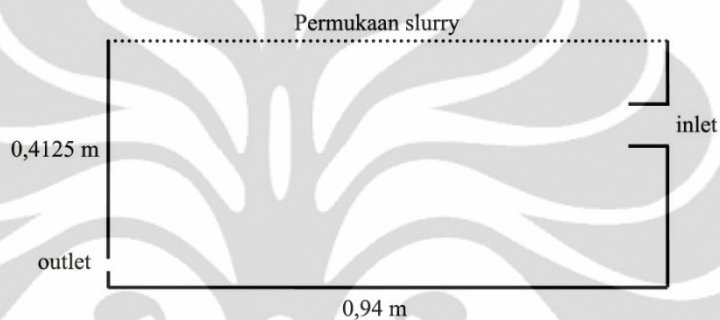
Sudut Bukaan katup	Laju aliran massa (kg/s)	Laju aliran volume (m ³ /s)
0,5°	$3,045 \times 10^{-4}$	$3,43627 \times 10^{-7}$
1°	$9,164 \times 10^{-4}$	$1,03588 \times 10^{-6}$
1,5°	$2,575231 \times 10^{-3}$	$2,89971 \times 10^{-6}$
2°	$1,0137 \times 10^{-3}$	$1,141 \times 10^{-6}$
2,5°	$1,832 \times 10^{-3}$	$2,0629 \times 10^{-6}$
3°	$2,497 \times 10^{-3}$	$2,812 \times 10^{-6}$
90°	$8,43400171 \times 10^{-1}$	$9,49667 \times 10^{-4}$

LAMPIRAN 4

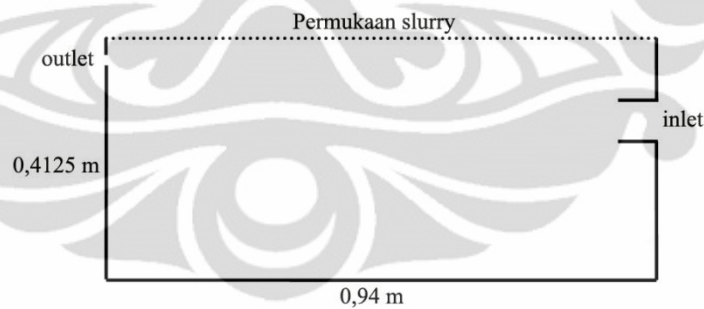
Tahapan-Tahapan Dalam Simulasi CFDSOF

a. Persiapan simulasi

Simulasi dengan CFDSOF perlu tahapan persiapan untuk mendapatkan hasil simulasi sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Digester ini memiliki sebuah *inlet* dan *outlet*. Bagian inlet akan diberi input kecepatan sehingga ada aliran *slurry* dari *inlet* masuk ke dalam digester dan keluar melalui *outlet* secara perlahan karena outletnya kecil.



Ada dua model desain yang akan disimulasikan dengan CFDSOF. Model tersebut memiliki perbedaan pada *outlet*nya, yang satu di bagian atas dan yang lain di bagian bawah.



Pada model digester, bagian atasnya berupa dinding tetapi sifatnya tanpa gesekan. Pada kondisi sebenarnya dinding tersebut merupakan lapisan batas antara permukaan *slurry* dengan biogas yang dihasilkan. Model digester tersebut disamakan dimensinya dengan digester yang sebenarnya. Panjang digester adalah 0,94 m dengan arah koordinat I dan 0,4125 m lebarnya dengan arah koordinat J. Jumlah *cell* nya dapat ditentukan sesuai dengan kebutuhan, semakin banyak *cell*-nya maka semakin bagus, tetapi bila terlalu banyak akan memakan tempat dalam proses simulasinya. Maka ditentukanlah bahwa jumlah *cell* untuk koordinat I

sebanyak 50 *cell* dan pada koordinat J sebanyak 25 *cell*. Model 2D digesternya cukup sederhana, kita dapat menggunakan ukuran *cell* yang seragam.

Pengaturan *inlet* dan *outlet* harus diperhitungkan agar letaknya sesuai dengan kondisi sebenarnya. Perhitungannya dapat dilakukan dengan membagi jarak dengan dimensi *cell* sehingga diketahui letaknya pada *cell* yang keberapa.

- Dimensi tiap *cell*

Pada koordinat I :

$$\text{Dimensi cell} = \frac{\text{panjang digester}}{\text{jumlah cell}} = \frac{0,94}{50} = 0,0188 \text{ m/cell}$$

Pada koordinat J :

$$\text{Dimensi cell} = \frac{0,4125}{25} = 0,0165 \text{ m/cell}$$

- *Inlet*

$$\text{Jumlah cell}_1 = \frac{\text{panjang}}{\text{dimensi cell}} = \frac{0,2446 \text{ m}}{0,0165 \text{ m/cell}} = 14,8 \text{ cell} \approx 15 \text{ cell}$$

$$\text{Jumlah cell}_2 = \frac{0,3054 \text{ m}}{0,0165 \text{ m/cell}} = 18,5 \text{ cell} \approx 18 \text{ cell}$$

$$\text{Jumlah cell}_3 = \frac{0,075 \text{ m}}{0,0188 \text{ m/cell}} = 3,9 \text{ cell} \approx 4 \text{ cell}$$

- *Outlet*

$$\text{Jumlah cell}_1 = \frac{0,03 \text{ m}}{0,0165 \text{ m/cell}} = 1,8 \text{ cell} \approx 2 \text{ cell}$$

$$\text{Jumlah cell}_2 = \frac{0,012 \text{ m}}{0,0165 \text{ m/cell}} = 0,7 \text{ cell} \approx 1 \text{ cell}$$

Dari perhitungan jumlah *cell* pada *inlet* dan *outlet* tersebut dapat diketahui koordinat I dan J yaitu :

Tabel Koordinat I dan J

Inlet	Wall _{inlet}	Wall _{inlet}	Wall _{permukaan}	Outlet ₁	Outlet ₂
I ₅₀	I ₄₆	I ₄₆	I ₁	I ₁	I ₁
I ₅₀	I ₅₀	I ₅₀	I ₅₀	I ₁	I ₁
J ₁₅	J ₁₄	J ₁₉	J ₂₅	J ₂₂	J ₂
J ₁₈	J ₁₄	J ₁₉	J ₂₅	J ₂₃	J ₃

Parameter input pada simulasi ini adalah :

Fluida : *Slurry*
 Densitas (ρ_{slurry}) : 888,1 kg/m³
 Viskositas (μ_{slurry}) : 0,0913 kg/m-s
 Kecepatan normal (v) : 0,44552 m/s
 Tekanan : 101325 pa

Kecepatan normal ini didapatkan dari hasil eksperimen dengan cara mengalirkan slurry melalui saluran masuk. Dari volume persatuan waktu didapat debit aliran kemudian dapat dijadikan referensi untuk mendapatkan kecepatan bila diameter pipa diketahui.

Diketahui :

t = 30 detik

V = 4 liter = 0,00396 m³

D = 0,0608 m

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{0,00396}{30} = 1,32 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1,32 \times 10^{-4}}{0,25 \pi (0,0608^2)} = 0,44552 \text{ m/s}$$

b. Langkah simulasi

Berikut adalah langkah-langkah simulasi aliran *slurry* dalam digester :

- o Tampilan awal CFDSOF




```

(R)- PANJNG DOMAIN
(R)- SAT. = M ++(BAWAAN 1.0000E+00)++
0.94
(R)- TINGGI
(R)- SAT. = M ++(BAWAAN 1.0000E+00)++
0.4125
(R)- LEBAR (PAKAI HNY UTK OUTPUT)
(R)- SAT. = M ++(BAWAAN 1.0000E+00)++
(L)- BAWAAN DIPAKAI

```

o Penentuan jumlah *cell*

```

PERINTAH YG TERSEDIA DI SET-DOMAIN:
DIMENSI          UKRN-DOMAIN  JUMLH-CELL  SLR      ESC
(SET-DOMAIN)-
jc
(I)- X ARAH (I)
(I)- ++(BAWAAN 10)++
50
(I)- Y ARAH (J)
(I)- ++(BAWAAN 10)++
25

```

o Melihat input yang telah dimasukkan

```

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 -N)++

(L)- BAWAAN DIPAKAI
(R)- PANJNG DOMAIN
(R)- SAT. = M ++(BAWAAN 9.4000E-01)++

(R)- BAWAAN DIPAKAI
(R)- TINGGI
(R)- SAT. = M ++(BAWAAN 4.1250E-01)++

(R)- BAWAAN DIPAKAI
(R)- LEBAR (PAKAI HNY UTK OUTPUT)
(R)- SAT. = M ++(BAWAAN 1.0000E+00)++

(R)- BAWAAN DIPAKAI

(I)- X ARAH (I)
(I)- ++(BAWAAN 50)++

(I)- BAWAAN DIPAKAI
(I)- Y ARAH (J)
(I)- ++(BAWAAN 25)++

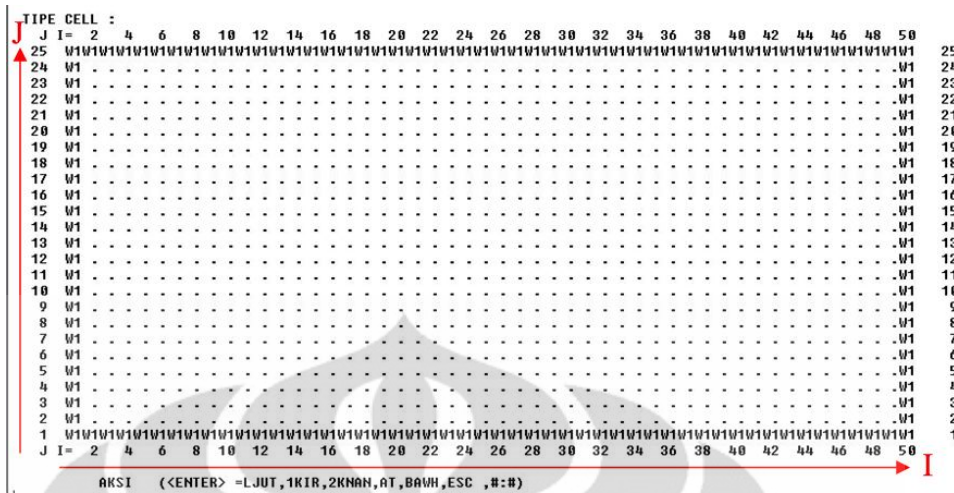
```

o Melihat daftar *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)-
dc

```



ESC

o Melihat grid

PERINTAH YG TERSEDIA DI INPUT1:

JUDUL	BACA-FILE-GRID	ATUR-DOMAIN
BATAS-TAYANGAN	BANGUN-GRID	MANIPULASI-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)-

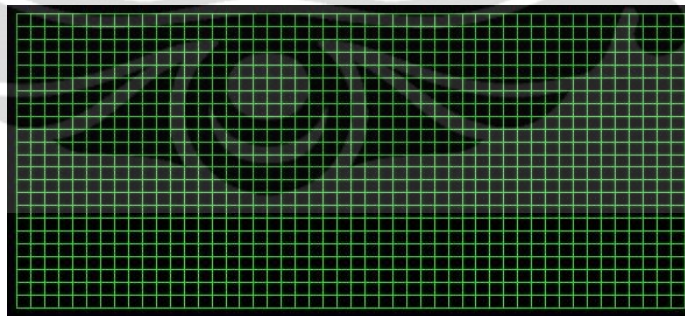
lg ←

PERINTAH YG TERSEDIA DI LIHAT-GRAFIS:

GRID	GRID-PERMUKN	GRID-ZONA
OUTLINE	OUTLINE-GEOMETRI	TBH-TEKS
SET-PARAMETER	RENTANG-LIHAT	DRIVER
METAFILE	PLAY-BACK	ATUR-LIHAT-GRFS
KAPSI	WARNA-MAP	PILIH-WARNA
BUKA-WINDOW	TUTUP-WINDOW	SET-WINDOW
ESC		

(LIHAT-GRAFIS)-

gr ←



ESC

o Mengatur cell

PERINTAH YG TERSEDIA DI INPUT1:

JUDUL	BACA-FILE-GRID	ATUR-DOMAIN
BATAS-TAYANGAN	BANGUN-GRID	MANIPULASI-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)++
50
(I)- INPUT I KE2
(I)- ++(BAWAAN     50)++
50
(I)- INPUT J KE1
(I)- ++(BAWAAN      1)++
15
(I)- INPUT J KE2
(I)- ++(BAWAAN     25)++
18
    
```

o Menentukan zona sempadan

```

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

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
    
```

o Mengatur 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-SEMPADAN      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     50)++
1
(I)- INPUT J KE1
(I)- ++(BAWAAN      1)++
22
(I)- INPUT J KE2
(I)- ++(BAWAAN     25)++
23
    
```

o Menentukan zona sempadan

```

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

o Mengatur 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-SEMPADAN      DAFTR-KONS-FISIKAL
LIHAT-GRAFIS      MAHIR      ESC
(INPUT1)-
ac
    
```



```
(*)- *SET CELL *
(I)- INPUT I KE1
(I)- ++(BAWAAN 1)++
46
(I)- INPUT I KE2
(I)- ++(BAWAAN 50)++
50
(I)- INPUT J KE1
(I)- ++(BAWAAN 1)++
14
(I)- INPUT J KE2
(I)- ++(BAWAAN 25)++
14
```

o Menentukan zona sempadan

```
PERINTAH YG TERSEDIA DI SEMPDN:
W-WALL      Z-WALL      SYMMETRY      .(LIVE)      CYCLIC      OUTLET
INLET      AXIS      ESC
(SEMPDN)-
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 U W X Y Z ESC
(PILIH-ZONA)-
1
```

o Mengatur 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)++
46
(I)- INPUT I KE2
(I)- ++(BAWAAN 50)++
50
(I)- INPUT J KE1
(I)- ++(BAWAAN 1)++
19
(I)- INPUT J KE2
(I)- ++(BAWAAN 25)++
19
```

o Menentukan zona sempadan

```
PERINTAH YG TERSEDIA DI SEMPDN:
W-WALL      Z-WALL      SYMMETRY      .(LIVE)      CYCLIC      OUTLET
INLET      AXIS      ESC
(SEMPDN)-
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 U W X Y Z ESC
(PILIH-ZONA)-
1
```

o Mengatur 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 50)++
50
(I)- INPUT J KE1
(I)- ++(BAWAAN 1)++
25
(I)- INPUT J KE2
(I)- ++(BAWAAN 25)++
25

```

o Menentukan zona sempadan

```

PERINTAH YG TERSEDIA DI SEMPDN:
W-WALL      Z-WALL      SYMMETRY      .(LIVE)      CYCLIC      OUTLET
INLET      AXIS      ESC
(SEMPDN)-
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 U W X Y Z ESC
(PILIH-ZONA)-
2

```

o Menentukan kondisi fisikal fluida

```

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)-
kf

PERINTAH YG TERSEDIA DI KONSTANTA-FISIKAL:
DNSITAS      USKOSITAS      TEKANAN-OPERASI      ESC
(KONSTANTA-FISIKAL)-
dn
(L)- PKAI HK GAS?
(L)- Y / N ++(BAWAAN -N)++
(L)- BAWAAN DIPAKAI
(R)- DENSITAS FLUIDA
(R)- SAT. = KG/M3 ++(BAWAAN 1.0000E+03)++
888.1

PERINTAH YG TERSEDIA DI KONSTANTA-FISIKAL:
DNSITAS      USKOSITAS      TEKANAN-OPERASI      ESC
(KONSTANTA-FISIKAL)-
vs
(R)- USKOSITAS FLUIDA
(R)- SAT. = KG/M-S ++(BAWAAN 9.0000E-04)++
0.0913

PERINTAH YG TERSEDIA DI KONSTANTA-FISIKAL:
DNSITAS      USKOSITAS      TEKANAN-OPERASI      ESC
(KONSTANTA-FISIKAL)-
es

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)-
dkf

PERINTAH YG TERSEDIA DI DAFTR-KONSTANTA-FISIKAL:
SLR      DNSITAS      USKOSITAS      TEKANAN-OPERASI
ESC
(DAFTR-KONSTANTA-FISIKAL)-
slr

```

o Menentukan kondisi sempadan

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

```

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

```

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
X Y Z ESC
(PILIH-ZONA)-
1
  
```

```

PERINTAH YG TERSEDIA DI I1-KONDISI-SEMPADAN-ZONA:
KECEPATN-NORMAL  KECEPATN-U      KECEPATN-U      ESC
(I1-KONDISI-SEMPADAN-ZONA)-
kn
(R)- KECEPATN-NORMAL
(R)- SAT. = M/S ++(BAVAAN 0.0000E-01)++
0.44552
(*)- KECEPATAN NORMAL SKRG DITETAPKAN PD INLET-KECEPATN
  
```

```

PERINTAH YG TERSEDIA DI I1-KONDISI-SEMPADAN-ZONA:
KECEPATN-NORMAL  KECEPATN-U      KECEPATN-U      ESC
(I1-KONDISI-SEMPADAN-ZONA)-
es
  
```

o Menentukan input mahir

```

PERINTAH YG TERSEDIA DI I1-KONDISI-SEMPADAN-ZONA:
KECEPATN-NORMAL  KECEPATN-U      KECEPATN-U      ESC
(I1-KONDISI-SEMPADAN-ZONA)-
es
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)-
ma
  
```

```

PERINTAH YG TERSEDIA DI MAHIR:
OPSI          PARAMETER-SOLUSI  PILIH-VARIABEL  PENGENDUR-1      PENGENDUR-2
GAYA-BADAN   SATUAN            IKATAN-WAKTU    SOLUSI-PERS-LINIER  BATAS-TAYANGAN
PARAMETER-LP  INSTALASI        SUBRUTIN-USER   RESET-JUMLAH-ITERASI  DISKRITISASI-DNSITAS
ESC
(MAHIR)-
op
(*)- ** OPSI PENODELAN **
(L)- PENGATURAN TAUTAN?
(L)- Y / N ++(BAVAAN -N)++
y
(L)- PENGATURAN PROFIL?
(L)- Y / N ++(BAVAAN -N)++
  
```

```

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

```

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)-
ks
  
```

```

PERINTAH YG TERSEDIA DI SEMPDN:
W-WALL        Z-WALL        SYMMETRY      .(LIVE)      CYCLIC        OUTLET        INLET        AXIS        ESC
(SEMPDN)-
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
X Y Z ESC
(PILIH-ZONA)-
2
  
```

```

PERINTAH YG TERSEDIA DI W2-KONDISI-SEMPADAN-ZONA:
SET-LINK      KECEPATN-U      KECEPATN-U      ESC
(W2-KONDISI-SEMPADAN-ZONA)-
s1
(*)- ** SPECIFY WHICH LINKS ARE TO BE CUT FOR ZONE W2 **
(L)- POT LINK UTK KECEPATN-U?
(L)- Y / N  ++(BAWAAN -N )++
y
(L)- POT LINK UTK KECEPATN-U?
(L)- Y / N  ++(BAWAAN -N )++
y

```

```

PERINTAH YG TERSEDIA DI W2-KONDISI-SEMPADAN-ZONA:
SET-LINK      ESC
(W2-KONDISI-SEMPADAN-ZONA)-
es

```

```

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-SEMPADAN         DAFTR-KONS-FISIKAL
LIHAT-GRAFIS   MAHIR                    ESC
(INPUT1)-
es
(*)- *** MENGHITUNG PARAMETER GEOMETRIKAL... ***
(*)- *** MEMERIKSA VALIDITAS GRID.***

```

o Melakukan iterasi

```

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*)-
iter
(I)- BERAPA KALI ITERASI?
(I)- ++(BAWAAN 0)++
1500

```

o Melihat grafis

```

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*)-
lg

```

```

PERINTAH YG TERSEDIA DI LIHAT-GRAFIS:
GRID            GRID-PERBUKHN          GRID-ZONA              OUTLINE              OUTLINE-GEOMETRI
TBH-TEKS       SET-PARAMETER          RENTANG-LIHAT         DRIVER              HARD-COPY
METAFILE       PLAY-BACK              KONTUR                 KONTUR-PENUH       PARAMETER-KONTUR
ITEM-LABEL     STREAKLINE            PROFIL                 VEKTOR-KECEPATAN  VEKTOR-DTETAPKN-USER
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:
DENSITY          PRUKARN-MASA          PRUKARN-X              PRUKARN-Y              USKOSITAS-MOLEKULER
TEKANAN-STATIK-REL TEKANAN-STATIK-ABS  FUNGSI-ARUS           TEKANAN-TOTAL-REL     TEKANAN-TOTAL-ABS
KECEPATN-U      KECEPATN-U           BESARNYA-KECEPATAN   SUMBER-MOMX           SUMBER-MOMY
XOPSI-EKSTENSI  ESC
(PILIHAN-VARIABEL)-
bk
(I)- INPUT JUMLAH KONTUR
(I)- ++(BAWAAN 30)++

```

o Merubah parameter vektor

```

PERINTAH YG TERSEDIA DI LIHAT-GRAFIS:
GRID            GRID-PERBUKHN          GRID-ZONA              OUTLINE              OUTLINE-GEOMETRI
TBH-TEKS       SET-PARAMETER          RENTANG-LIHAT         DRIVER              HARD-COPY
METAFILE       PLAY-BACK              KONTUR                 KONTUR-PENUH       PARAMETER-KONTUR
ITEM-LABEL     STREAKLINE            PROFIL                 VEKTOR-KECEPATAN  VEKTOR-DTETAPKN-USER
PARAMETER-VEKTOR PLOT-XY              ATUR-LIHAT-GRFS      KAPSI              WARNA-MAP
PILIH-WARNA   BUKA-WINDOW          TUTUP-WINDOW          SET-WINDOW          ESC
(LIHAT-GRAFIS)-
pv
(*)- ** PARAMETER GAMBAR VEKTOR **
(R)- FAKTOR SKALA VEKTOR
(R)- SAT. = DIH ++(BAWAAN 1.0000E+00)++
5
(L)- GAMBAR KPLPANAH?
(L)- Y / N  ++(BAWAAN -Y )++

```

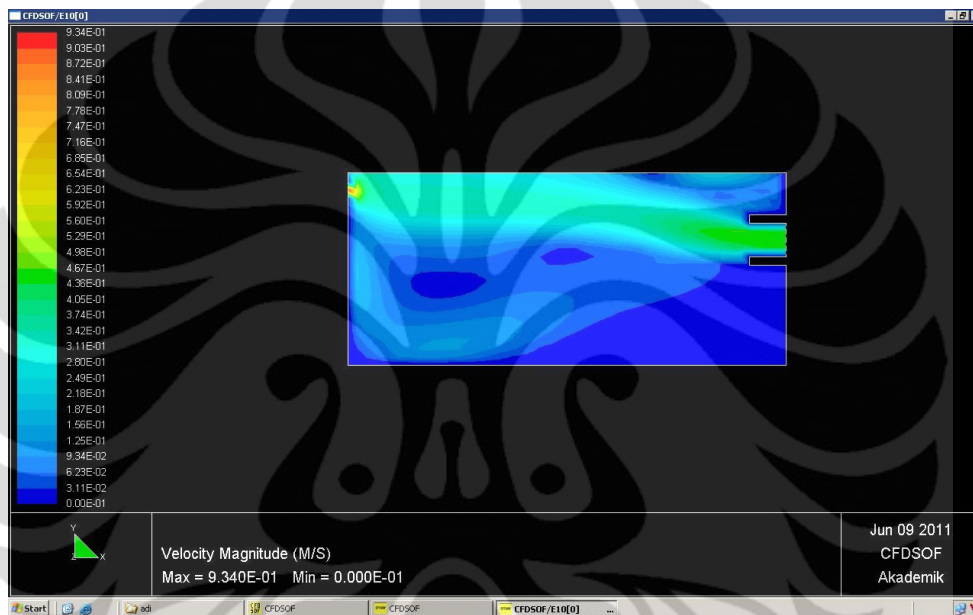
```

(I)- GAMBAR VEKTOR PD TIAP CELL ARAH KE I      (BERI N)
(I)- ++(BAWAAN 1)++
2
(I)- GAMBAR VEKTOR PD TIAP CELL ARAH KE J      (BERI N)
(I)- ++(BAWAAN 1)++
2
(L)- WARNAI VEKTOR KODE DENGAN SKALAR?
(L)- Y / N ++(BAWAAN -N)++

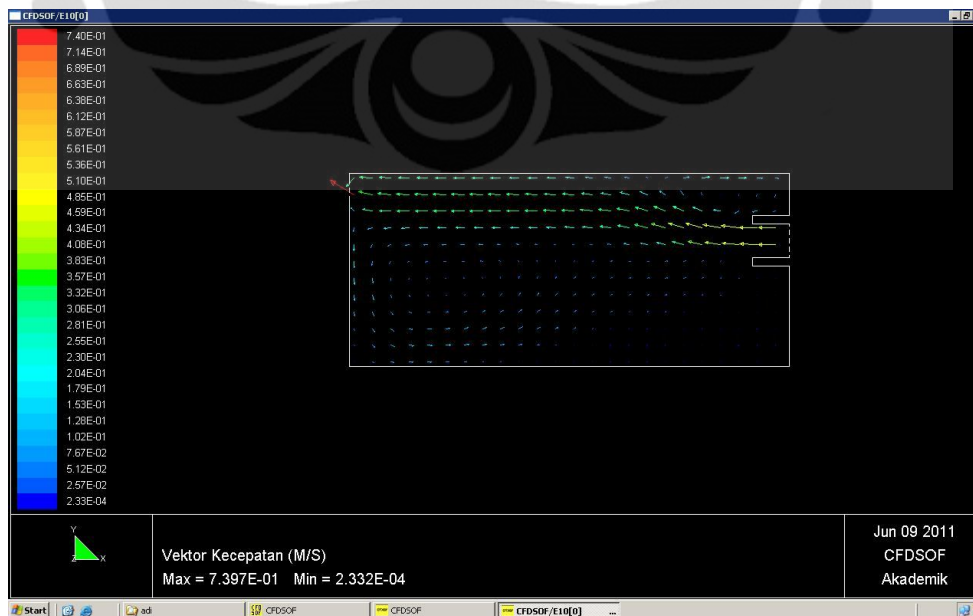
(I)- GAMBAR VEKTOR PD TIAP CELL ARAH KE I      (BERI N)
(I)- ++(BAWAAN 1)++
2
(I)- GAMBAR VEKTOR PD TIAP CELL ARAH KE J      (BERI N)
(I)- ++(BAWAAN 1)++
2
(L)- WARNAI VEKTOR KODE DENGAN SKALAR?
(L)- Y / N ++(BAWAAN -N)++

```

- o Melihat hasil kontur besarnya kecepatan



- o Vektor kecepatan



LAMPIRAN 5**Pengambilan Data Digester Selama HRT dengan pengisian *slurry* secara kontinyu bulan April-Mei 2011**

No.	Tanggal	Ti (°C)	To (°C)	pH	Δp (mm H ₂ O)	m_{slurry} (liter/hari)	Δh (cm/hari)	m_{residu} (liter/hari)
1	13-Apr-11	27.2	29.8	7	0	0	0	0
2	14-Apr-11	28.6	29.7	7	8	4	4.5	3.9
3	15-Apr-11	28.5	29.6	7	8	4	7.4	3.9
4	16-Apr-11	28.4	30.0	7	7	4	8	3.9
5	17-Apr-11	28.5	29.7	7	8	4	10.5	3.9
6	18-Apr-11	28.4	29.5	7	8	4	11	3.9
7	19-Apr-11	28.5	30.0	7	8	4	12.8	3.8
8	20-Apr-11	28.3	29.7	7	7	4	14.2	3.9
9	21-Apr-11	28.2	29.5	7	7	4	15	3.9
10	22-Apr-11	28.7	29.8	7	8	4	13.9	3.9
11	23-Apr-11	28.5	29.5	7	7	4	13.7	3.8
12	24-Apr-11	28.5	29.6	7	7	4	14	3.7
13	25-Apr-11	28.4	29.9	7	7	4	13	3.8
14	26-Apr-11	28.5	29.5	7	8	4	13	3.7
15	27-Apr-11	28.5	29.0	7	8	4	13	3.8
16	28-Apr-11	28.4	29.6	7	8	4	13.8	3.7
17	29-Apr-11	28.2	29.5	7	8	4	12.8	3.8
18	30-Apr-11	28.7	29.8	7	7	4	12	3.8
19	1-May-11	28.3	29.2	7	8	4	12.2	3.8
20	2-May-11	28.7	29.7	7	7	4	12.7	3.8
21	3-May-11	28.5	29.6	7	8	4	13	3.7
22	4-May-11	28.2	29.4	7	8	4	12.7	3.8
23	5-May-11	28.2	29.3	7	8	4	12.4	3.8
24	6-May-11	28.4	29.5	7	8	4	12	3.8
25	7-May-11	28.5	28.9	7	8	4	12.1	3.8
26	8-May-11	28.5	29.5	7	8	4	12.5	3.7
27	9-May-11	28.5	28.9	7	8	4	12.2	3.7
28	10-May-11	28.7	29.7	7	8	4	12.7	3.8
29	11-May-11	28.5	29.5	7	8	4	12	3.7
30	12-May-11	28.6	29.7	7	8	4	11.7	3.8
31	13-May-11	28.5	29.5	7	8	4	12	3.7
32	14-May-11	28.6	29.7	7	8	4	11.9	3.7
33	15-May-11	28.8	29.8	7	8	4	11.5	3.9
34	16-May-11	28.8	29.2	7	8	4	11	3.8
35	17-May-11	28.7	29.0	7	8	4	10.6	3.9
36	18-May-11	28.5	29.1	7	8	4	11	3.7
37	19-May-11	28.5	29.6	7	8	4	10.5	3.7

38	20-May-11	28.4	29.4	7	8	4	10.8	3.7
39	21-May-11	28.5	29.5	7	8	4	10	3.8
40	22-May-11	28.4	29.8	7	8	4	10	3.8

LAMPIRAN 6

Prototype Plant Biogas dan Hasil Biogas

