



UNIVERSITAS INDONESIA

STUDI EKSPERIMENTAL AWAL

**PENGARUH VARIASI KECEPATAN NOZEL DAN JARAK
SPACING NOZEL TERHADAP ENTRAINMENT RATIO
EJECTOR UDARA PADA SUATU SISTEM ALIRAN UDARA
BALIK**

SKRIPSI

HERY PRABOWO

06 06 07 32 15

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
DESEMBER 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

STUDI EKSPERIMENTAL AWAL

**PENGARUH VARIASI KECEPATAN NOZEL DAN JARAK
SPACING NOZEL TERHADAP ENTRAINMENT RATIO
EJECTOR UDARA PADA SUATU SISTEM ALIRAN UDARA
BALIK**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Doktor

HERY PRABOWO

06 06 07 32 15

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
DESEMBER 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Hery Prabowo

NPM : 06 06 07 32 15

Tanda Tangan : 

Tanggal :

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Hery Prabowo
NPM : 06 06 07 32 15
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : STUDI EKSPERIMENTAL AWAL PENGARUH
VARIASI KECEPATAN NOZEL DAN JARAK
SPACING NOZEL TERHADAP ENTRAINMENT
RATIO EJECTOR UDARA PADA SUATU
SISTEM ALIRAN UDARA BALIK

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Adi Surjosatyo., M.Eng

Penguji : Prof. Dr. I Made K Dhiputra Dipl.-Ing

Penguji : Prof. Ir. Yulianto Sulistyo N, M.Sc., Ph.D

Penguji : Ir. Agung Subagio Dipl.-Ing



Ditetapkan di :

Tanggal :

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- 1) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
- 2) Dr. Ir. Adi Surjosatyo., M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- 3) Fajri Vidian, S.T., M.T., selaku asisten dosen pembimbing dan rekan penelitian yang telah membantu jalannya penelitian dan penyusunan skripsi ini. Dimana skripsi ini merupakan bagian dari penelitian Disertasi S3 Beliau.
- 4) Aan Prasetyo, Panji Arum Bismantoko, Ricky Rafiandi, Muammar Faruq, Hamdani Pujianto serta rekan-rekan Teknik Mesin 2006 yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 15 Desember 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Hery Prabowo
NPM : 06 06 07 32 15
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

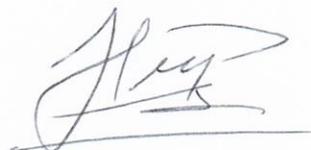
STUDI EKSPERIMENTAL AWAL PENGARUH VARIASI KECEPATAN
NOZEL DAN JARAK SPACING NOZEL TERHADAP ENTRAINMENT RATIO
EJECTOR UDARA PADA SUATU SISTEM ALIRAN UDARA BALIK

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 : 28 Desember 2010

Yang menyatakan



(HERY PRABOWO)

ABSTRAK

Nama : Hery Prabowo
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Studi Eksperimental Awal Pengaruh Variasi Kecepatan Nozel dan Jarak Spacing Nozel Terhadap Entrainment Ratio Ejector Udara Pada Suatu Sistem Aliran Udara Balik

Ejector adalah pompa dinamik yang tidak memiliki bagian yang bergerak, memiliki konstruksi yang relatif sederhana dan mudah dalam perawatan. Prinsip kerja sebuah ejector adalah mendorong aliran fluida sekunder dengan memanfaatkan transfer momentum dan energy dari fluida penggerak berkecepatan tinggi (jet). Pada penelitian ini ejektor di gunakan untuk mensirkulasikan aliran udara pada suatu sistem. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh variasi kecepatan fluida penggerak keluaran nozzle dan jarak spacing nozel pada sebuah ejector udara terhadap besarnya entrainment ratio yang dihasilkan. Hasil penelitian ini menunjukkan peningkatan kecepatan nozzle dan jarak spacing nozzle ejector pada batas tertentu sebanding dengan besar entrainment rasionya.

Kata Kunci :

Ejector udara, Variasi kecepatan, Jarak spasi Nozel, Entrainment ratio

ABSTRACT

Name : Hery Prabowo
Study Program : Mechanical Engineering
Title : Preliminary Eksperimental Study Effect of Variation in
Nozzle Velocity and Nozzle Spacing Distance on Entrainment Ratio Air Ejector
Through Air Flow System

Ejector is a dynamic pump that has no moving parts, has a relatively simple construction and easy in maintenance. The working principle is to push an ejector secondary fluid flow by utilizing the transfer of fluid momentum and energy of high speed motive fluid. In this research, the ejector is used to circulate air flow in a system. in this study aims to look at the effect variation in nozzle velocity and nozzle spacing distance on an air ejector entrainment ratio to the amount produced. The results of this study showed increased velocity nozzle and nozzle spacing distance to a certain extent proportional to the amount of entrainment ratio.

Key words :

Air Ejector, variation nozzle velocity, nozzle spacing distance, entrainment ratio

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR SIMBOL.....	xi
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Judul Penelitian.....	1
1.2 Latar Belakang Masalah	1
1.3 Perumusan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Metodologi Penelitian.....	3
1.7 Sistematika Penulisan	4
2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengertian Gasifikasi	5
2.2. Pengertian Ejector Udara	6
2.3. Komponen Ejector	8
2.4. Prinsip Kerja Ejector.....	9
2.5. Teori Ejector.....	11
2.5.1 Persamaan Kontinuitas.....	11
2.5.2 Persamaan Bernoulli	12
2.5.2.1 Aplikasi Persamaan Bernoulli Pada Ejector.....	14
2.5.3 Entrainment Ratio	15
2.6. Parameter Geometri Desain Ejector.....	17
2.6.1 Suction chamber.....	17
2.6.2 Panjang ruang percampuran.....	17
2.6.3 Spacing nozzle	18
2.6.4 Diameter nozel penggerak.....	18
2.6.5 Diffuser	18
2.7. Perhitungan Efisiensi Ejector.....	18
3. SPESIFIKASI ALAT DAN PROSEDUR PENGAMBILAN DATA	20
3.1. Skematika Alat Pengujian.....	20
3.2. Peralatan Penelitian.....	20
3.3 Metodologi Penelitian.....	28
3.4. Prosedur Penelitian	29
3.4.1 Prosedur Pengambilan Data Kecepatan Aliran Balik.....	29
3.4.2 Prosedur Visualisasi Aliran	30

4. HASIL DAN ANALISA	33
4.1 Overall balance flowrate pada prototype reactor	33
4.2 Pengaruh jarak Spacing Nozzle Terhadap Entrainment Ratio Ejector ...	34
4.2.1 Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Hasil Simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD)	37
4.3 Pengaruh Variasi Kecepatan Nozzle Terhadap Flowrate Aliran Balik	41
4.4 Visualisasi Aliran Udara Balik Dari Prototype Reaktor Gasifikasi dengan Penggunaan Ejector Udara	43
5. KESIMPULAN DAN SARAN	48
5.1 Kesimpulan.....	48
5.2 Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA.....	50
LAMPIRAN.....	51



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 updraft gasifier	6
Gambar 2. 2 aliran fluida pada ejector	7
Gambar 2. 3 komponen ejector	8
Gambar 2. 4 cpm ejector (a) dan cma ejector (b).....	9
Gambar 2. 5 profile perubahan tekanan sepanjang ejector	10
Gambar 2. 6 profile perubahan kecepatan sepanjang ejector.....	10
Gambar 2. 7 geometri dasar sebuah ejector	17
Gambar3. 2 prototype reaktor updraft.....	21
Gambar3. 3 Blower Udara	21
Gambar3. 4 Kontrol dan exhaust valve.....	22
Gambar 4. 1 Pengaruh posisi nozzle terhadap entrainment ratio pada total flowrate udara 160 lpm	34
Gambar 4. 2 Pengaruh posisi nozzle terhadap entrainment ratio pada total flowrate udara 180 lpm	34
Gambar 4. 3Pengaruh posisi nozzle terhadap entrainment ratio pada total flowrate udara 200 lpm	35
Gambar 4. 4Pengaruh posisi nozzle terhadap entrainment ratio pada total flowrate udara 240 lpm	35
Gambar 4. 5 Pengaruh posisi nozzle terhadap entrainment ratio pada total flowrate udara 300 lpm	36
Gambar 4. 6 Nilai entrainment ratio terhadap posisi keluaran Nozzel (NXP) hasil simulasi CFD [Fajri Vidian 2010].....	38
Gambar 4. 7Laju alir resirkulasi (aliran sekunder) vs posisi Nozzel hasil simulasi CFD.....	38
Gambar 4. 8 Nilai entrainment ratio terhadap posisi keluaran Nozzel (NXP) hasil ekperimen.....	39
Gambar 4. 9 Laju alir resirkulasi (aliran sekunder) vs posisi nozzel hasil eksperimen	39
Gambar 4. 10Visualisasi Aliran Melewati Ejector, Flowrate Bloer Utama 120 lpm, Flowrate Nozzle 40 lpm.....	44
Gambar 4. 11 Visualisasi Aliran Melewati Ejector, Flowrate Bloer Utama 120 lpm, Flowrate Nozzle 60 lpm.....	45
Gambar 4. 12Visualisasi Aliran Melewati Ejector, Flowrate Bloer Utama 140 lpm, Flowrate Nozzle 60 lpm.....	46
Gambar 4. 13Visualisasi Aliran Melewati Ejector, Flowrate Bloer Utama 180 lpm, Flowrate Nozzle 60 lpm.....	47
Gambar 4. 14Visualisasi Aliran Melewati Ejector, tanpa Ejector	47

DAFTAR SIMBOL

Huruf Latin	Besaran	Satuan
Dn	Diameter driving nozzle	mm
Dm	Diameter mixing chamber	mm
S	Jarak spasing nozzle	mm
Lm	panjang mixing chamber	mm
Vp	kecepatan fluida penggerak	m/s
Vbu	kecepatan blower utama	m/s
Vs	kecepatan fluida sekunder	m/s
Qp	flowrate fluida penggerak	lpm
Qbu	flowrate udara blower utama	lpm
Qs	flowrate fluida sekunder	lpm
mp	mass flowrate fluida penggerak	kg/s
ms	mass flowrate fluida sekunder	kg/s
M	bilangan Mach	
C	kecepatan suara	m/s ²
T	Temperatur	°C
Re	Bilangan Reynolds	
Huruf Yunani	Besaran	Satuan
η	effisiensi	
ρ	kerapatan fluida udara	kg/m ³

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Judul Penelitian

STUDI EKSPERIMENTAL AWAL PENGARUH VARIASI KECEPATAN NOZEL DAN JARAK SPACING NOZEL TERHADAP ENTRAINMENT RATIO EJECTOR UDARA PADA SUATU SISTEM ALIRAN UDARA BALIK

1.2 Latar Belakang Masalah

Updraft Gasifikasi merupakan salah satu teknologi diversifikasi energy yang potensial, namun memiliki masalah dalam hal produksi tar yang relatif banyak. Penambahan ejector pada sebuah updraft gasifier diyakini bisa mereduksi kandungan tar dalam gas produser proses gasifikasi.

Pada Laboratorium Gasifikasi Biomassa dan Batubara Jurusan Teknik Mesin Universitas Indonesia, dilakukan rangkaian penelitian untuk mengurangi jumlah tar pada gas producer gasifikasi dengan metode penambahan ejector untuk menarik kembali gas produser yang paling banyak mengandung tar, yaitu pada bagian reactor gasifikasi yang terjadi proses pirolisis, untuk kembali dibakar ulang pada bagian bawah reactor. Dengan metode ini diharapkan gas produser yang keluar dari reactor gasifikasi (gasifier) bisa jauh lebih bersih dan kandungan limbah tar bisa direduksi.

Tugas akhir ini merupakan bagian dari rangkaian penelitian diatas, berupa sebuah studi awal untuk melihat pendekatan kemungkinan pemanfaatan ejector udara pada sebuah system gasifikasi. Penelitian ini ditujukan untuk melihat variasi kecepatan motive fluid yang keluar dari nozzle dan jarak spacing nozel sebuah ejector udara terhadap besarnya entrainment ratio yang dihasilkan secara eksperimental menggunakan sebuah prototype reactor gasifikasi yang dibuat dari bahan acrylic.

Ejector sendiri merupakan salah satu jenis dari pompa dinamik yang menggunakan prinsip jet (jet pump) sebagai tenaga penggerak, yaitu menciptakan ruang bertekanan rendah (vakum) oleh fluida penggerak (motive

fluid) sehingga fluida sekunder yang berada pada tekanan lebih tinggi/ atmosfer akan terhisap ke ruang vakum tersebut. Selanjutnya, terjadi transfer momentum pada saat fluida sekunder dan fluida penggerak bertemu, sehingga fluida sekunder akan bergerak ke bagian keluaran dari pompa bersama sama dengan fluida penggerak.

Ejector atau pompa jet ini tidak memiliki bagian yang bergerak (berputar) sehingga dapat meminimalisir adanya getaran dan dapat didisain dengan berat yang minimum, serta tidak lagi memerlukan system pelumasan. Selain itu ejector memiliki konstruksi yang relative sederhana dan kemudahan dalam operasi.

1.3 Perumusan Masalah

Sebagai studi awal, eksperimen cold flow ini hanya menggunakan satu jenis fluida uji. fluida penggerak dan fluida sekunder (aliran udara balik dari reaktor) yang melalui ejector adalah sama yaitu udara pada temperature ruang. hal ini dimaksudkan untuk mempermudah melihat gambaran aliran sirkulasi yang terjadi. Dengan mengatur variasi kecepatan dan flowrate udara keluaran nozzel ejector serta penempatan jarak ujung nozzle ejector terhadap daerah mixing chamber diharapkan didapatkan data kecepatan dan flowrate aliran udara balik yang optimum yang mampu dihisap oleh ejector dari reaktor dan dipompa lagi ke dalam reaktor gasifikasi.

1.4 Tujuan Penelitian

Dari latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka penulis bermaksud memfokuskan penelitian untuk mendapatkan hasil sebagai berikut:

1. Pengaruh variasi kecepatan aliran primer pada nozzel ejector terhadap laju aliran udara balik yang mampu dihisap kembali ke dalam reaktor
2. Pengaruh variasi jarak ujung nozzle ejector terhadap daerah mixing chamber (jarak spacing nozzle) terhadap laju entrainment ratio yang dihasilkan
3. Gambaran pola aliran udara balik yang terjadi akibat adanya penambahan ejector udara pada sistem reaktor gasifikasi

1.5 Batasan Masalah

Mengingat luasnya permasalahan yang ada, maka dalam pembahasan ini penulis merasa perlu untuk melakukan pembatasan masalah dalam beberapa hal, agar penelitian lebih terfokus. Pengambilan data meliputi kecepatan aliran balik (aliran sekunder) yang masuk ke dalam ejector, foto serta video aliran balik yang terjadi di daerah sekitar ejector, dengan melakukan variasi terhadap beberapa parameter, yaitu:

1. 8 variasi posisi ujung nozel ejector terhadap daerah mixing chamber, yaitu satu titik tepat di ujung awal daerah mixing chamber dan kemudian setiap penambahan 1 cm jarak menjauhi daerah mixing chamber (menjauhi reaktor) hingga didapat 5 buah titik uji, serta 2 titik setiap penambahan 1 cm jarak kedalam daerah mixing chamber (mendekati reaktor).
2. 5 variasi total flowrate udara yang masuk kedalam reaktor (gabungan antara flowrate dari blower utama dan blower untuk nozzle ejector) yaitu 160, 180, 200, 240 dan 300 liter per menit udara. Yang selanjutnya dilakukan variasi kecepatan pada blower utama dan blower ejector untuk mendapatkan masing-masing total flowrate tersebut

1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Pemilihan objek penelitian.
2. Studi literatur.
3. Fabrikasi tabung prototype reaktor dan ejector udara
4. Instalasi alat uji
5. Persiapan percobaan
6. Pengujian dan pengambilan data
7. Pengolahan data dan grafik
8. Analisa dan kesimpulan.

1.7 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis akan membagi dalam lima bab, yang masing-masing terdiri dari sub-bab. Hal tersebut dimaksudkan untuk memudahkan dan mengarahkan pembahasan agar didapat informasi secara menyeluruh. Kerangka penulisan tersebut diuraikan sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN, berisi :

Latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA, berisi :

Pengertian ejector udara, komponen ejector, prinsip kerja ejector, teori ejector, parameter geometri desain ejector, perhitungan efisiensi ejector

BAB 3 SPESIFIKASI ALAT DAN PENGAMBILAN DATA, berisi :

Skematik alat pengujian, peralatan pengujian, prosedur penelitian

BAB 4 HASIL DAN ANALISA, berisi :

Overall balance flowrate system, Pengaruh variasi spacing nozel terhadap entrainment ratio ejector, pengaruh variasi kecepatan nozel terhadap flowrate aliran balik, visualisasi aliran udara balik dari penggunaan ejector udara.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN, berisi :

Kesimpulan dan saran.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

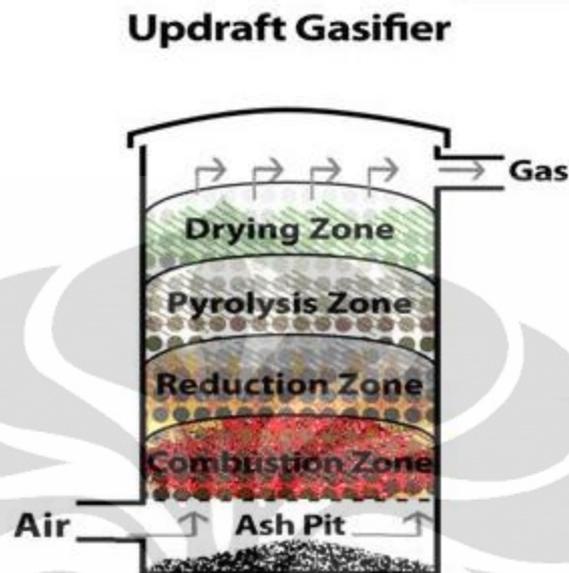
2.1 Pengertian Gasifikasi

Gasifikasi berarti proses pembakaran yang tidak sempurna yang dilakukan untuk menghasilkan gas yang mampu-bakar. Karena proses ini merupakan konversi material yang mengandung karbon, maka semua hidrokarbon seperti batubara, *petroleum coke* atau *petcoke*, biomassa dapat digasifikasi. Proses ini melalui beberapa proses kimia dalam reaktor gasifikasi (*gasifier*). Mula-mula bahan bakar yang sudah diproses secara fisis diumpungkan ke dalam reaktor dan akan mengalami proses pemanasan sampai temperatur reaksi serta mengalami proses pirolisa (menjadi bara api). Kecuali bahan pengotor, bahan bakar bersama-sama dengan oksigen dikonversikan menjadi hidrogen, karbon monoksida dan metana.

2.1.1 Updraft Gasifier

Updraft gasifier merupakan salah satu jenis bentuk reaktor gasifikasi yang banyak digunakan. Pada *gasifier* jenis ini, udara masuk melalui bagian bawah *gasifier* melalui *grate*. Aliran udara ini berlawanan arah (*counter current*) dengan aliran bahan bakar yang masuk dari bagian atas *gasifier*. Gas produser yang dihasilkan keluar melalui bagian atas *gasifier* sedangkan abu diambil pada bagian bawah *gasifier*. Reaksi pembakaran pada *gasifier* ini terjadi di dekat *grate* kemudian diikuti reaksi reduksi (proses gasifikasi). Reaksi reduksi tersebut akan menghasilkan gas bertemperatur tinggi. Gas hasil reaksi (gas produser) tersebut bergerak ke bagian atas *gasifier* menembus unggun bahan bakar menuju daerah yang bertemperatur lebih rendah. Pada saat menembus unggun bahan bakar, gas produser akan kontak dengan bahan bakar yang turun sehingga terjadi proses pirolisis dan pertukaran panas antara gas dan bahan bakar. Panas *sensible* yang diberikan gas digunakan bahan bakar untuk pemanasan awal dan pengeringan bahan bakar. Proses pirolisis dan pengeringan tersebut terjadi pada bagian teratas *gasifier*. Updraft *gasifier* mencapai efisiensi tertinggi ketika gas panas yang

dihasilkan meninggalkan *gasifier* pada temperatur rendah. Gambaran tahap-tahap yang terjadi pada *updraft gasifier* dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Updraft Gasifier

Updraft gasifier memiliki kekurangan dan kelebihan. Kekurangan yang dimiliki *updraft gasifier* adalah tingginya jumlah uap tar yang terkandung di dalam gas keluaran dan kemampuan gas produser membawa muatan rendah. Sedangkan keuntungan pemakaian *updraft gasifier* adalah gasifier tipe ini memiliki mekanisme kerja yang jauh lebih sederhana, memiliki toleransi kekasaran bahan bakar yang lebih baik, kemampuannya mengolah jenis bahan bakar (terutama batubara) kualitas rendah, arang (*charcoal*) habis terbakar, suhu keluaran rendah, dan efisiensi tinggi

2.2. Pengertian Ejector Udara

Pompa dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian berdasarkan bagaimana energy itu ditambahkan pada fluida kerjanya, yaitu:

a. Pompa dinamik

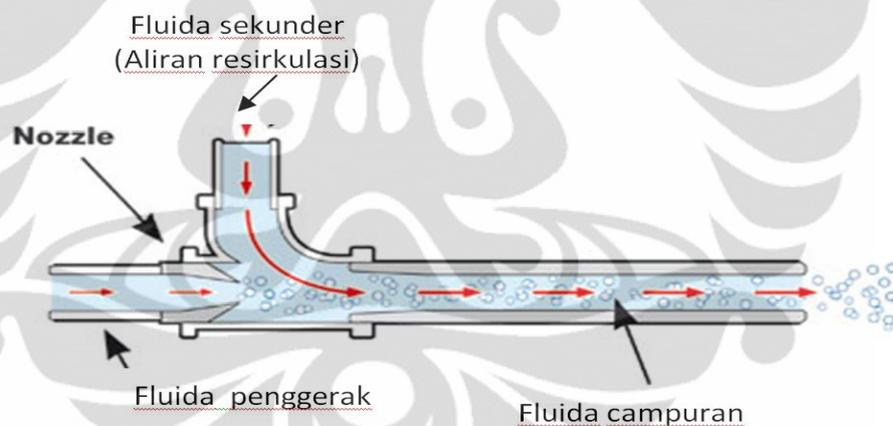
Energy secara kontinu ditambahkan untuk menaikkan kecepatan fluida di dalam pompa setelah melewati bagian keluaran pompa akan terjadi penurunan kecepatan dan kenaikan tekanan. Hal inilah yang akan menyebabkan suatu pompa dapat membawa sejumlah fluida kesuatu tempat dengan mengadakan perbedaan

tekanan, sesuai dengan prinsip bahwa fluida mengalir dari tekanan tinggi ke tekanan rendah

b. Pompa perpindahan

Energi secara periodik ditambahkan dengan memberikan suatu gaya pada fluida di dalam pompa . selanjutnya akan dihasilkan suatu penambahan tekanan yang akan memindahkan fluida melalui katub atau saluran pompa ke luar.

Ejector merupakan salah satu jenis dari pompa dinamik yang menggunakan prinsip jet (*jet pump*) sebagai tenaga penggerak, yaitu menciptakan ruang bertekanan rendah (vakum) oleh fluida penggerak (*motive fluid*), sehingga fluida suction/sekunder yang berada pada tekanan lebih tinggi/ atmosfer akan terhisap ke ruang vakum tersebut. Selanjutnya, terjadi transfer momentum pada saat fluida sekunder dan fluida penggerak bertemu pada ruang percampuran (*mixing chamber*), sehingga fluida sekunder akan bergerak ke bagian keluaran dari pompa bersama sama dengan fluida penggerak seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2



Gambar 2. 2 aliran fluida pada ejector

Meskipun unjuk kerja dari pompa jenis ini cukup rendah, namun pompa ini masih digunakan secara luas diberbagai bidang terutama dalam bidang industry. Hal ini disebabkan karena konstruksi yang sederhana dan juga mudah dalam pengoperasiannya. Selain itu jenis pompa ini tidak memiliki bagian yang bergerak sehingga tidak diperlukan pelumasan, berkurangnya getaran, dan dapat didesign dengan berat yang relative lebih ringan serta kemudahan dalam proses maintenacenyanya.

Ejector dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu *water jet pump*, *air siphon* (*air jet pump*) dan *steam ejector*. *Water jet pump* mempergunakan air sebagai fluida penggerak. *Steam ejector* menggunakan uap air sebagai fluida penggerak. Sedangkan air jet pump menggunakan udara sebagai media penggerak.

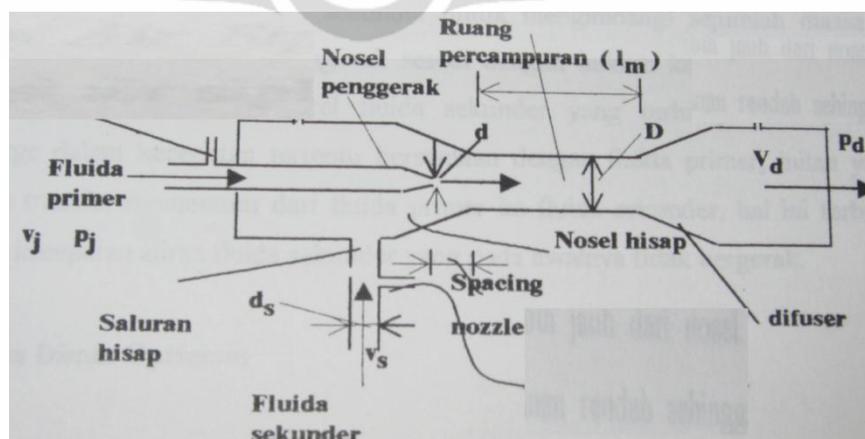
Dilihat dari unjuk kerjanya, *water jet pump* mempunyai tingkat efisiensi yang lebih baik dibandingkan air jet pump. Hal ini terjadi karena udara sebagai fluida penggerak menghabiskan sebagian energinya untuk melawan tegangan permukaan yang dimiliki fluida cair dan momentum dari udara yang relative kecil. Sampai saat ini, unjuk kerja maksimum air shipon berkisar pada 30 % [sanger,1970]

Beberapa jenis aplikasi ejector antara lain, :

- Engine space cooling
- Pendinginan exhaust gas
- Infrared signature suppression
- Noise reduction
- Refrigeration
- Pemompaan fluida berbahaya, dll

2.3. Komponen Ejector

Air ejector terdiri atas : nozzle penggerak (*driving nozzle*), saluran hisap (*suction nozzle*), ruang percampuran (*mixing chamber*) dan diffuser (optional) Berikut adalah contoh konstruksi air ejector pada umumnya:



Gambar 2. 3 Komponen ejector

Ada dua type utama ejector didasarkan pada konsep percampuran pada area keluar nozel primer Seperti pada Gambar 1. Pertama *constan mixing area* (CMA) ejector dimana keluaran dari nozzle primer diletakkan pada *throat* dengan area konstan. Kedua *constan pressure mixing* (CPM) ejektor dimana keluaran dari nozzle primer diletakkan pada throat dengan area convergen. Penggunaan kedua tipe disesuaikan situasi penggunaan. CMA dapat memindah lebih banyak laju aliran massa dari pada CPM akan tetapi CPM lebih sesuai beroperasi pada renge tekanan condensasi yang lebih besar (Pianthong ,2007).

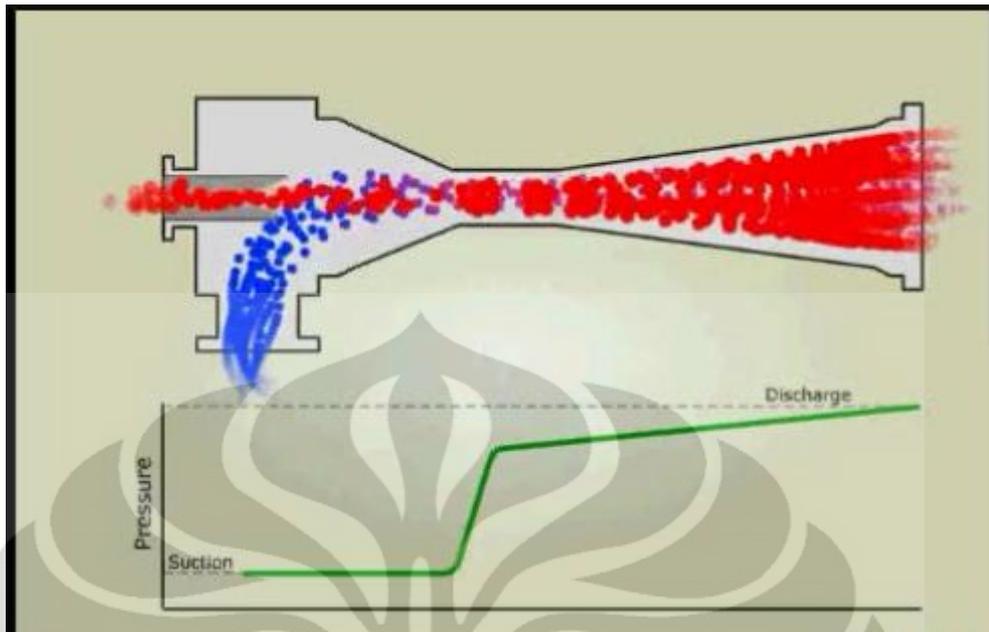


Gambar 2. CPM ejector (a) dan CMA ejector (b)

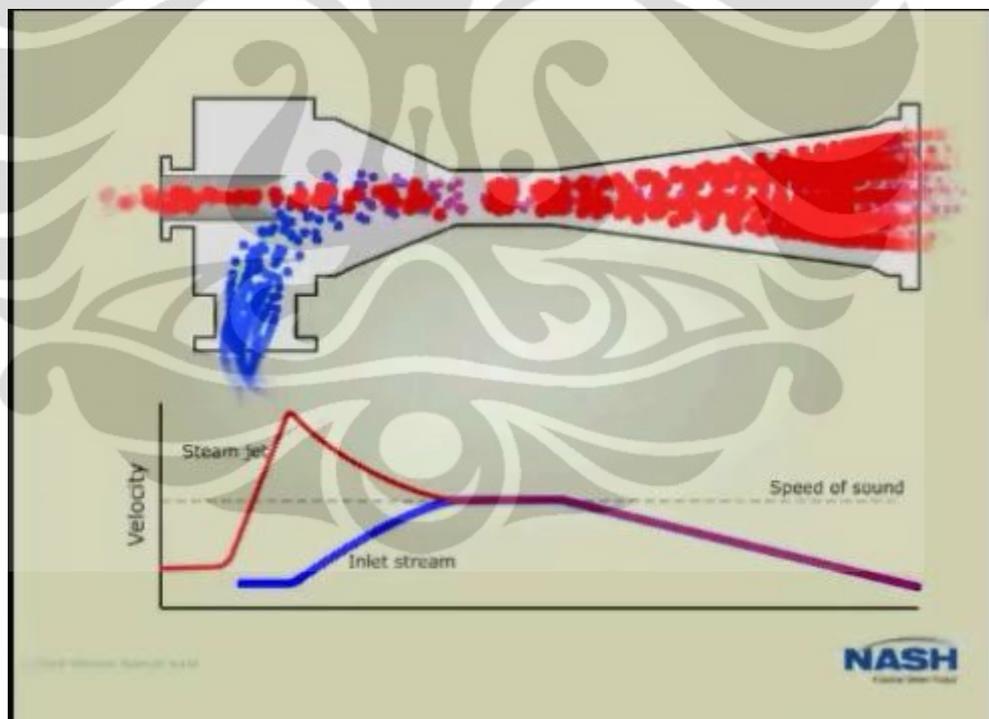
2.4. Prinsip Kerja Ejector

Udara dikompresi untuk menghasilkan tekanan yang tinggi yang kemudian oleh nozel tekanan tinggi itu di konversi menjadi kecepatan tinggi. akibat kecepatan udara yg tinggi maka terciptalah ruang vakum di daerah sekitar nozzel. Ruang vakum tersebut menyebabkan fluida sekunder yang tekanan awalnya lebih tinggi (tekanan atmosfer) tertarik dan bersama-sama aliran fluida primer masuk kedalam ruang percampuran. Hal ini sesuai dengan sifat fluida yang selalu bergerak ketekanan yang lebih rendah.

Setelah mengalami percampuran, fluida campur akan meninggalkan air ejector melalui diffuser yang berfungsi menaikkan tekanan statis dan menurunkan kecepatan aliran sesuai dengan yang kita inginkan. Nozzel penggerak air ejector dibuat konvergen agar dicapai kecepatan maksimum pada ujung nozel sesuai teori kontinuitas dan teori jet.



Gambar 2. 5 Profile perubahan tekanan sepanjang ejector



Gambar 2. 6 Profile perubahan kecepatan sepanjang ejector

Pada proses ini terjadi transfer momentum dari udara kecepatan tinggi (nozle penggerak) kepada aliran fluida skunder. Akibat transfer tersebut fluida penggerak yang berkecepatan tinggi ketika keluar dari nozel penggerak, akan mengalami penurunan kecepatan. Semakin jauh dari nosel penggerak kecepatan fluida

penggerak terus menurun. Berlawanan dengan fluida pnggerak, fluida skunder yang kecepatan rendah ketika memasuki saluran hisap akan terus bertambah kecepatannya seiring semakin jauh jaraknya dari nozel penggerak.

Untuk daerah sekitar nozel penggerak dimana kecepatan partikel fluida relative tinggi dibandingkan dengan daerah yang lebih jauh dari nozel maka sesuai hukum kekekalan momentum jumlah massa fluida penggerak didaerah sekitar nozel lebih sedikit dibandingkan dengan daerah yang lebih jauh dari nozel. Akibatnya fluida primer disekitar nozel bertekanan rendah sehingga akan menghisap sejumlah massa partikel fluida sekunder untuk mengimbangi sejumlah massa di daerah yang lebih jauh dari nozel penggerak. Kemudian massa fluida sekunder yang terhisap akan dikeluarkan ke discharge dalam kecepatan tertentu bersamaan dengan fluida primer. Inilah yang disebut transfer momentum

2.5. Teori Ejector

Untuk menganalisa persoalan aliran fluida pada ejector, umumnya digunakan persamaan kontinuitas dan persamaan Bernouli

2.5.1 Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas suatu aliran dapat ditentukan dari hukum kekekalan massa, yaitu massa dalam suatu system kontrol volume nilainya selalu konstant. Artinya, setiap laju aliran massa yang menuju dan meninggalkan sistem nilainya selalu diikuti oleh laju perubahan massa di dalam sistem. Diantara dua tempat misalnya a dan b, maka berlaku persamaan kontinuitas yang dapat ditulis dalam bentuk :

$$\frac{\partial m_a}{\partial t} = \frac{\partial m_b}{\partial t}$$

$$\rho_a A_a U_a = \rho_b A_b U_b$$

Jika $\rho_a = \rho_b$ maka persamaan diatas bisa disederhanakan menjadi

$$A_a U_a = A_b U_b$$

Di dalam ejector terdapat penambahan massa dari pipa masuk (suction pipe), sehingga massa yang keluar dari ejector = m_c merupakan penjumlahan dari massa fluida primer m_a dan sekunder m_b

$$\frac{\partial m_a}{\partial t} = \frac{\partial m_b}{\partial t}$$

$$A_c U_c = A_a U_a + A_b U_b$$

atau

$$Q_c = Q_a + Q_b$$

2.5.2 Persamaan Bernoulli

Hukum Bernoulli menjelaskan tentang konsep dasar aliran bahwa peningkatan kecepatan pada suatu aliran fluida (zat cair atau gas), akan mengakibatkan penurunan tekanan pada zat cair atau gas tersebut. Artinya, akan terdapat penurunan energi potensial pada aliran fluida tersebut.

Konsep dasar ini berlaku pada fluida aliran termampatkan (*compressible flow*), juga pada fluida dengan aliran tak-termampatkan (*incompressible-flow*). Hukum Bernoulli sebetulnya dapat dikatakan sebagai bentuk khusus dari konsep dalam mekanika fluida secara umum, yang dikenal dalam persamaan Bernoulli.

Persamaan Bernoulli menyatakan bahwa pada suatu aliran fluida yang tertutup, banyaknya energi suatu fluida di suatu titik sama dengan dengan banyaknya energi di titik lain.

Di awal dikatakan bahwa hukum Bernoulli berlaku pada dua jenis aliran fluida, yaitu termampatkan dan tak-termampatkan. Suatu fluida dengan aliran termampatkan merupakan suatu aliran fluida yang mempunyai karakteristik khusus adanya perubahan kerapatan massa (*density*) pada sepanjang alirannya.

Contoh aliran fluida termampatkan adalah udara atau gas alam. Adapun fluida dikatakan mempunyai aliran tak-termampatkan adalah fluida yang mempunyai karakteristik tidak terdapat perubahan kerapatan massa (*density*) pada sepanjang aliran fluida tersebut. Contohnya adalah air, macam-macam minyak, campuran lemak dan larutan basa (emulsi).

Hukum Bernoulli dapat dianggap sebagai konsep dasar yang menyatakan kekekalan energi, penjumlahan energi kinetik dan energi potensial pada suatu aliran fluida akan konstan di setiap titik.

.Ada tiga energi yang terdapat pada fluida aliran tertutup:

1. Energi potensial

Energi yang dimiliki karena pengaruh ketinggian dan gaya gravitasi serta massa dari fluida itu sendiri

2. Energi kinetik

Energi yang dimiliki karena pergerakan aliran (kecepatan massa partikel fluida)

3. Energi tekanan

Disebut juga energi aliran atau kerja aliran. Yaitu suatu jumlah kerja yang dibutuhkan untuk memindahkan elemen fluida melalui atau melampaui suatu penampang terhadap perlawanan tekanan

$$\text{kerja} = Fl = p.A.l = p.v$$

$$m = \rho.v$$

$$v = \frac{m}{\rho}$$

$$pv = p \frac{m}{\rho}, \gamma = \rho g$$

$$\text{energi aliran} = p \frac{mg}{\gamma}$$

Kalau ketiga bentuk energi disatukan

$$\frac{p \frac{mg}{\gamma} + \frac{mv^2}{2} + mgz}{mg} = \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + z$$

Merupakan energy yang dipunyai oleh fluida per satuan panjang beratnya pada saat fluida tersebut bergerak pada suatu system. Karena persamaan bernoulli memakai satuan meter maka umumnya energy tersebut disebut dengan “head”.

$$\text{Total head} = \frac{p}{\gamma} (\text{pressurehead}) + \frac{v^2}{2g} (\text{velocityhead}) + z (\text{elevation})$$

Persamaan aliran dua buah titik

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2$$

Persamaan Bernoulli akan diperoleh dari persamaan Euler dan persamaan Hukum II Newton dengan asumsi :

- aliran tunak (steady)
- aliran tak mampu mampat (incompressible)
- aliran tanpa gesekan (inviscid/non viscous)
- tidak ada perpindahan panas atau kalor diantara kedua titik

2.5.2.1 Aplikasi Persamaan Bernouli Pada Ejector

Persamaan Bernouli menjadi dasar teori ejector. Pada dasarnya persamaan Bernouli diterapkan pada fluida incompressible, namun persamaan ini masih bisa digunakan untuk fluida compressible seperti udara dan gas pada kondisi kecepatan aliran yang rendah atau bilang Mach yang rendah ($M < 0.3$)

Much Number adalah rasio perbandingan antara kecepatan actual gas dengan kecepatan suara pada gas tersebut.

$$M = V / c$$

M = Mach Number

V = Aktual velocity

C = kecepatan suara

dimana

$$c = \sqrt{kRT}$$

k = ratio specific heat

R = konstanta gas

T = temperatur absolute

Pada ejector tekanan statik pada daerah masuk (entrance) sampai ke nozel dirubah menjadi energi kinetik dengan membiarkan fluida mengalir secara leluasa melalui nozel tipe konvergen. Kecepatan fluida aliran tinggi yang diinjeksikan melalui nozzel penggerak akan menarik fluida hisap karena teknan di disekitar nozzel akan menjadi vakum sedangkan tekanan fluida hisap sebesar tekanan atmosfer. Fluida hisap akan bergerak dengan peningkatan kecepatan Vs. fluida penggerak dan hisap akan bercampur di ruang percampuran, kemudian akan menghasilkan aliran fluida campuran dengan kecepatan antara V_t (intermediate

velocity) di ujung mixing tube. Selanjutnya jika terdapat difuser maka difuser akan merubah kecepatan yang ada menjadi tekanan statis pada keluaran ejector dengan kecepatan V_d .

Untuk fluida penggerak yang melewati nozel ejector

$$\frac{p_j}{\gamma_1} + \frac{v_n^2}{2g} = \frac{p_s}{\gamma_1} + \frac{v_j^2}{2g}$$

Pada hulu nozzle jet, seluruh energy dianggap sebagai static head dan kecepatan di nozzle (V_n) sangat kecil dibandingkan dengan kecepatan di ujung nozel V_j maka V_n diabaikan.

$$\frac{v_j^2}{2g} = \frac{p_j - p_s}{\gamma_1}$$

Persamaan ini disebut sebagai tekanan operasi.

Sedangkan pada diffuser dengan aliran fluida campuran adalah

$$\frac{p_s}{\gamma_2} + \frac{v_t^2}{2g} = \frac{p_d}{\gamma_2} + \frac{v_d^2}{2g}$$

Pada discharge, tekanan telah diubah menjadi tekanan statis, maka $V_d = 0$, sehingga persamaan menjadi

$$\frac{v_t^2}{2g} = \frac{p_d - p_s}{\gamma_2}$$

Persamaan ini disebut dengan tekanan keluaran (discharge head)

Perbandingan antara tekanan keluaran dan tekanan operasi disebut juga rasio head tekanan, dapat ditulis sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{v_t^2 / 2g}{v_j^2 / 2g} = \frac{(p_d - p_s) / \gamma_2}{(p_j - p_s) / \gamma_1}$$

Persamaan ratio head merupakan perbandingan antara kenaikan tekanan hantar dengan kenaikan tekanan masukan, disebut juga dengan rasio daya guna yang dihasilkan. [Blevins, 1985]

2.5.3 Entrainment Ratio

Steam Ejector atau air ejector sudah cukup lama dimanfaatkan di dunia industri. Salah satu yang pertama mengembangkan teknologi ini adalah Keenan dan Neumann. Mereka melakukan penelitian terhadap simple air ejector dengan

constant mixing chamber dan tanpa adanya bagian difuser. Mereka bekerja dengan mengembangkan metode analisa teoritis untuk performa ejector dan membandingkannya dengan hasil eksperimen. Mereka adalah yang pertama mengembangkan one-dimensional flow theory berdasarkan hukum gas ideal yang berhubungan dengan hukum kekekalan massa, momentum dan energy. Pada penelitian selanjutnya Keenan, Neumann, lebih mengembangkan lagi dengan penggunaan diffuser. Hasil dari penelitian mereka menunjukkan bahwa adanya entrainment rate sebagai fungsi dari pressure ratio untuk berbagai variasi rasio area yang digunakan.

Entrainment ratio menjadi parameter penting yang menentukan performa dari sebuah ejector. Entrainment ratio adalah perbandingan antara mass flow dari aliran sekunder dengan mass flow dari aliran penggerak (nozzle) . banyak peneliti yang sepakat bahwa kerja pompa dari sebuah ejector adalah perbandingan entrainment rasionya [Maqsood,Asim,2008].

$$\text{Entrainment ratio } R_m = \frac{\text{mass of secondary flow}}{\text{mass of primary flow}} \quad (1)$$

2.5.4 Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds adalah ratio perbandingan gaya inerti aliran fluida terhadap gaya viskositasnya. Bilangan Reynolds memberikan gambaran tipe aliran yang terjadi. Secara matematik bilangan Reynolds dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$Re = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{v \cdot \rho}{\nu}$$

$$v = \text{kecepatan } (m/s)$$

$$D = \text{diameter } (m)$$

$$\rho = \text{density } (kg/m^3)$$

Re < 2000 $\mu = \text{viskositas dinamik } (N \cdot s / m^2)$ untuk aliran laminar

Re > 4000 $\nu = \text{viskositas kinematik } (m^2 / s)$ untuk aliran turbulen

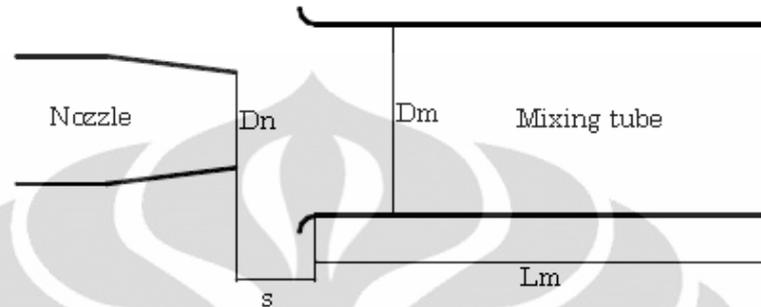
2000 < Re < 4000 adalah aliran transisi

Pada ejector aliran fluida primer yang keluar nozel harus lah turbulen. Untuk pipa maka aliran turbulen dinyatakan oleh bilangan Reynolds diatas 2300. Unjuk kerja ejector menurun drastic bila aliran dikatagoikan laminar [Blevins, 1985]

2.6. Parameter Geometri Desain Ejector

Bentuk geometri dari sebuah ejector sangat mempengaruhi performanya.

Geometri dasar sebuah ejector ditunjukkan seperti pada gambar 2.7 dibawah ini:



Gambar 2. 7 Geometri dasar sebuah ejector

Keterangan:

D_n : Diameter Nozzle

D_m : Diameter Mixing chamber

L_m : Panjang Mixing Chamber

S : Jarak Spacing Nozel

2.6.1 Suction chamber

Suction chamber sebaiknya berbentuk konvergen dengan permukaan yang halus. Bentuk konis maupun bel dapat digunakan untuk menghasilkan aliran sekunder paralel mungkin dengan aliran primer dan juga kehilangan energy akibat gesekan ditekan sekecil mungkin. Nilai sudut yang dibentuk oleh suction chamber dengan garis horizontal berkisar antara $18-30^0$ [Sharma, bangga, 1982]

2.6.2 Panjang ruang percampuran

Mixing chamber L_m yang disarankan untuk mendapatkan unjuk kerja yang baik berkisar antara $5.7D_m-10D_m$ (bonnington, king, 1976; silvester mueler, 1986] pada umumnya dipergunakan $7D_m$

2.6.3 Spacing nozzle

Jarak antara ujung nozel penggerak dengan sisi masuk ruang percampuran disarankan berkisar antara $0.8D_n-2D_n$ [Blevins, 1985]. Ejector dengan spacing nozzle yang besar akan memperpanjang daerah percampuran untuk panjang mixing tube yang sama. Daerah percampuran ini bermula dari ujung keluar nozzle hingga daerah paling ujung luar dari ejector itu. Berat total dari sebuah ejector juga bisa direduksi dengan menaikkan jarak spacing nozzle dan mengurangi panjang dari mixing tubenya[Maqsood,Asim,2008]

2.6.4 Diameter nozel penggerak

Diameter nozzle penggerak umumnya merupakan fungsi dari diameter ruang percampuran D_m . Nilainya berkisar antara $0.14D_m-0.9D_m$

2.6.5 Diffuser

Digunakan mendapatkan kecepatan keluar atau tekanan statis yang diinginkan. Umumnya sudut diffuser yang digunakan 5° dengan panjang $L_m = 7D_m$. ini merupakan karakteristik optimal dari diffuser konis secara umum [Blevins,1985]

2.7. Perhitungan Efisiensi Ejector

Effisiensi dari sebuah ejector adalah rasio perbandingan kerja aliran sekunder terhadap energy kinetic dari aliran jet fluida penggerak. [Mitchell and London [9]].

$$\eta_E = \frac{m_s(P_a - P_2) / \rho_s}{m_p U_p^2 / 2}$$

Pada dasarnya hal ini sama seperti pada efisiensi pompa perpindahan yang membandingkan kenaikan kerja dari aliran fluida dengan besarnya daya mekanik yang diberikan pada pompa. Namun pada ejector, driving force atau energy kinetic pada aliran fluida penggerak pada persamaan diatas, tidak semuanya digunakan untuk menggerakkan fluida sekunder. Sebagian energy kinetic ini berubah menjadi pressure head pada daerah mixing tube dan diffuser. Oleh karena itu, persamaan diatas bisa dimodifikasi menjadi berikut:

$$\eta_E = \Phi \left[\frac{(P_a - P_2) / \rho_s}{\left(\frac{U_p^2}{2} \right) - \left(\frac{(P_a - P_2)}{\rho_p} \right)} \right]$$

Dan bisa disederhanakan menjadi:

$$\eta_E = \Phi T^* \frac{(P_a - P_2)}{q_1 - (P_a - P_2)}$$

Dimana ϕ adalah besar dari entrainment ratio, dan:

$$T^* = \frac{\rho_p}{\rho_s} = \frac{T_s}{T_p}$$

dan q_1 adalah tekanan dinamik pada inlet ejector

$$q_1 = \rho_{1p} \frac{U_{1p}^2}{2}$$

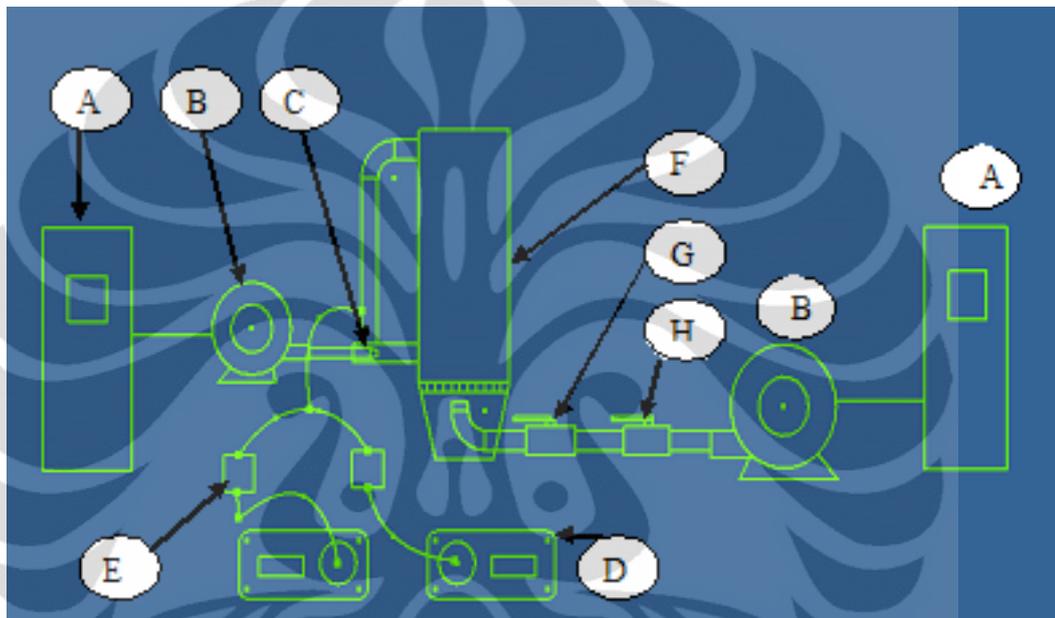
Namun perlu dicatat bahwa persamaan efisiensi ejector diatas masih mengasumsikan tidak adanya losses pada daerah nozzle dan perubahan bentuk energy kinetic pada daerah mixing dan diffuser.

BAB 3

SPEKIFIKASI ALAT DAN PROSEDUR PENGAMBILAN DATA

3.1. Skematika Alat Pengujian

Berikut adalah gambaran sederhana dari skematik instalasi alat uji yang digunakan dalam penelitian ini:



- | | | | |
|----|----------------|----|---------------|
| A. | Power inverter | E. | Cup nebulizer |
| B. | Blower | F. | Reactor |
| C. | Ejector | G. | Exhaust valve |
| D. | Nebulizer | | |
| H. | Control valve | | |

3.2. Peralatan Penelitian

3.2.1 Prototype Reaktor Gasifikasi Tipe Updraft

Prototype reaktor updraft gasifier yang digunakan terbuat dari bahan acrylic dengan penambahan elbow PVC pada setiap perubahan arah aliran yang terjadi. Fabrikasi/pembuatan alat dilakukan di salah satu workshop di dalam negeri.



Gambar3. 1 prototype reaktor updraft

Keterangan:

- A = suction pipe / pipa aliran balik udara dari reactor
- B = Reaktor (tempat terjadinya proses gasifikasi bahan baku pada reactor yang sebenarnya)
- C = Ejector Udara
- D = Pipa Exhaust reactor (pada reactor gasifier yang sebenarnya bagian ini merupakan jalur keluarnya gas produser hasil proses gasifikasi)
- E = Grid (pada reactor gasifier sebenarnya bagian ini berfungsi sebagai dasar peletakan bahan bakar dan juga untuk membagi/ meratakan supply aliran udara dari blower ke setiap bagian gasifier)

3.2.2 Blower Sentrifugal



Gambar3. 2 Blower Udara

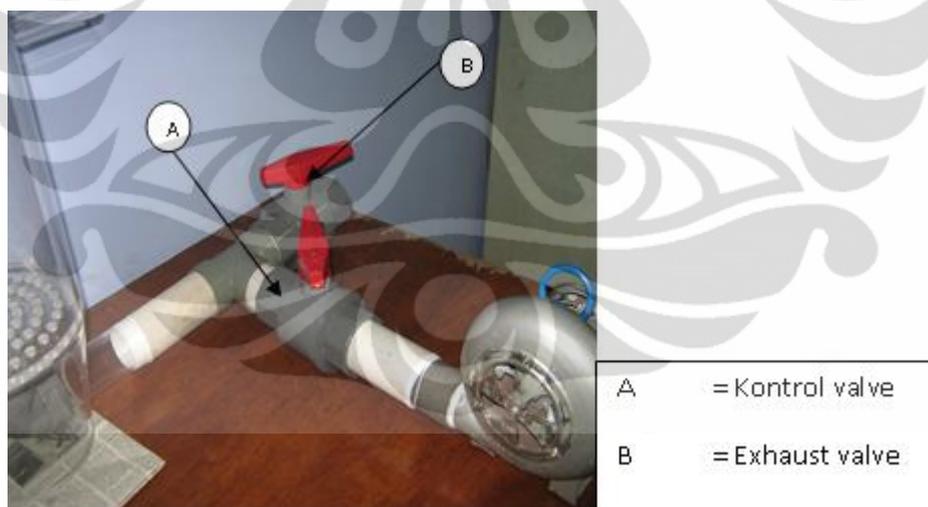
Merupakan alat yang berguna untuk menghasilkan/menyuplai udara ambient dengan kecepatan yang ditentukan. Blower ini dapat digabungkan dengan inverter daya untuk mengatur kecepatan udara yang dihasilkan.

Dalam penelitian digunakan dua buah blower. Blower utama untuk menyuplai udara utama dari bawah reactor, dan blower penyuplai udara untuk nozzle penggerak pada ejector.

Ukuran koneksi blower utama pada pipa PVC agar terhubung dengan reactor adalah sebesar 1.5 inch. Dan blower penggerak ejector memiliki ukuran koneksi dengan pipa aliran udara primer ejector sebesar 1.25 inch.

3.2.3 Kontrol dan Balance Valve

Kontrol dan balance valve diletakan setelah blower utama sebelum masuk kedalam reactor. Kedua alat ini pada dasarnya digunakan untuk membantu kinerja inverter dalam mengatur kecepatan dan jumlah flowrate udara yang di suplai ke dalam reactor. Suplai udara yang dibutuhkan relative kecil namun diperlukan putaran blower yang kencang untuk menjaga kestabilan aliran yang dihasilkan.



Gambar3. 3 Kontrol dan exhaust valve

Balance valve diletakan setelah control valve di daerah setelah percabangan. Balance valve ini akan membagi dan membuang sebagian flowrate udara yang berlebih. Control dan Exhaust valve menggunakan valve PVC ukuran 2 inch

3.2.4 Power inverter

Untuk mengatur kecepatan putaran blower digunakan Power inverter. Alat ini berfungsi untuk mengatur frekuensi listrik yang disuplai ke blower. Power inverter menggunakan produk dari PYRAMID. Jenis inverternya sendiri adalah OMRON SYSDRIVE 3G3EV



Gambar 3-5. Power Inverter

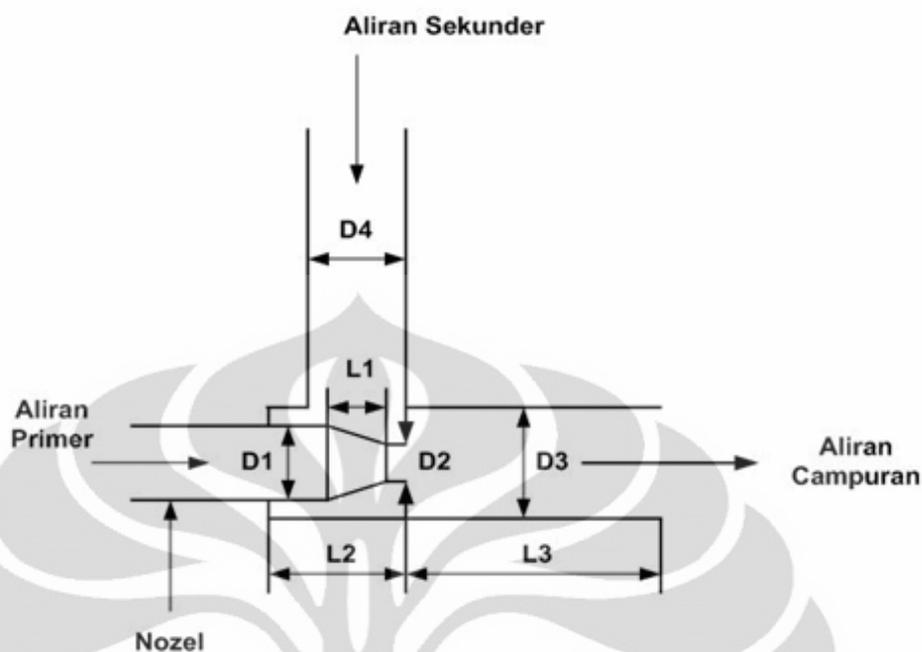
3.2.5 Ejector udara

Ejector udara merupakan alat utama dalam penelitian ini. Seperti yang telah dijelaskan dalam bab dasar teori sebelumnya, ejector adalah salah satu jenis pompa dinamik, udara dikompresi untuk menghasilkan tekanan yang tinggi yang kemudian oleh nozel tekanan tinggi itu di konversi menjadi kecepatan tinggi. akibat kecepatan udara yg tinggi maka terciptalah ruang vakum di daerah sekitar nozzel. Ruang vakum tersebut menyebabkan fluida sekunder yang tekanan awalnya lebih tinggi (tekanan atmosfer) tertarik dan bersama-sama aliran fluida primer masuk kedalam ruang percampuran. Hal ini sesuai dengan sifat fluida yang selalu bergerak ketekanan yang lebih rendah.

Berikut adalah skema dan dimensi dari ejector udara yang digunakan;

Dimensi	Panjang (cm)	Dimensi	Diameter (cm)
L1	4	D1	2.5
L2	7.5	D2	1.5
L3	7.5	D3	5
		D4	5

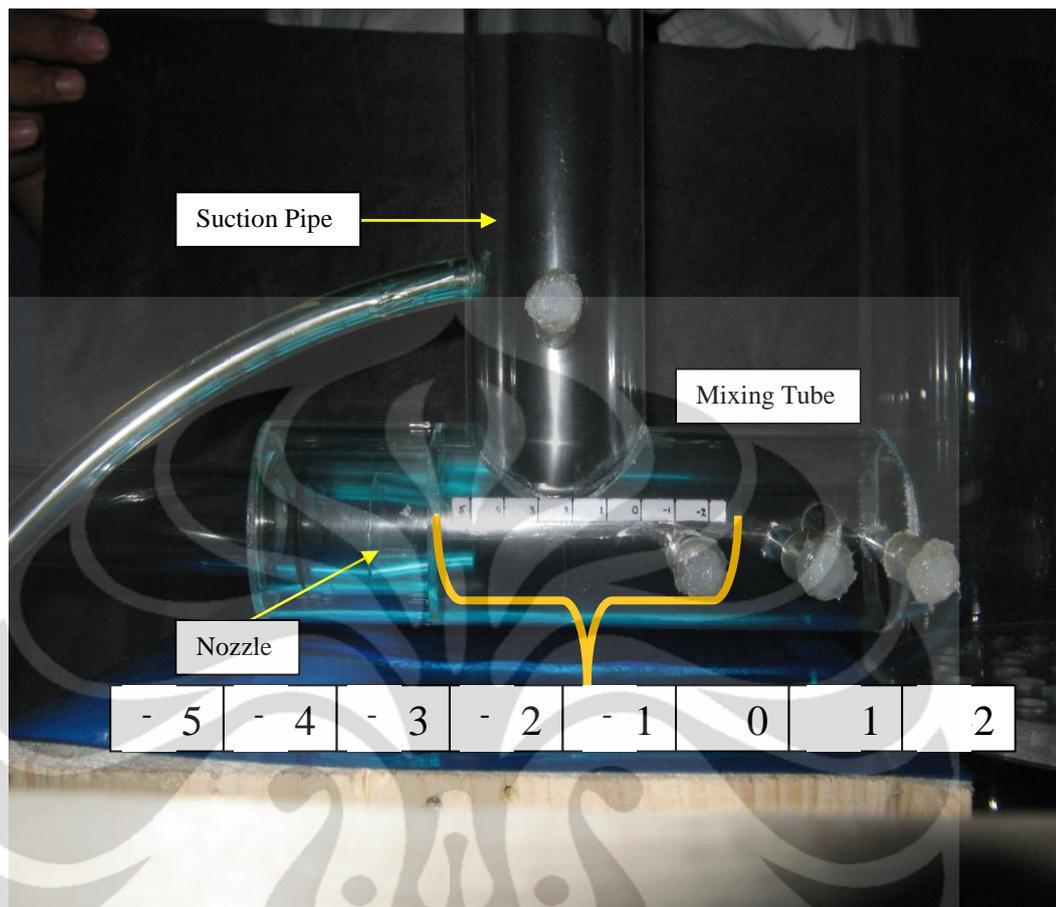
Tabel 1



Gambar 3-6. Dimensi Ejector Udara

Aliran primer menggunakan udara yang disuplai oleh blower. Aliran sekunder adalah udara yang dihisap dari bagian atas reactor gasifikasi. Diameter suction pipe D_4 dan daerah percampuran D_3 yang digunakan sebesar 50 mm. Nozzle yang digunakan berbentuk konvergen untuk mendapatkan kecepatan keluaran nozzle yang optimum. Diameter nozzle yang di pakai sebesar 16 mm.

pipa percampuran atau mixing tube yang digunakan memiliki panjang 75 mm. Namun dalam percobaan ini jarak spacing nozzle atau jarak antara ujung nozzle dengan ujung mixing tube bisa divariasikan, sehingga daerah percampuran antara fluida primer dan fluida sekunder pun bervariasi. Terdapat 8 variasi spacing nozzle, 5 posisi setiap penambahan 10 mm di bagian kiri dari ujung mixing tube menjauhi reaktor, tepat pada ujung mixing tube dan 2 posisi setiap penambahan 10 mm di sebelah kanan mixing tube mendekati reaktor gasifikasi.



Gambar 3-7. Variasi Posisi Nozzle

Nozzle digerakan secara manual, untuk menghindari terjadinya kebocoran aliran keluar reactor, digunakan dua buah sill karet di sepanjang pipa aliran primer sebelum ke nozzle.

Pada pemilihan ejector ini tidak digunakan diffuser. Pada proses gasifikasi yang sesungguhnya tar yang akan di hisap dan dipompa ulang ke dalam reactor merupakan campuran kompleks hidrokarbon yang mudah berkondensasi. Keberadaan diffuser di tiadakan untuk mempersingkat jalur atau saluran yang harus dilewati oleh aliran sekunder gas yang mengandung banyak tar tersebut, sehingga suhu tar tidak turun terlalu banyak dan berkondensasi di bagian pompa ejector. jika tidak, tar yang menumpuk disaluran ini akan mengganggu kerja ejector dan menurunkan kinerja dari ejector tersebut.

Pada umumnya diffuser merupakan optional dari pemanfaatan sebuah system ejector. Diffuser digunakan mendapatkan mengurangi kecepatan keluar fluida atau menaikkan kembali tekanan statis seperti yang diinginkan. Namun dalam

aplikasi ejector pada reaktor gasifikasi ini kecepatan fluida relative sudah cukup sehingga tidak perlu juga ditambahkan diffuser dalam system.

3.2.6 Nebulizer



Gambar 3-8. Nebulizer

Nebulizer merupakan alat yang menggunakan prinsip atomisasi untuk menghasilkan partikel-partikel kecil dari fluida. Nebulizer digunakan untuk memproduksi smoke / asap yang akan dilairkan kedalam pipa reaktor ejector untuk mendapatkan visualisasi aliran udara balik / aliran sekunder yang dihisap oleh ejector. Nebulizer yang digunakan adalah OMRON tipe NE-C28

3.2.6 Lampu Halogen

Lampu halogen 400 watt digunakan sebagai satu satunya sumber cahaya untuk proses pengambilan visualisasi aliran balik yang melewati ejector. selain itu juga digunakan box lampu dari bahan papan untuk membatasi/ membuat layer cahaya yang keluar dari lampu halogen. Jarak spasi antar papan untuk keluarnya cahaya adalah 10 mm.



Gambar 3-9. Lampu Halogen 400 Watt & Box Lampu

3.2.7 Kamera digital

Kamera digital digunakan untuk membantu mengambil video aliran udara balik yang dihisap oleh ejector udara. Kamera yang digunakan adalah jenis kamera pocket CANON POWERSHOT A470

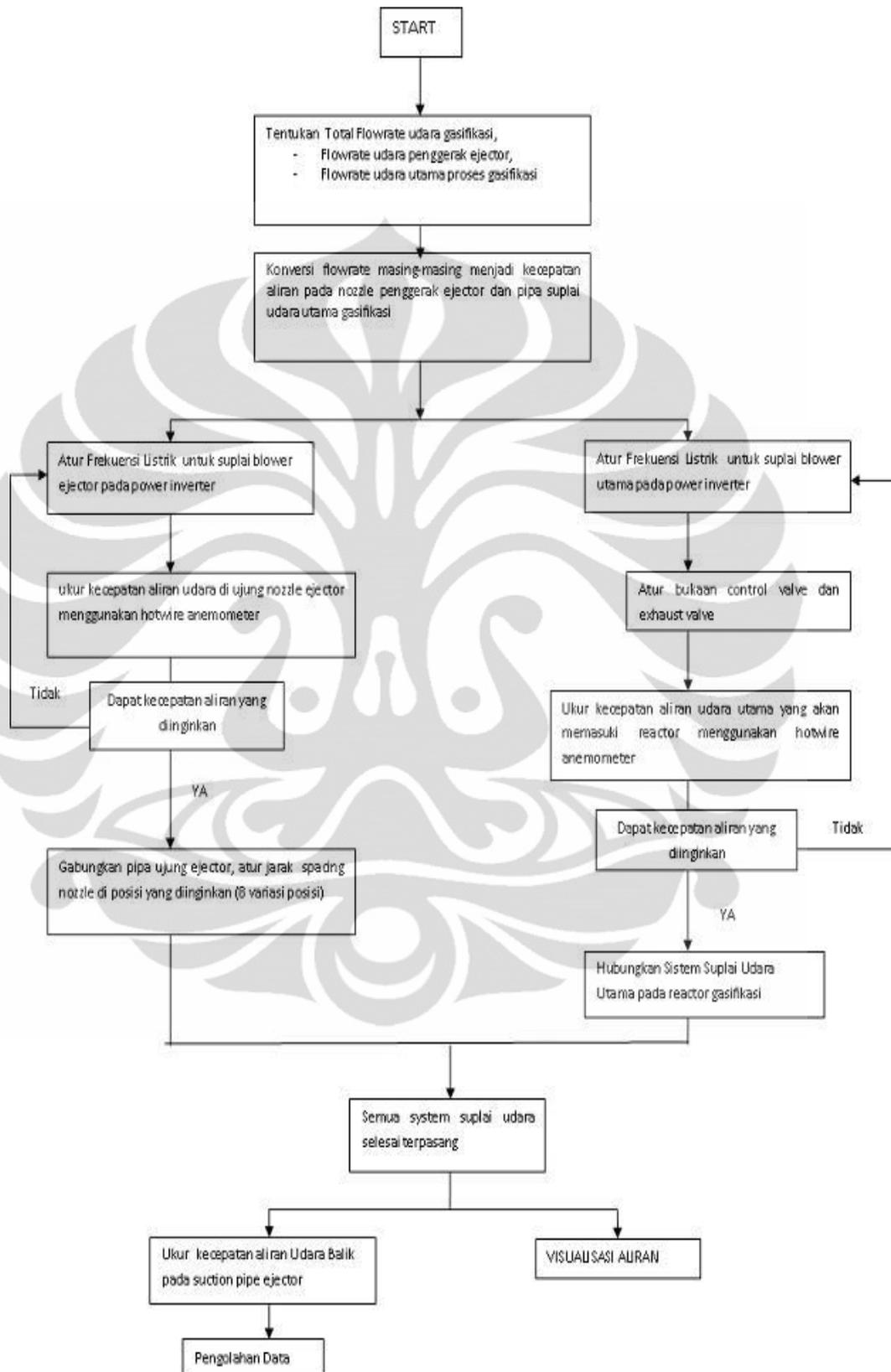
3.2.8 Hot wire Anemometer



Gambar 3-10. Hot Wire Anemometer

Pengukuran kecepatan udara menggunakan Hot Wire Anemometer. Hot wire anemometer jenis Lutron AM-4204 ini dapat menghitung kecepatan aliran dari 0 – 20 m/s. kecepatan udara yang diukur antara lain kecepatan udara masuk dari blower utama, kecepatan nozzle ejector dan kecepatan aliran fluida sekunder di suction pipe.

3.3 Metodologi Penelitian



Gambar 3-11 Diagram Alir Prosedur Percobaan

3.4. Prosedur Penelitian

Terdapat dua buah jenis percobaan yang dilakukan, yaitu pengambilan data kecepatan udara sekunder menggunakan Hotwire anemometer dan visualisasi aliran balik yang melalui ejector. Setiap percobaan dilakukan dengan melakukan variasi terhadap beberapa parameter, yaitu:

- 8 variasi posisi ujung nozel ejector terhadap daerah mixing chamber, yaitu satu titik tepat di ujung awal daerah mixing chamber dan kemudian setiap penambahan 1 cm jarak menjauhi daerah mixing chamber (menjauhi reaktor) hingga didapat 5 buah titik uji, serta 2 titik setiap penambahan 1 cm jarak kedalam daerah mixing chamber (mendekati reaktor).
- 5 variasi total flowrate udara yang masuk kedalam reaktor (gabungan antara flowrate dari blower utama dan blower untuk nozzle ejector) yaitu 160, 180, 200, 240 dan 300 liter per menit udara. Yang selanjutnya dilakukan variasi kecepatan pada blower utama dan blower ejector untuk mendapatkan masing-masing total flowrate tersebut

3.4.1 Prosedur Pengambilan Data Kecepatan Aliran Balik

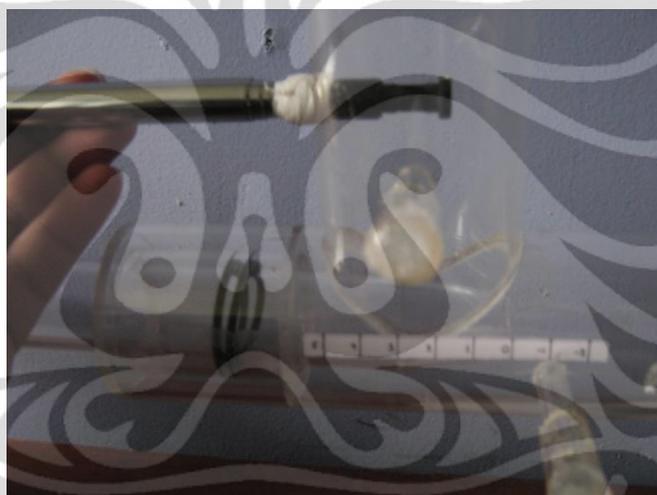
Kecepatan udara balik dan kecepatan aliran keluar reaktor di ambil di tiga titik, yaitu satu pada bagian tengah pipa dan dua lainnya pada bagian sisi pipa dengan menggunakan hot wire anemometer.



Gambar 3-12. Prosedur pengambilan data kecepatan aliran udara utama



Gambar 3-13 Prosedur pengambilan data kecepatan aliran udara pada ujung nozzle ejector



Gambar 3-14. Contoh pengambilan data kecepatan aliran udara balik pada posisi nozzle tepat pada ujung pipa percampuran

3.4.2 Prosedur Visualisasi Aliran

Visualisasi aliran dilakukan dengan cara pembuatan smoke atau kabut yang dialirkan kedalam pipa hisap / suction pipe ejector tempat mengalirnya aliran udara balik dari bagian atas reactor gasifikasi.

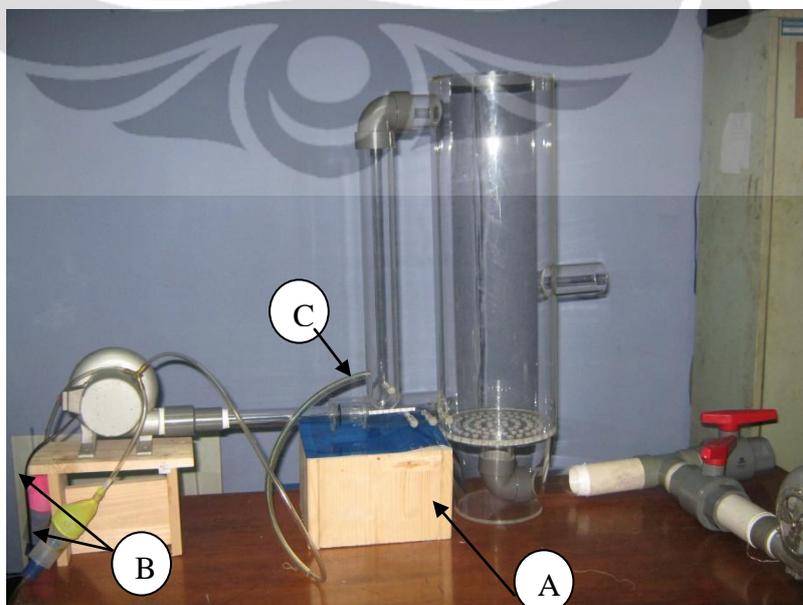
Smoke ini dihasilkan melalui alat nebulizer, seperti yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya. Alat ini mempunyai beberapa komponen, diantaranya adalah portable compressor yang bekerja dengan daya 1000 Watt untuk udara menghasilkan tekanan tinggi yang digunakan untuk proses atomisasi. Fluida yang akan dikabutkan ditempatkan pada nebulizer cup yang memiliki bentuk

sedemikian rupa sehingga pada saat udara bertekanan tinggi memasuki cup akan terjadi proses atomisasi dan terbentuklah kabut.

Untuk membuat kualitas kabut yang baik dan cukup pekat untuk divisualisasikan maka digunakan dua buah nebulizer. Kabut dari kedua cup nebulizer digabungkan melalui selang sebelum dimasukkan ke dalam lubang di suction pipe reactor. Sebelumnya cup nebulizer di isolasi menggunakan balon karet untuk menghindari terjadinya kebocoran kabut. Fluida yang diatomisasi oleh nebulizer adalah jenis olive oil. Sebelum semua blower (blower ejector dan blower utama) bekerja maka kabut dari nebulizer dialirkan terlebih dahulu sampai kondisi reactor terisi penuh oleh kabut.

Dari segi pencahayaan, visualisasi bisa dilakukan dengan membatasi jumlah cahaya yang ada di sekitar daerah uji. Satu satunya sumber cahaya berasal dari sinar lampu halogen 400 watt yang diletakan tepat dibawah ejector udara. Lampu halogen ditutup box lampu seperti dijelaskan sebelumnya untuk membuat satu layer cahaya saja. Selain itu digunakan bantuan plastic mika untuk memfilter dan memberikan efek warna lebih jelas pada aliran. Percobaan dilakukan pada malam hari untuk optimasi gambar yang diperoleh.

Video diambil menggunakan kamera digital CANON POWERSHOT A470. Setelah data didapatkan maka dilakukan image processing agar bisa dilakukan analisa kuantitatif terhadap pola aliran balik yang terjadi.



Gambar 3-15. Skematik Alat Uji Proses Visualisasi

- A = Sistem Pencahayaan (Lampu halogen dalam box dan plastic mika biru)
- B = Nebulizer Cup
- C = Selang Suplai Kabut



BAB 4

HASIL DAN ANALISA

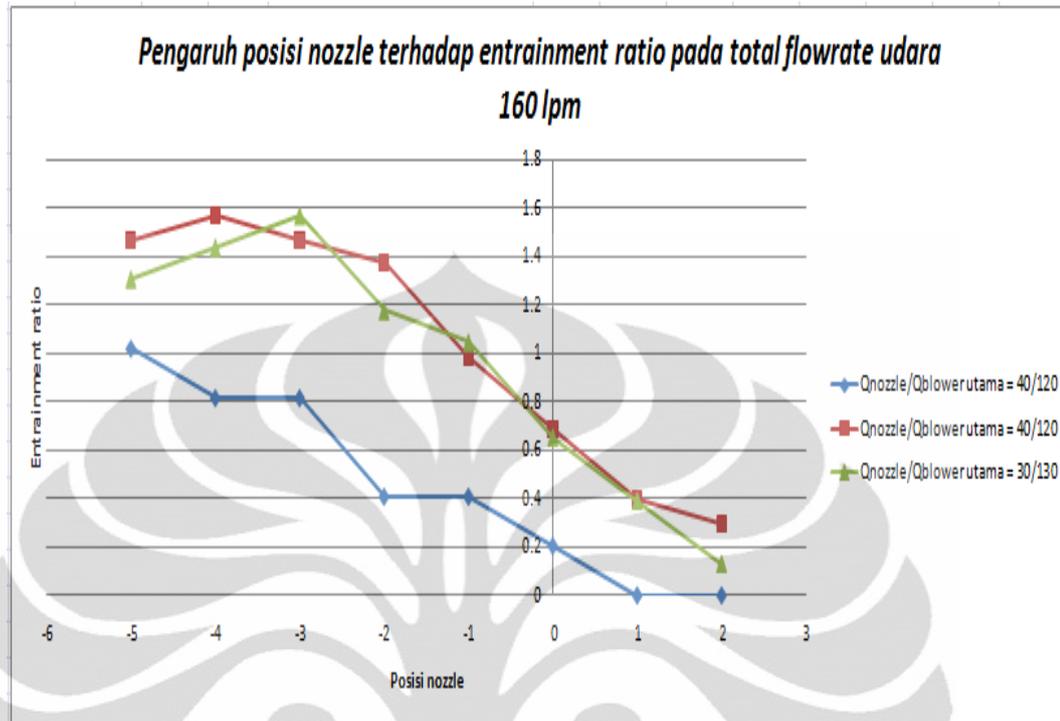
4.1 Overall balance flowrate pada prototype reactor

FLOWRATE MASUK REAKTOR			RATA-RATA FLOWRATE EXHAUST REAKTOR PADA POSISI SPASI NOZZEL							
nozzel ejector	Blower Utama	Total	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2
20	140	160	129.525	137.37497	129.5249741	129.525	125.6	125.6	125.6	133.45
40	120	160	121.675	121.67498	121.6749757	125.6	125.6	121.675	117.75	113.825
30	130	160	157	153.07497	145.224971	149.15	149.15	145.225	153.075	145.225
30	150	180	157	153.07497	153.0749694	153.075	153.075	153.075	153.075	153.075
40	140	180	157	145.22497	153.0749694	157	157	157	157	157
50	130	180	137.375	129.52497	129.5249741	129.525	129.525	129.525	129.525	129.525
60	120	180	149.15	149.14997	149.1499702	145.225	137.375	137.375	149.15	149.15
30	170	200	164.85	172.69997	168.7749662	168.775	164.85	164.85	164.85	160.925
40	160	200	168.775	164.84997	164.849967	164.85	164.85	164.85	164.85	164.85
50	150	200	168.775	168.77497	168.7749662	168.775	168.775	168.775	168.775	168.775
60	140	200	168.775	168.77497	168.7749662	168.775	168.775	168.775	168.775	168.775
70	130	200	160.925	168.77497	164.849967	153.075	160.925	160.925	160.925	160.925
30	210	240	200.175	196.24996	200.17496	204.1	200.175	200.175	200.175	200.175
40	200	240	188.4	184.47496	184.4749631	184.475	184.475	184.475	184.475	184.475
50	190	240	180.55	180.54996	184.4749631	188.4	196.25	188.4	188.4	184.475
60	180	240	184.475	184.47496	180.5499639	180.55	180.55	180.55	180.55	180.55
70	170	240	184.475	184.47496	188.3999623	184.475	184.475	188.4	188.4	184.475
80	160	240	722.1999	184.47496	184.4749631	188.4	184.475	184.475	180.55	184.475
60	240	300	231.575	227.64995	231.5749537	227.65	231.575	235.5	231.575	235.5

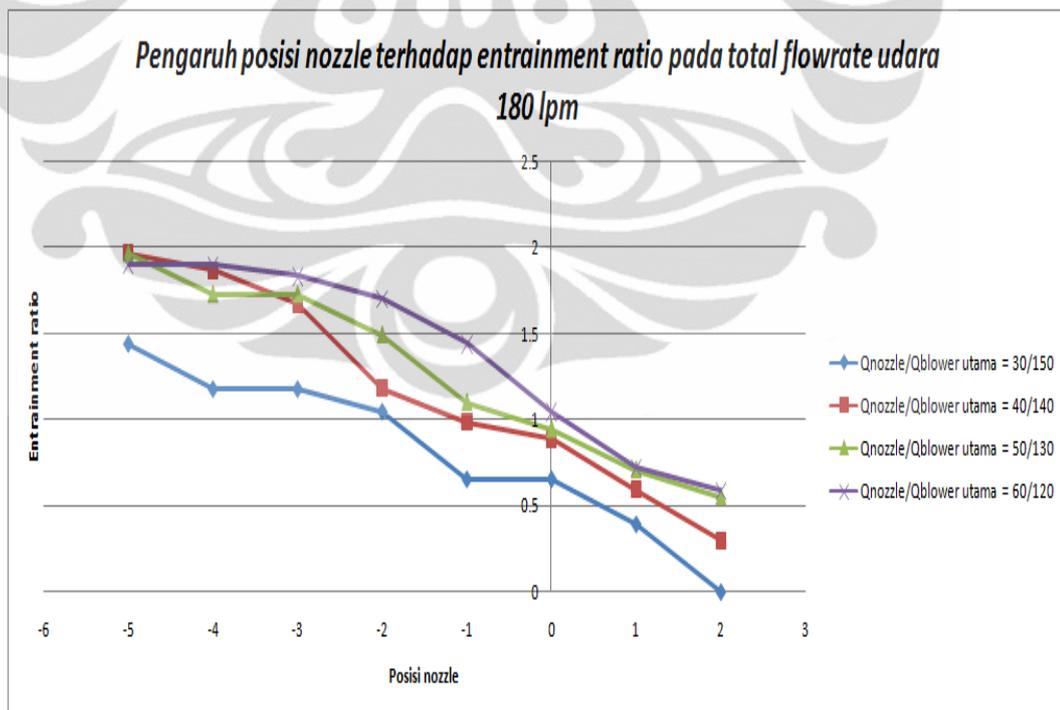
Tabel 2 Overall balance flowrate pada prototype reactor

Overall balance flowrate yang terjadi pada system / prototype reaktor digambarkan pada tabel 2 dibawah ini. Dimana flowrate aliran udara yang masuk kedalam system merupakan gabungan antara flowrate udara yang keluar dari nozzle ejector dan flowrate udara dari blower utama. Sedangkan flowrate yang keluar dari sitem melalui satu lubang exhaust di bagian tabung utama. Tabel 2 memberikan informasi bahwa flowrate keluaran system jumlahnya lebih sedikit dari pada flowrate yang masuk kedalam system, hal ini bisa dikarenakan adanya friksi/ gesekan antara fluida dan juga dinding saluran alir.

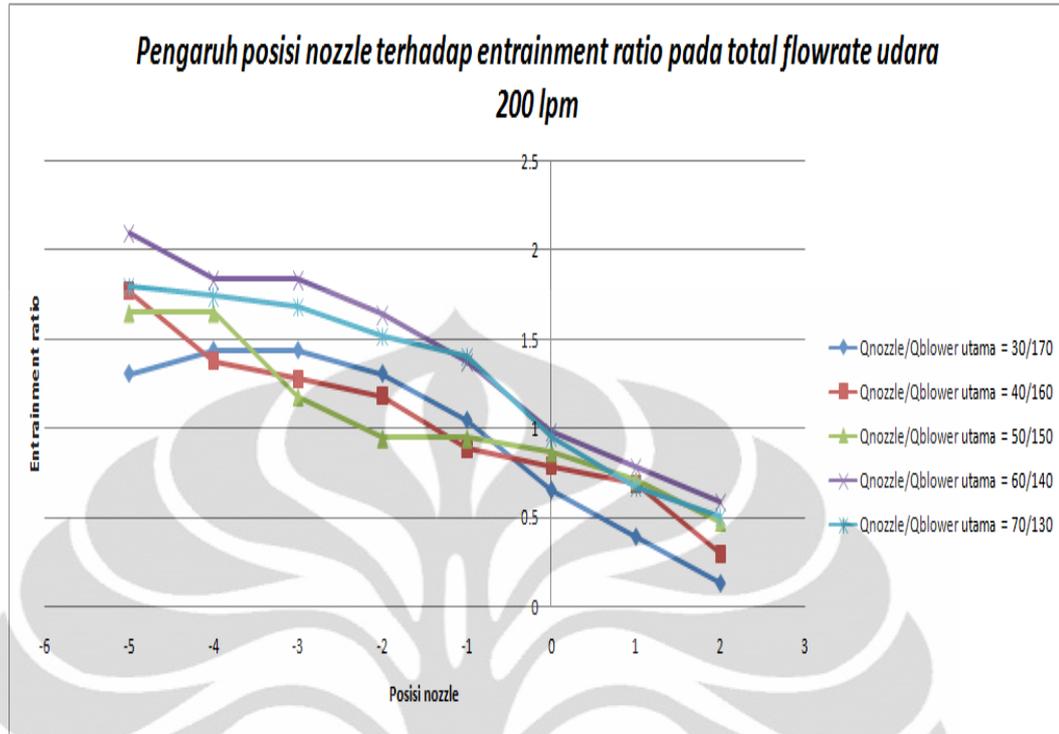
4. 2 Pengaruh jarak Spacing Nozzle Terhadap Entrainment Ratio Ejector



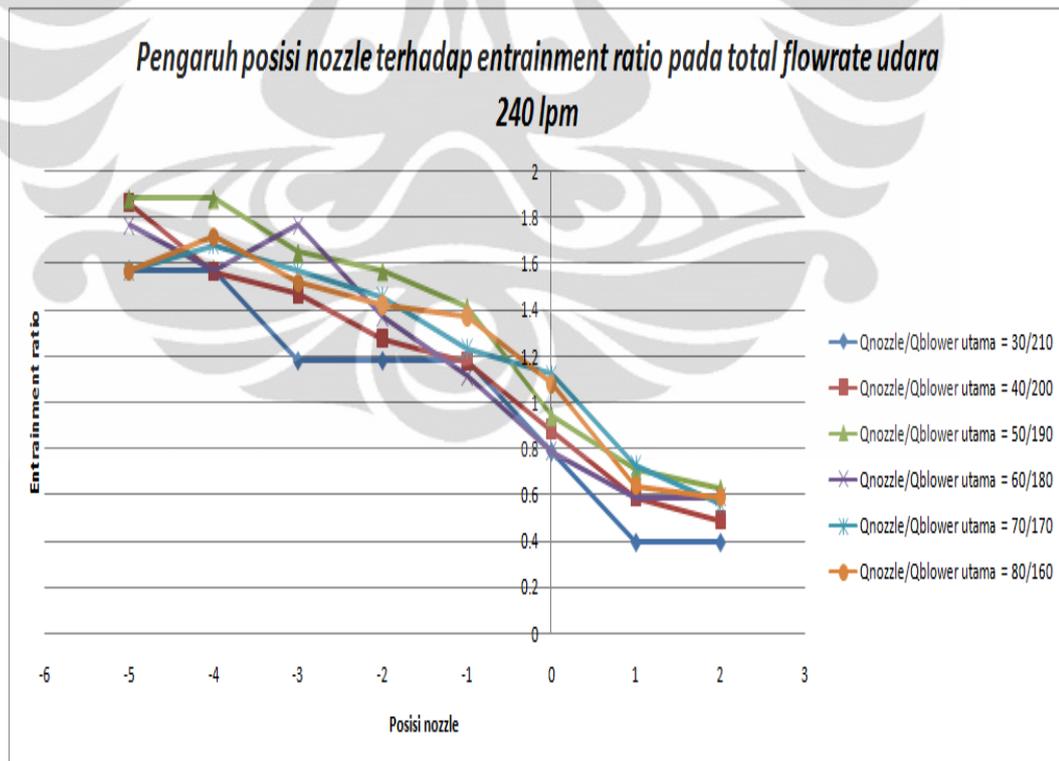
Gambar 4. 1 Pengaruh posisi nozzle terhadap entrainment ratio pada total flowrate udara 160 lpm



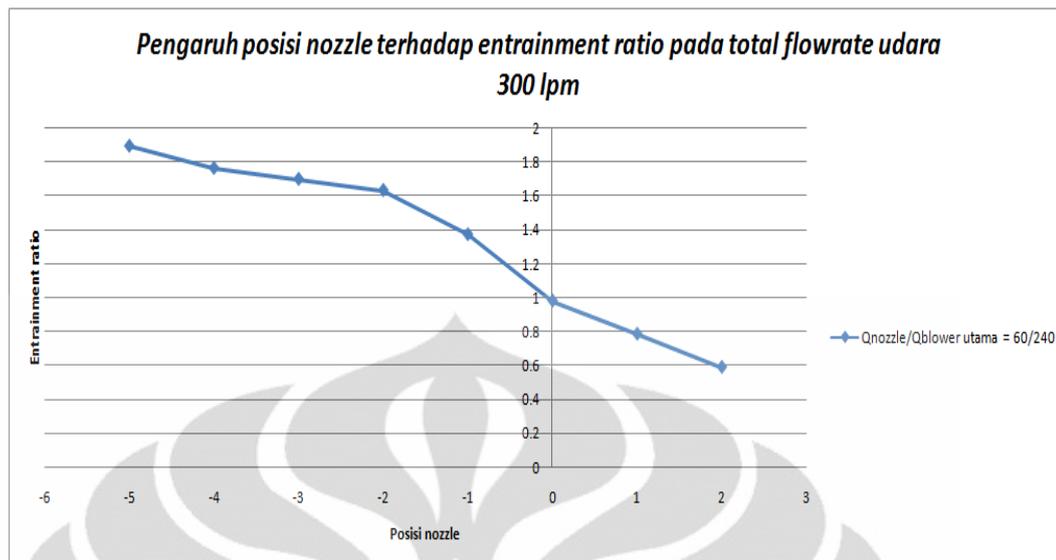
Gambar 4. 2 Pengaruh posisi nozzle terhadap entrainment ratio pada total flowrate udara 180 lpm



Gambar 4. 3Pengaruh posisi nozzle terhadap entrainment ratio pada total flowrate udara 200 lpm



Gambar 4. 4Pengaruh posisi nozzle terhadap entrainment ratio pada total flowrate udara 240 lpm



Gambar 4. 5 Pengaruh posisi nozzle terhadap entrainment ratio pada total flowrate udara 300 lpm

Grafik 4.1 sampai dengan 4.5 di atas menggambarkan pengaruh posisi spacing nozzle atau jarak antara ujung nozzle penggerak ejector dengan ujung pipa percampuran (mixing pipe). Terdapat 8 variasi posisi spacing nozzle, dimana antar posisi memiliki jarak 10 mm satu dengan yang lainnya. Pada posisi 0 , ujung nozzle tepat berada pada ujung mixing chamber, posisi 2 berada paling dekat dengan reactor (masuk kedalam daerah mixing pipe) dan posisi -5 adalah jarak terjauh ujung nozzle dengan reactor (menjauhi mixing pipe)

Pada Dasarnya kelima grafik di atas memberikan pola perubahan yang sama. Semakin jauh jarak ujung nozzle dengan mixing pipe maka ratio perbandingan antara mass flow udara sekunder dengan mass flow udara primer akan bertambah besar. Ini artinya efisiensi dari ejector meningkat sebanding dengan pertambahan jarak nozzle menjauhi daerah mixing pipe.

Semua hal ini disebabkan ejector dengan spacing nozzle yang besar akan memperpanjang daerah percampuran untuk panjang mixing pipe yang sama. Dengan ini kecepatan Nozzel yang besar memiliki tambahan space untuk memperluas daerah vakum disekitar nozzle yang akan menghisap aliran udara balik dari bagian atas reactor gasifier. Daerah kontak antara udara penggerak dengan udara balik menjadi semakin besar pula sehingga kualitas transfer momentum antara kedua jenis udara tersebut semakin baik.

Penjelasan lebih lanjut, penambahan mixing chamber membuat perbedaan kecepatan fluida antara daerah sekitar nozel penggerak dengan daerah sepanjang mixing chamber akan meningkat pula. Kecepatan partikel fluida sekitar nozel relative tinggi dibandingkan dengan daerah yang lebih jauh dari nozel, jumlah massa fluida penggerak di daerah sekitar nozel lebih sedikit dibandingkan dengan daerah yang lebih jauh dari nozel. Akibatnya fluida primer disekitar nozel bertekanan rendah sehingga akan menghisap jauh lebih banyak massa partikel fluida sekunder lebih banyak untuk mengimbangi sejumlah massa di daerah yang lebih jauh dari nozel penggerak

Berat total dari sebuah ejector juga bisa direduksi dengan menaikkan jarak spacing nozzle dan mengurangi panjang dari mixing tubenya. Pada proses gasifikasi yang sesungguhnya hal ini bisa mengurangi resiko terkondensasinya kandungan tar di sepanjang pompa ejector.

Namun, jika diperhatikan dari kelima grafik diatas, pada posisi -4 ke posisi -5 kenaikan entrainment ratio tidak terlalu besar, bahkan beberapa data menunjukkan hasil yang konstan/menurun seperti pada grafik 4.1, 4.3, 4.4.

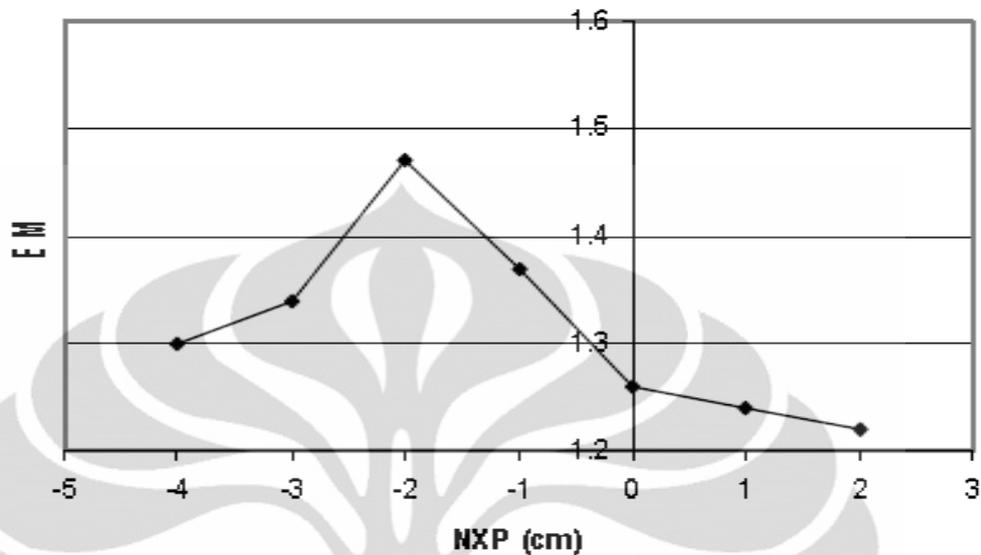
Berdasarkan studi literature jarak ideal antara ujung nozel penggerak dengan sisi masuk ruang percampuran disarankan berkisar antara 0.8 sampai 2 kali besar diameter nozzle [Blevins, 1985]. Jika diameter nozzle yang digunakan adalah sebesar 16 mm maka besar spacing nozzle idealnya adalah sekitar 12.8 sampai 32 mm atau 1.28 cm sampai 3.2 cm. Hal ini tidak jauh berbeda dengan hasil percobaan diatas, dimana jika diambil rata-rata maka posisi spacing nozzle yang ideal berada pada titik uji 4, yaitu pada jarak 40 mm.

4.2.1 Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Hasil Simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD)

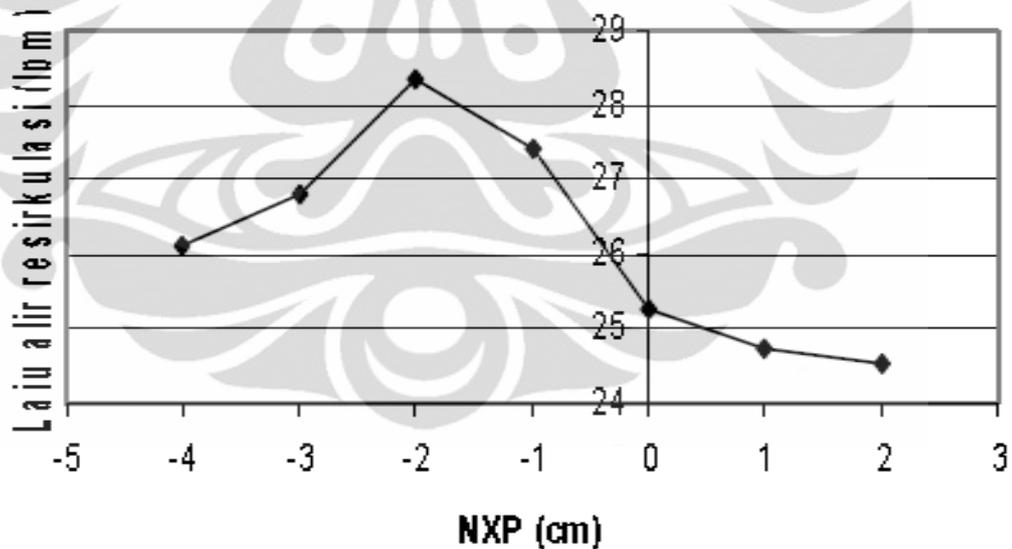
Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan pengujian terhadap model ejector udara yang sama dengan menggunakan teknik Computational Fluid Dynamic (CFD) . Pengujian ini dilakukan oleh Bapak Fajri Vidian S.T, M.T.

Pada pengujian ini kecepatan udara masuk lewat ejektor dibatasi sebesar 1.6 m/s dan kecepatan udara dari bagian bawah saluran tabung menggunakan grade dengan diameter 1 cm. sebesar 1.2 m/s. Simulasi dilakukan dengan

memvariasikan posisi keluaran nozel dalam arah positif dan negatif. Grafik 4.6 dan 4.7 merupakan hasil dari simulasi CFD tersebut.



Gambar 4. 6 Nilai entrainment ratio terhadap posisi keluaran Nozzel (NXP) hasil simulasi CFD [Fajri Vidian 2010]

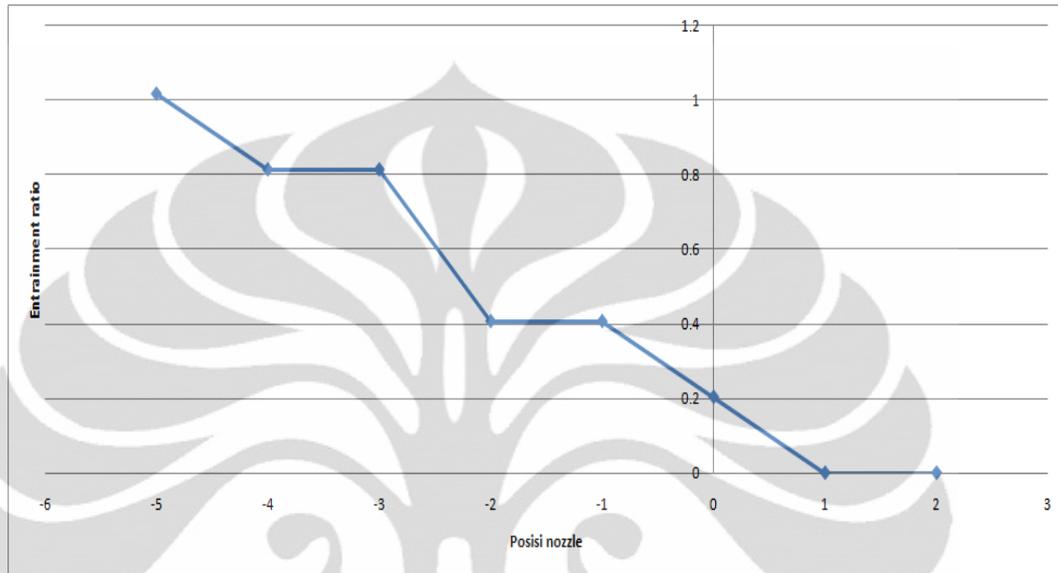


Gambar 4. 7 Laju alir resirkulasi (aliran sekunder) vs posisi Nozzel hasil simulasi CFD

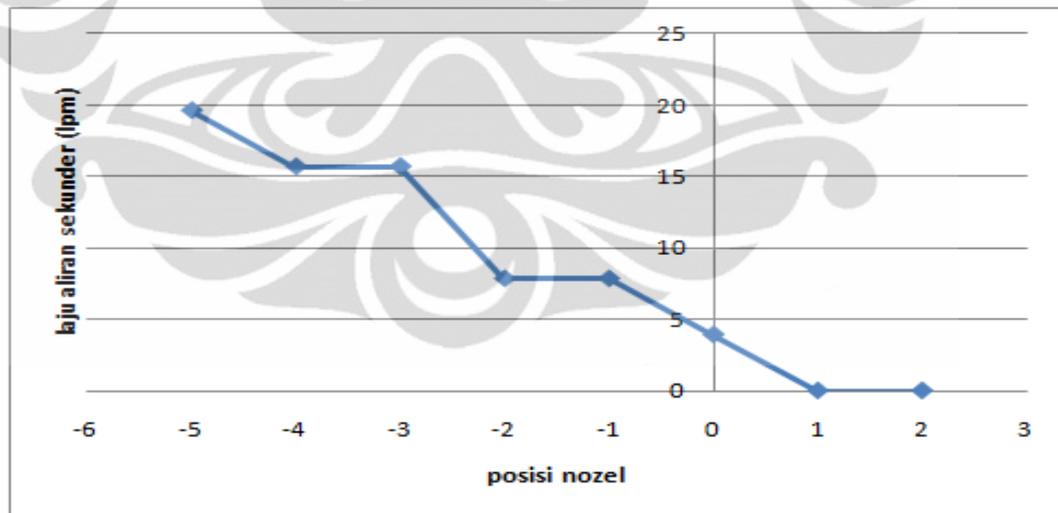
[Fajri Vidian 2010]

Dari hasil simulasi seperti pada gambar 4.6 diatas, didapat informasi nilai entrainment ratio semakin besar jika jarak spasi nozzle / NXP digerakan kearah negatif akan tetapi jika terlalu jauh kearah negative akan menyebabkan momentum aliran primer menjadi lebih rendah sehingga entrainment ratio yang

dihasilkan menjadi lebih rendah pula. Nilai optimum entrainment ratio berada pada posisi nozzle -2. Sedangkan jumlah aliran balik yang dihasilkan untuk berbagai variasi spasi nozzle berkisar antara 24.51 sampai dengan 28.36 lpm seperti ditunjukkan pada gambar 4.7.



Gambar 4. 8 Nilai entrainment ratio terhadap posisi keluaran Nozzel (NXP) hasil eksperimen



Gambar 4. 9 Laju alir resirkulasi (aliran sekunder) vs posisi Nozzel hasil eksperimen

Gambar 4.8 dan 4.9 adalah data hasil eksperimen untuk kondisi kecepatan yang sama dengan hasil simulasi. Kecepatan udara masuk lewat ejektor dibatasi sebesar 1.6 m/s dengan flowrate 20lpm dan kecepatan udara dari bagian bawah

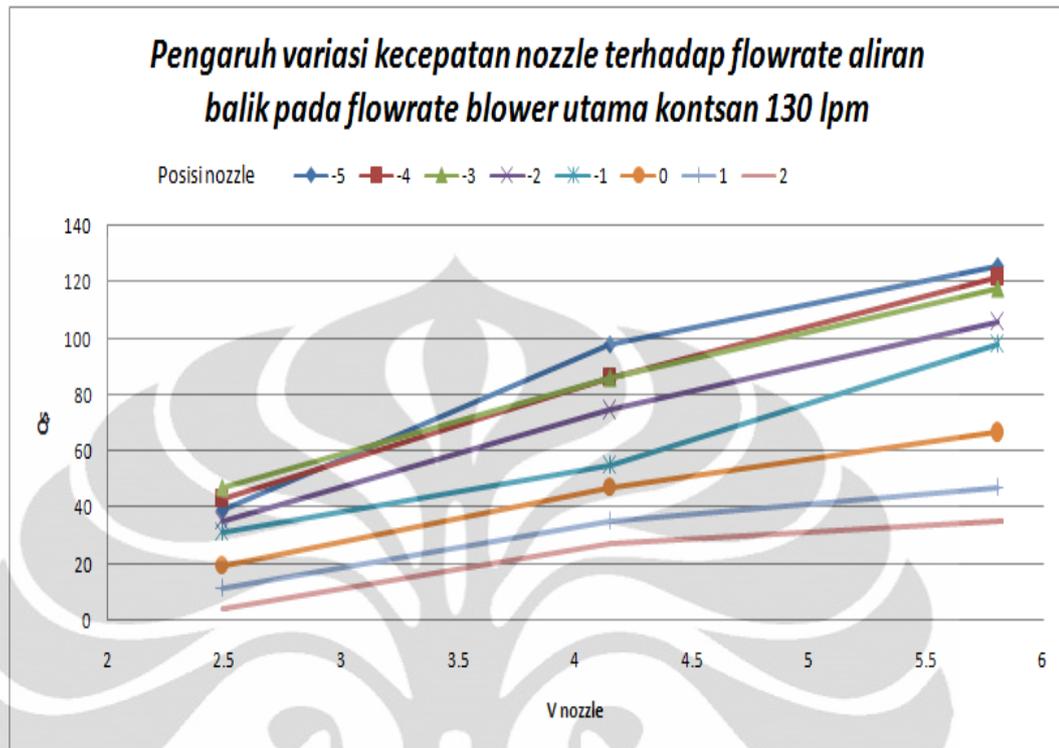
saluran tabung menggunakan grade dengan diameter 1 cm. sebesar 1.2 m/s dengan flowrate 140 lpm.

Hasil eksperimen pada gambar 4.8 memiliki tren yang sama dengan hasil simulasi pada grafik 4.6, entrainment ratio semakin besar jika jarak spasi nozzle / NXP digerakan kearah negatif sampai jarak tertentu. Akan tetapi entrainment ratio optimum tidak didapatkan pada posisi nozzle -2 seperti pada hasil simulasi. Pada posisi -3 hingga -5 entrainment ratio masih menunjukkan trend untuk naik terus. namun jika dibandingkan dengan data lain seperti pada grafik 4.1 hingga 4.5, trend posisi optimum nozzle hasil eksperimen didapatkan pada posisi -4.

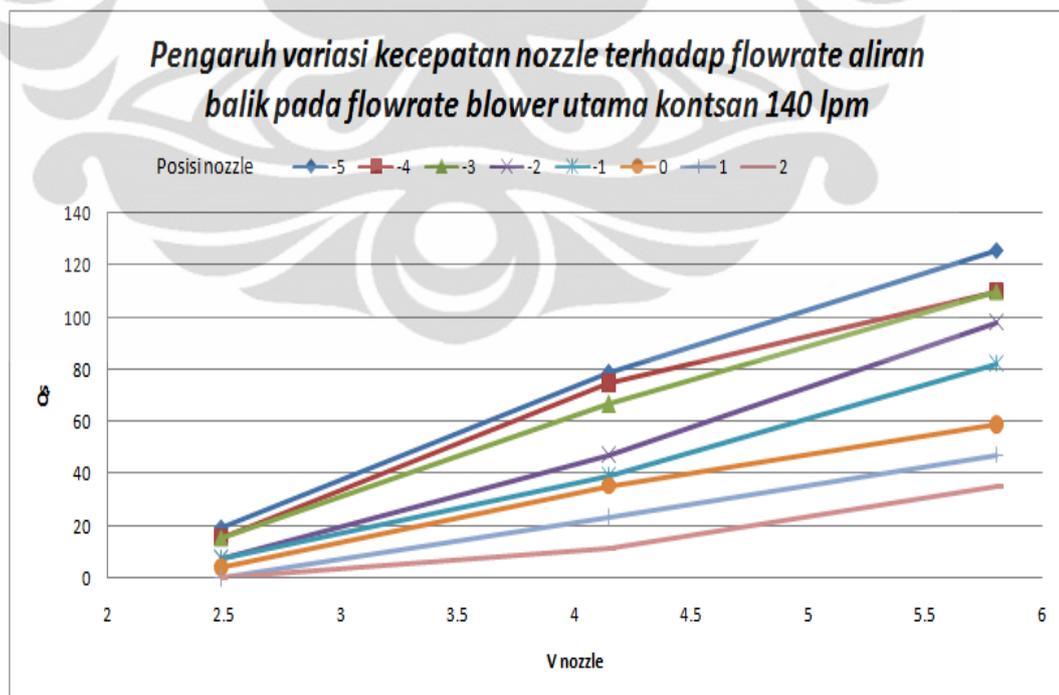
Besarnya entrainment ratio eksperimen jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan hasil simulasi. Hasil simulasi menunjukan entrainment ratio yang dihasilkan dari berbagai posisi nozzle berkisar antara 1.22 hingga 1.47, namun hasil ekperiment hanya menunjukan hasil berkisar 0 sampai dengan 1. Begitu pun pada gambar 4.9 jika dibandingkan dengan hasil simulasi pada gambar 4.7. Flowrate aliran balik yang mampu dihasilkan dari hasil simulasi berkisar 24.51 sampai dengan 28.36 lpm sedangkan hasil eksperimen hanya mendapatkan hasil 0 sampai dengan 20 lpm.

Perbedaan yang hasil yang terjadi bisa disebabkan karena beberapa factor, antara lain tidak stabilnya putaran blower udara yang ada karena harus berputar dengan kecepatan yang relative rendah untuk menghasilkan kecepatan aliran yang rendah, selain itu adanya factor friksi atau gesekan yang terjadi antara fluida alir dengan dinding-dinding pipa saluran. kemungkinan adanya aliran udara yang keluar dari lubang tempat masuk hotwire saat pengukuran, juga bisa menyebabkan turunnya kecepatan aliran yang dapat diukur. Namun terlepas dari semua itu, perlu ditekankan bahwa simulasi CFD merupakan hasil pendekatan, banyak factor yang tidak semuanya bisa dihitung atau dipertimbangkan secara komputasi.

4.3 Pengaruh Variasi Kecepatan Nozzle Terhadap Flowrate Aliran Balik



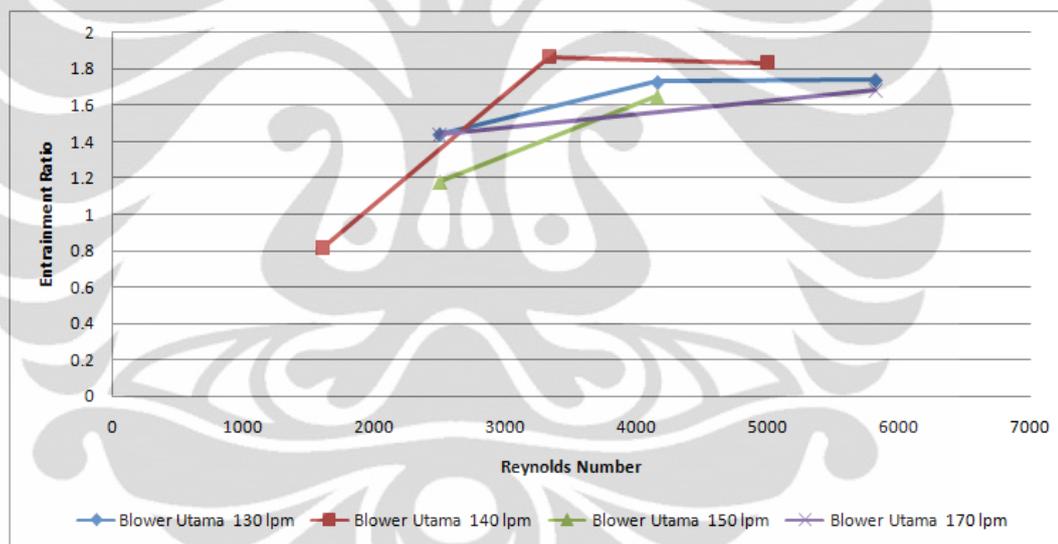
Grafik 4.6 Pengaruh variasi kecepatan nozzle terhadap flowrate aliran balik pada flowrate blower utama kongsan 130 lpm



Grafik 4.6 Pengaruh variasi kecepatan nozzle terhadap flowrate aliran balik pada flowrate blower utama kongsan 140 lpm

Dengan menjaga flowrate suplai udara gasifikasi utama dari blower didasar reaktor dan melakukan variasi kecepatan nozzle ejector seperti yang digambarkan pada grafik 4.5 dan 4.6 diatas, maka dapat digambarkan bahwa peningkatan kecepatan nozzle sebanding dengan daya hisap ejector terhadap aliran udara balik dari bagian atas reaktor.

Akibat semakin tingginya kecepatan aliran udara yang keluar dari nozzle maka tekanan disekitar nozzle menjadi semakin rendah, hal ini menjadikan perbedaan tekanan dengan udara balik dari reaktor menjadi semakin tinggi. Berdasarkan sifat fluida yang mengalir dari tekanan tinggi ke tekanan rendah maka flowrate udara balik yang mampu di hisap ejector semakin besar, dan efisiensi dari ejector semakin besar.



Grafik 4.7 Reynolds number VS entrainment ratio pada Posisi Ejector 4

Bilangan Reynolds adalah ratio perbandingan gaya inertia aliran fluida terhadap gaya viskositasnya. Bilangan ini memberikan gambaran pola aliran fluida yang terjadi, Reynolds number dihitung berdasar kecepatan dan diameter nozzle pada ejector. Pada system pompa ejector aliran udara nozzle penggerak haruslah turbulen. Unjuk kerja ejector menurun drastic bila aliran dikatagoikan laminar[Blevins, 1985]

Dari perhitungan didapatkan semua jenis variasi kecepatan yang digunakan pada nozzle ejector memiliki jenis aliran turbulen yaitu $Re > 2300$ untuk aliran dalam

pipa. Grafik 4.7 memberikan gambaran bahwa semakin tinggi bilangan Reynolds dari aliran udara ejector maka semakin tinggi entrainment ratio yang dihasilkan. Penggambaran grafik Reynolds number diatas sengaja memilih data untuk posisi nozel 4, dimana berdasarkan pembahasan sebelumnya posisi ini memiliki efektifitas yang lebih baik.

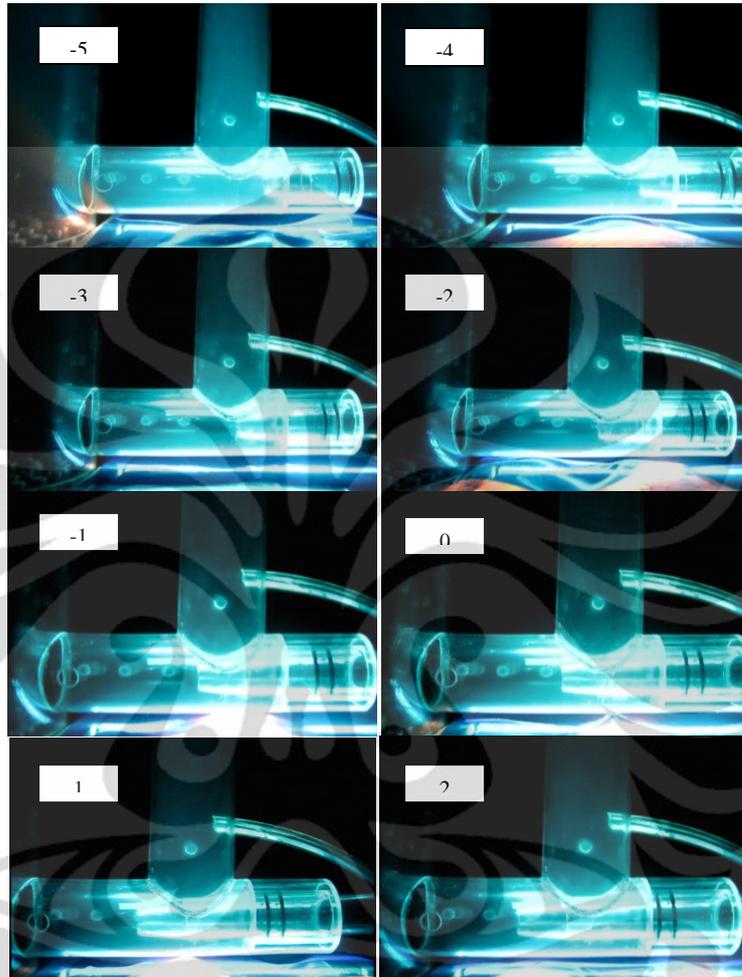
4.4 Visualisasi Aliran Udara Balik Dari Prototype Reaktor Gasifikasi dengan Penggunaan Ejector Udara

Sebelum kedua blower pensuplai udara ke reactor dihidupkan, kabut dari nebulizer sudah dimasukan kedalam reactor terlebih dahulu, hal ini dimaksudkan untuk memudahkan melihat kabut aliran balik ketika blower dinyalakan.

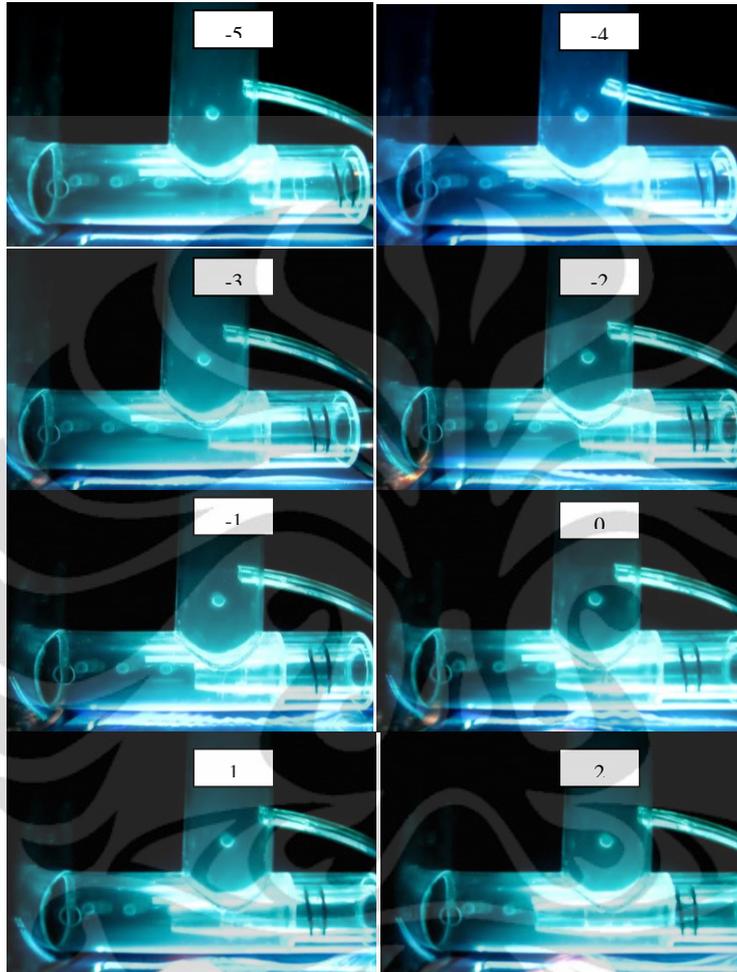
Secara garis besar hasil dari visualisai aliran udara balik yang melewati ejector menunjukkan semakin jauh jarak spacing nozzle atau jarak antara ujung nozzle dengan daerah pipa percampuran maka kecepatan aliran balik yang terjadi semakin besar. Pada posisi nozzle 5, rata-rata hilangnya kabut dari reactor dan ejector jauh lebih cepat dari pada ketika nozzle berada pada posisi -2. Besarnya kecepatan aliran balik menunjukkan besarnya flowrate aliran balik yang berhasil di hisap dan dialirkan kembali ke dalam reactor.

Aliran balik yang lebih rendah pada nozzle di posisi -1 dan -2 membuat bentuk aliran yang terjadi dikeduanya lebih terlihat. Daerah percampuran yang mengecil pada kedua posisi tersebut menyebabkan transfer momentum dari udara penggerak kepada aliran udara balik menjadi tidak efisien dan akan lebih besar kemungkinan terjadinya slip antara kedua fluida tersebut sehingga tidak terangkutnya udara balik dari bagian atas reactor dengan lebih efektif.

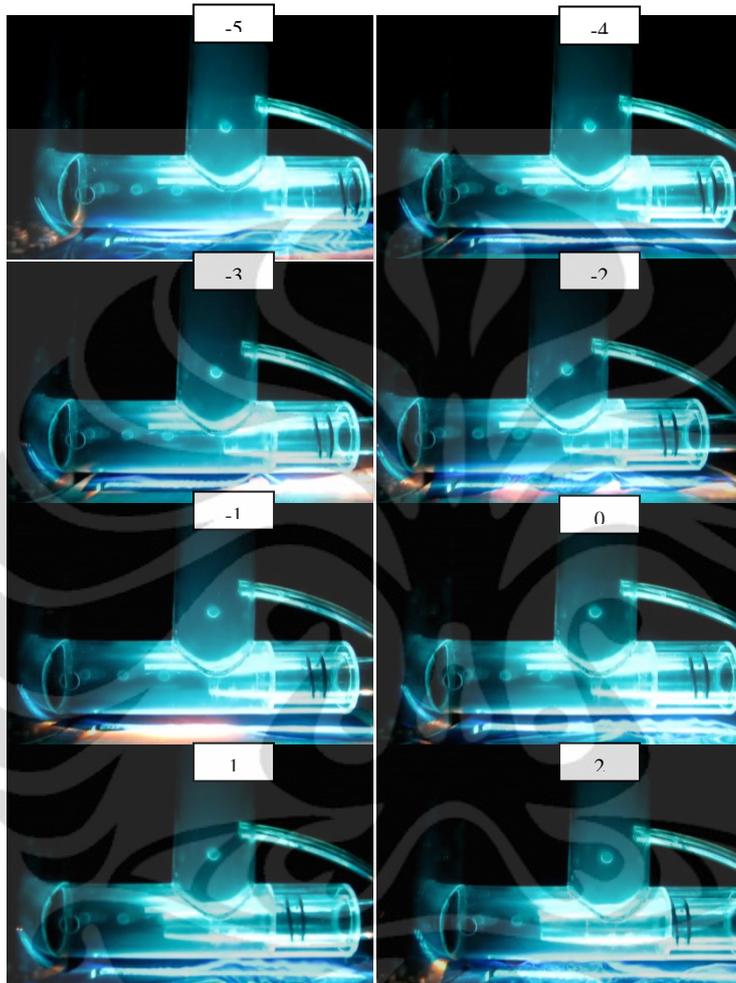
Video visualisasi akan disertakan dalam bentuk CD dalam buku skripsi ini. Foto hasil visualisasi dapat dilihat pada gambar 4.8 sampai 4.10 dibawah ini.



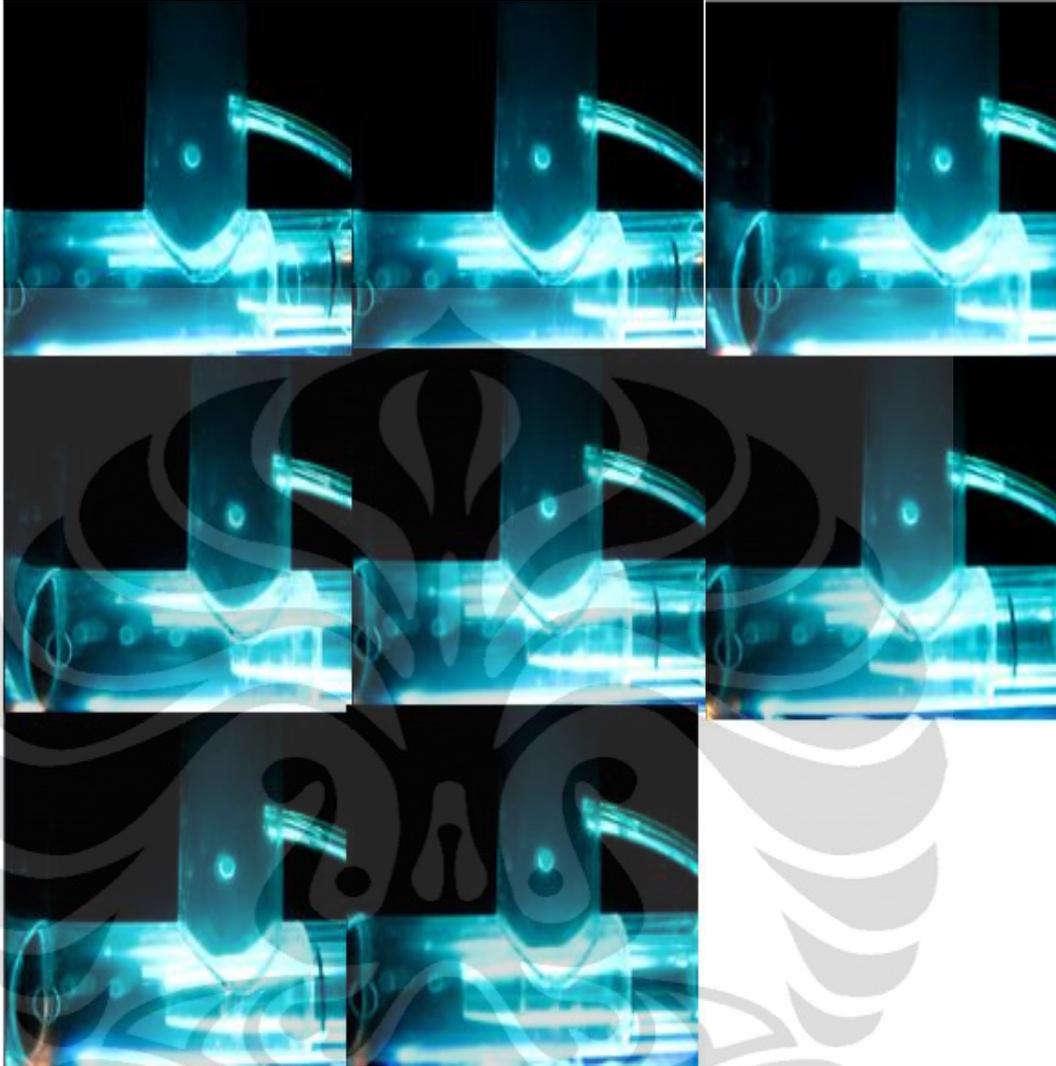
Gambar 4. 10 Visualisasi Aliran Melewati Ejector, Flowrate Bloer Utama 120 lpm, Flowrate Nozzle 40 lpm



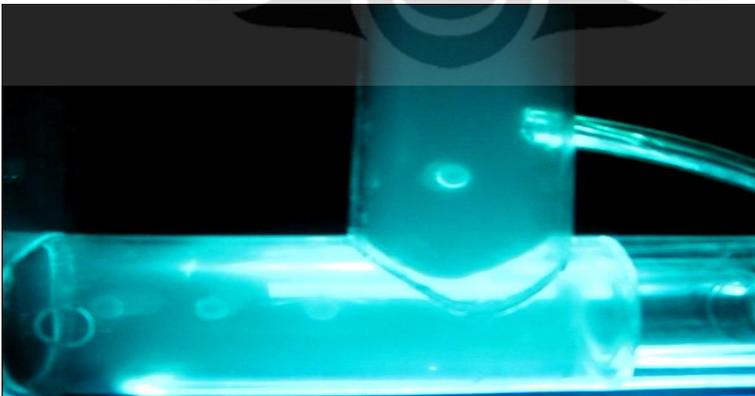
Gambar 4. 11 Visualisasi Aliran Melewati Ejector, Flowrate Bloer Utama 120 lpm, Flowrate Nozzle 60 lpm



Gambar 4. 12 Visualisasi Aliran Melewati Ejector, Flowrate Bloer Utama 140 lpm, Flowrate Nozzle 60 lpm



Gambar 4. 13 Visualisasi Aliran Melewati Ejector, Flowrate Bloer Utama 180 lpm, Flowrate Nozzle 60 lpm



Gambar 4. 14 Visualisasi Aliran Melewati Ejector, tanpa Ejector

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Semakin jauh jarak ujung nozzle dengan mixing pipe maka ratio perbandingan antara mass flow udara sekunder dengan mass flow udara primer (entrainment ratio) akan bertambah besar. Ini artinya efisiensi dari ejector meningkat sebanding dengan penambahan jarak nozzle menjauhi daerah mixing pipe.
2. Berat total dari sebuah ejector juga bisa direduksi dengan menaikkan jarak spacing nozzle dan mengurangi panjang dari mixing tubenya pada batas tertentu. Pada proses gasifikasi yang sesungguhnya hal ini bisa mengurangi resiko terkondesasinya kandungan tar di sepanjang pompa ejector.
3. Jarak ideal antara ujung nozel penggerak dengan sisi masuk ruang percampuran disarankan berkisar antara 0.8 sampai 2 kali besar diameter nozzle [Blevins, 1985]. Jika diameter nozzle yang digunakan adalah sebesar 16 mm maka besar spacing nozzle idealnya adalah sekitar 12.8 sampai 32 mm atau 1.28 cm sampai 3.2 cm. Hal ini tidak jauh berbeda dengan hasil percobaan, dimana jika diambil rata-rata maka posisi spacing nozzle yang idel berada pada titik uji 4, yaitu pada jarak 40 mm.
4. Peningkatan kecepatan nozzle sebanding dengan daya hisap ejector terhadap aliran udara balik dari bagian atas reaktor. Hal ini diperkuat dengan semakin tinggi bilangan Reynolds dari aliran udara ejector maka semakin tinggi entrainment ratio yang dihasilkan.

5.2 Saran

Penelitian yang dilakukan penulis merupakan sebuah studi pendekatan awal dari penggunaan ejector di reactor updraft gasifikasi. Banyak parameter lain yang masih harus diteliti untuk mendapatkan efisiensi dari penerapan ejector ini. Dalam penelitian ini aliran balik yang dihisap oleh ejector merupakan udara biasa pada temperature ruang. Sedangkan pada proses yang sesungguhnya ejector

berperan untuk menghisap gas produser yang memiliki unsure pembentuk lebih kompleks, selain factor temperature dan tekanan menjadi salah satu hal yang bisa dikembangkan dalam penelitian selanjutnya.



DAFTAR PUSTAKA

- Blevins, Robert, D, *Applied Fluid Dynamics Handbook*, New York : Van Nostrand reinhold Company Inc. 1984
- Keenan.J.H,dkk *A Simple Air Ejector* , Cambridge Mass
- Surjosaty, Adi, Vidian, Fajri dan S.N Yulianto, *Kajian Komputasi Pengaruh Posisi Nozzel Terhadap kinerja Ejector Udara Pada Sistem Aliran Resirkulasi Eksternal*, Palembang :Seminar nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-9, 2010
- Kanajanapon,Chunnanond,dkk, *An Experimental investigation of steam ejector refrigeration: the analysis of the pressure profile along the ejector*, 2003
- Maqsood. Asim, *A Study of Subsonic Air-Air Ejectors with Short Bent Mixing Tubes*, Queen's University Canada 2008
- Mario L, Ferrari, *Design and testing of ejector for high temperature fuel cell hybrid systems*
- Seehanam, Wirapan,etc, *Simulation on performance of CPM and CRMC Steam Ejectors Using CFD Technique*
- Aphornratana, Satha,dkk *Theoretical sudy of a Steam-Ejector Refrigerator* Thammasat University Thailand
- Hau,C.T dkk, *Investigation of an Ejector Heat Pump By analytical method*
- Utomo, Tony,dkk *Investigation on hydrodynamics and mass transfer characteristics of a gas-liquid ejector using three-dimensional CFD modeling.* Journal of Mechanical Science and Technology 22 (2008)
- Couder, Carlos, *CastanedaSimulation Supersonic Flow in an Ejector Diffuser Using the JPVM*, Hindawi Publishing Corporation Journal of Applied Mathematics 2009
- http://www.pakmansur.com/index.php?option=com_content&view=article&id=48:mrb-so&catid=25:the-project&Itemid=29
- http://www.pakmansur.com/index.php?option=com_content&view=article&id=48:mrb-so&catid=25:the-project&Itemid=29



Lampiran A. Data Hasil Percobaan Kecepatan Aliran Sekunder

Total flowrate Udara Gasifikasi	Nozel			Blower Utama		Aliran Sekunder							
	V (m/s)	Q (lpm)	frek.inv	V (m/s)	Q (lpm)	X=-5				X=-4			
						Vtgh(m/s)	Vdlm (m/s)	Vlr(m/s)	V rata2	Vtgh(m/s)	Vdlm (m/s)	Vlr(m/s)	V rata2
160	1.600332	20	12	1.188657	140	0.3	0.1	0.1	0.16666667	0.2	0.1	0.1	0.133333
	3.31675	40	15	1.018849	120	0.6	0.5	0.4	0.5	0.6	0.5	0.5	0.533333
	2.487563	30	13.6	1.103753	130	0.4	0.3	0.3	0.33333333	0.4	0.4	0.3	0.366667
180	2.487563	30	13.6	1.273561	150	0.4	0.4	0.3	0.36666667	0.3	0.3	0.3	0.3
	3.31675	40	15	1.188657	140	0.8	0.7	0.5	0.66666667	0.7	0.7	0.5	0.633333
	4.145938	50	17	1.103753	130	0.9	0.8	0.8	0.83333333	0.8	0.7	0.7	0.733333
	4.975125	60	19	1.018849	120	1.1	0.9	0.9	0.96666667	1.1	0.9	0.9	0.966667
200	2.487563	30	13.6	1.443369	170	0.3	0.4	0.3	0.33333333	0.3	0.4	0.4	0.366667
	3.31675	40	15	1.358465	160	0.6	0.7	0.5	0.6	0.4	0.5	0.5	0.466667
	4.145938	50	17	1.273561	150	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
	4.975125	60	19.1	1.188657	140	1.2	1	1	1.06666667	1	0.9	0.9	0.933333
	5.804313	70	20.7	1.103753	130	1.2	1	1	1.06666667	1.2	1	0.9	1.033333
240	2.487563	30	13.6	1.782986	210	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	3.31675	40	15	1.698082	200	0.7	0.7	0.5	0.63333333	0.7	0.5	0.4	0.533333
	4.145938	50	17	1.613177	190	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
	4.975125	60	19.1	1.528273	180	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8
	5.804313	70	20.7	1.443369	170	0.9	1	0.9	0.93333333	0.9	1.1	1	1
	6.6335	80	22.7	1.358465	160	1	1.2	1	1.06666667	1	1	1.5	1.166667
300	4.975125	60	19.1	2.037698	240	1.1	0.9	0.9	0.96666667	1	0.9	0.8	0.9

Total flowrate Udara Gasifikasi	Nozel			Blower Utama		Aliran Sekunder							
	V (m/s)	Q (lpm)	frek.inv	V (m/s)	Q (lpm)	X=-3				X=-2			
						Vtgh(m/s)	Vdlm (m/s)	Vlr(m/s)	V rata2	Vtgh(m/s)	Vdlm (m/s)	Vlr(m/s)	V rata2
160	1.600332	20	12	1.188657	140	0.2	0.1	0.1	0.133333	0.1	0.1	0	0.066667
	3.31675	40	15	1.018849	120	0.7	0.4	0.4	0.5	0.6	0.4	0.4	0.466667
	2.487563	30	13.6	1.103753	130	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
180	2.487563	30	13.6	1.273561	150	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.266667
	3.31675	40	15	1.188657	140	0.5	0.7	0.5	0.566667	0.4	0.4	0.4	0.4
	4.145938	50	17	1.103753	130	0.8	0.8	0.6	0.733333	0.7	0.7	0.5	0.633333
	4.975125	60	19	1.018849	120	1.1	0.9	0.8	0.933333	0.9	0.9	0.8	0.866667
200	2.487563	30	13.6	1.443369	170	0.3	0.4	0.4	0.366667	0.3	0.4	0.3	0.333333
	3.31675	40	15	1.358465	160	0.4	0.5	0.4	0.433333	0.4	0.4	0.4	0.4
	4.145938	50	17	1.273561	150	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4
	4.975125	60	19.1	1.188657	140	0.9	1	0.9	0.933333	0.8	0.9	0.8	0.833333
	5.804313	70	20.7	1.103753	130	1	1	1	1	0.9	0.9	0.9	0.9
240	2.487563	30	13.6	1.782986	210	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	3.31675	40	15	1.698082	200	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4	0.433333
	4.145938	50	17	1.613177	190	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.666667
	4.975125	60	19.1	1.528273	180	0.9	0.9	0.9	0.9	0.7	0.7	0.7	0.7
	5.804313	70	20.7	1.443369	170	0.9	1	0.9	0.933333	0.8	0.9	0.9	0.866667
	6.6335	80	22.7	1.358465	160	0.9	1.1	1.1	1.033333	0.9	1	1	0.966667
300	4.975125	60	19.1	2.037698	240	0.9	0.9	0.8	0.866667	0.8	0.9	0.8	0.833333

Total flowrate Udara Gasifikasi	Nozel			Blower Utama		Aliran Sekunder							
	V (m/s)	Q (lpm)	frek.inv	V (m/s)	Q (lpm)	X=-1				X=0			
						Vtgh(m/s)	Vdlm (m/s)	Vlr(m/s)	V rata2	Vtgh(m/s)	Vdlm (m/s)	Vlr(m/s)	V rata2
160	1.600332	20	12	1.188657	140	0.1	0.1	0	0.066667	0	0.1	0	0.033333
	3.31675	40	15	1.018849	120	0.4	0.3	0.3	0.333333	0.3	0.2	0.2	0.233333
	2.487563	30	13.6	1.103753	130	0.3	0.3	0.2	0.266667	0.2	0.1	0.2	0.166667
180	2.487563	30	13.6	1.273561	150	0.2	0.2	0.1	0.166667	0.2	0.2	0.1	0.166667
	3.31675	40	15	1.188657	140	0.3	0.4	0.3	0.333333	0.3	0.3	0.3	0.3
	4.145938	50	17	1.103753	130	0.5	0.5	0.4	0.466667	0.4	0.4	0.4	0.4
	4.975125	60	19	1.018849	120	0.7	0.8	0.7	0.733333	0.6	0.5	0.5	0.533333
200	2.487563	30	13.6	1.443369	170	0.2	0.3	0.3	0.266667	0.1	0.2	0.2	0.166667
	3.31675	40	15	1.358465	160	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.266667
	4.145938	50	17	1.273561	150	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.366667
	4.975125	60	19.1	1.188657	140	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5
	5.804313	70	20.7	1.103753	130	0.9	0.8	0.8	0.833333	0.8	0.5	0.4	0.566667
240	2.487563	30	13.6	1.782986	210	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
	3.31675	40	15	1.698082	200	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
	4.145938	50	17	1.613177	190	0.6	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	0.4
	4.975125	60	19.1	1.528273	180	0.6	0.6	0.5	0.566667	0.4	0.4	0.4	0.4
	5.804313	70	20.7	1.443369	170	0.7	0.8	0.7	0.733333	0.6	0.7	0.7	0.666667
	6.6335	80	22.7	1.358465	160	0.8	1	1	0.933333	0.7	0.7	0.8	0.733333
300	4.975125	60	19.1	2.037698	240	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5

Total flowrate Udara Gasifikasi	Nozel			Blower Utama		Aliran Sekunder							
	V (m/s)	Q (lpm)	frek.inv	V (m/s)	Q (lpm)	X=1				X=2			
						Vtgh(m/s)	Vdlm (m/s)	Vlr(m/s)	V rata2	Vtgh(m/s)	Vdlm (m/s)	Vlr(m/s)	V rata2
160	1.600332	20	12	1.188657	140	0	0	0	0	0	0	0	0
	3.31675	40	15	1.018849	120	0.2	0.1	0.1	0.133333	0.1	0.1	0.1	0.1
	2.487563	30	13.6	1.103753	130	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0.033333
180	2.487563	30	13.6	1.273561	150	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0
	3.31675	40	15	1.188657	140	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
	4.145938	50	17	1.103753	130	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.233333
	4.975125	60	19	1.018849	120	0.4	0.4	0.3	0.366667	0.3	0.3	0.3	0.3
200	2.487563	30	13.6	1.443369	170	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0	0.033333
	3.31675	40	15	1.358465	160	0.2	0.2	0.3	0.233333	0.1	0.1	0.1	0.1
	4.145938	50	17	1.273561	150	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
	4.975125	60	19.1	1.188657	140	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
	5.804313	70	20.7	1.103753	130	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
240	2.487563	30	13.6	1.782986	210	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	3.31675	40	15	1.698082	200	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.166667
	4.145938	50	17	1.613177	190	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.266667
	4.975125	60	19.1	1.528273	180	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	5.804313	70	20.7	1.443369	170	0.4	0.4	0.5	0.433333	0.3	0.3	0.4	0.333333
	6.6335	80	22.7	1.358465	160	0.4	0.4	0.5	0.433333	0.4	0.4	0.4	0.4
300	4.975125	60	19.1	2.037698	240	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3

Lampiran B. Data Percobaan Kecepatan Alir Keluar reaktor

Total flowrate Udara Gasifikasi	Nozel			Blower Utama		V Keluar Reaktor Pada Posisi Spasi Nozel															
						X=-5				X=-4				X=-3				X=-2			
	V (m/s)	Q (lpm)	frek.inv	V (m/s)	Q (lpm)	a	b	c	rata2	a	b	c	rata3	a	b	c	rata4	a	b	c	rata5
160	1.600332	20	12	1.188657	140	1.3	1	1	1.1	1.3	1.2	1	1.167	1.3	1	1	1.1	1.3	1	1	1.1
	3.31675	40	15	1.018849	120	1	1.1	1	1.033	1	1.1	1	1.033	1	1.1	1	1.033	1	1.2	1	1.067
	2.487563	30	13.6	1.103753	130	1.8	1.1	1.1	1.333	1.7	1.1	1.1	1.3	1.6	1.1	1	1.233	1.6	1.1	1.1	1.267
180	2.487563	30	13.6	1.273561	150	1.4	1.3	1.3	1.333	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
	3.31675	40	15	1.188657	140	1.4	1.3	1.3	1.333	1.4	1.2	1.1	1.233	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.3	1.3	1.333
	4.145938	50	17	1.103753	130	1.1	1.3	1.1	1.167	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
	4.975125	60	19	1.018849	120	1.2	1.3	1.3	1.267	1.2	1.3	1.3	1.267	1.2	1.3	1.3	1.267	1.1	1.3	1.3	1.233
200	2.487563	30	13.6	1.443369	170	1.3	1.5	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.467	1.3	1.5	1.5	1.433	1.3	1.5	1.5	1.433
	3.31675	40	15	1.358465	160	1.4	1.5	1.4	1.433	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
	4.145938	50	17	1.273561	150	1.5	1.4	1.4	1.433	1.5	1.4	1.4	1.433	1.5	1.4	1.4	1.433	1.5	1.4	1.4	1.433
	4.975125	60	19.1	1.188657	140	1.5	1.4	1.4	1.433	1.5	1.4	1.4	1.433	1.5	1.4	1.4	1.433	1.5	1.4	1.4	1.433
	5.804313	70	20.7	1.103753	130	1.5	1.3	1.3	1.367	1.6	1.3	1.4	1.433	1.5	1.3	1.4	1.4	1.5	1.2	1.2	1.3
240	2.487563	30	13.6	1.782986	210	1.8	1.7	1.6	1.7	1.8	1.6	1.6	1.667	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	1.7	1.7	1.733
	3.31675	40	15	1.698082	200	1.5	1.7	1.6	1.6	1.5	1.6	1.6	1.567	1.5	1.6	1.6	1.567	1.5	1.6	1.6	1.567
	4.145938	50	17	1.613177	190	1.5	1.6	1.5	1.533	1.5	1.6	1.5	1.533	1.6	1.5	1.6	1.567	1.6	1.6	1.6	1.6
	4.975125	60	19.1	1.528273	180	1.6	1.5	1.6	1.567	1.6	1.5	1.6	1.567	1.6	1.5	1.5	1.533	1.6	1.5	1.5	1.533
	5.804313	70	20.7	1.443369	170	1.5	1.6	1.6	1.567	1.5	1.6	1.6	1.567	1.5	1.7	1.6	1.6	1.5	1.6	1.6	1.567
	6.6335	80	22.7	1.358465	160	1.5	1.7	1.7	6.133	1.5	1.6	1.6	1.567	1.5	1.6	1.6	1.567	1.5	1.7	1.6	1.6
300	4.975125	60	19.1	2.037698	240	1.9	2	2	1.967	1.8	2	2	1.933	1.8	2.1	2	1.967	1.8	2	2	1.933

Total flowrate Udara Gasifikasi	Nozel			Blower Utama		V Keluar Reaktor Pada Posisi Spasi Nozel															
	V (m/s)	Q (lpm)	frek.inv	V (m/s)	Q (lpm)	X=-1				X=0				X=1				X=2			
						a	b	c	rata6	a	b	c	rata7	a	b	c	rata8	a	b	c	rata9
160	1.600332	20	12	1.188657	140	1.2	1	1	1.067	1.2	1	1	1.067	1.2	1	1	1.067	1.4	1	1	1.133
	3.31675	40	15	1.018849	120	1.1	1.1	1	1.067	1.1	1	1	1.033	1	1	1	1	0.9	1	1	0.967
	2.487563	30	13.6	1.103753	130	1.6	1.1	1.1	1.267	1.6	1.1	1	1.233	1.7	1.1	1.1	1.3	1.6	1.1	1	1.233
180	2.487563	30	13.6	1.273561	150	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
	3.31675	40	15	1.188657	140	1.4	1.3	1.3	1.333	1.4	1.3	1.3	1.333	1.4	1.3	1.3	1.333	1.4	1.3	1.3	1.333
	4.145938	50	17	1.103753	130	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
	4.975125	60	19	1.018849	120	1.1	1.3	1.1	1.167	1.2	1.1	1.2	1.167	1.2	1.3	1.3	1.267	1.2	1.3	1.3	1.267
200	2.487563	30	13.6	1.443369	170	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.4	1.5	1.4	1.3	1.4	1.5	1.4	1.3	1.4	1.4	1.367
	3.31675	40	15	1.358465	160	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
	4.145938	50	17	1.273561	150	1.5	1.4	1.4	1.433	1.5	1.4	1.4	1.433	1.5	1.4	1.4	1.433	1.5	1.4	1.4	1.433
	4.975125	60	19.1	1.188657	140	1.5	1.4	1.4	1.433	1.5	1.4	1.4	1.433	1.5	1.4	1.4	1.433	1.5	1.4	1.4	1.433
	5.804313	70	20.7	1.103753	130	1.5	1.3	1.3	1.367	1.6	1.2	1.3	1.367	1.5	1.3	1.3	1.367	1.5	1.4	1.2	1.367
240	2.487563	30	13.6	1.782986	210	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
	3.31675	40	15	1.698082	200	1.5	1.6	1.6	1.567	1.5	1.6	1.6	1.567	1.5	1.6	1.6	1.567	1.5	1.6	1.6	1.567
	4.145938	50	17	1.613177	190	1.8	1.6	1.6	1.667	1.6	1.6	1.6	1.6	1.7	1.5	1.6	1.6	1.7	1.5	1.5	1.567
	4.975125	60	19.1	1.528273	180	1.6	1.5	1.5	1.533	1.6	1.5	1.5	1.533	1.6	1.5	1.5	1.533	1.6	1.5	1.5	1.533
	5.804313	70	20.7	1.443369	170	1.4	1.7	1.6	1.567	1.5	1.7	1.6	1.6	1.5	1.7	1.6	1.6	1.5	1.6	1.6	1.567
	6.6335	80	22.7	1.358465	160	1.5	1.6	1.6	1.567	1.5	1.6	1.6	1.567	1.5	1.6	1.5	1.533	1.5	1.6	1.6	1.567
300	4.975125	60	19.1	2.037698	240	1.9	2	2	1.967	1.8	2	2	1.933	1.8	2.1	2	1.967	1.8	2	2	1.933

Lampiran C Hasil Pengolahan Data

Total flowrate Udara Gasifikasi (lpm)	Qp/Qbu (lpm)	Nozel					Blower Utama			Aliran Sekunder							
		Vp (m/s)	Qp(lpm)	Qp(m ³ /s)	mp (kg/s)	Re	Vbu (m/s)	Qbu (lpm)	Qbu (m ³ /s)	X= -5				X= -4			
										Vs(m/s)	Qs(m ³ /s)	ms (kg/s)	ms/mp	Vs(m/s)	Qs(m ³ /s)	ms (kg/s)	ms/mp
160	20/140	1.600332	20	0.000322	0.000375	1603.774	1.188657	140	0.00233274	0.166667	0.000327	0.000381	1.016839	0.133333	0.000262	0.000305	0.813471
	40/120	3.31675	40	0.000667	0.000777	3323.883	1.018849	120	0.00199949	0.5	0.000981	0.001143	1.471875	0.533333	0.001047	0.001219	1.57
	30/130	2.487563	30	0.0005	0.000583	2492.912	1.103753	130	0.00216612	0.333333	0.000654	0.000762	1.308333	0.366667	0.00072	0.000838	1.439166
180	30/150	2.487563	30	0.0005	0.000583	2492.912	1.273561	150	0.00249936	0.366667	0.00072	0.000838	1.439166	0.3	0.000589	0.000686	1.1775
	40/140	3.31675	40	0.000667	0.000777	3323.883	1.188657	140	0.00233274	0.666667	0.001308	0.001524	1.9625	0.633333	0.001243	0.001448	1.864375
	50/130	4.145938	50	0.000833	0.000971	4154.854	1.103753	130	0.00216612	0.833333	0.001635	0.001905	1.9625	0.733333	0.001439	0.001677	1.727
	60/120	4.975125	60	0.001	0.001165	4985.825	1.018849	120	0.00199949	0.966667	0.001897	0.00221	1.897083	0.966667	0.001897	0.00221	1.897083
200	30/170	2.487563	30	0.0005	0.000583	2492.912	1.443369	170	0.00283261	0.333333	0.000654	0.000762	1.308333	0.366667	0.00072	0.000838	1.439166
	40/160	3.31675	40	0.000667	0.000777	3323.883	1.358465	160	0.00266599	0.6	0.001178	0.001372	1.76625	0.466667	0.000916	0.001067	1.37375
	50/150	4.145938	50	0.000833	0.000971	4154.854	1.273561	150	0.00249936	0.7	0.001374	0.0016	1.6485	0.7	0.001374	0.0016	1.6485
	60/140	4.975125	60	0.001	0.001165	4985.825	1.188657	140	0.00233274	1.066667	0.002093	0.002439	2.093333	0.933333	0.001832	0.002134	1.831666
	70/130	5.804313	70	0.001167	0.001359	5816.795	1.103753	130	0.00216612	1.066667	0.002093	0.002439	1.794285	1.033333	0.002028	0.002363	1.738214
240	30/210	2.487563	30	0.0005	0.000583	2492.912	1.782986	210	0.00349911	0.4	0.000785	0.000915	1.57	0.4	0.000785	0.000915	1.57
	40/200	3.31675	40	0.000667	0.000777	3323.883	1.698082	200	0.00333248	0.633333	0.001243	0.001448	1.864375	0.533333	0.001047	0.001219	1.57
	50/190	4.145938	50	0.000833	0.000971	4154.854	1.613177	190	0.00316586	0.8	0.00157	0.001829	1.884	0.8	0.00157	0.001829	1.884
	60/180	4.975125	60	0.001	0.001165	4985.825	1.528273	180	0.00299924	0.9	0.001766	0.002058	1.76625	0.8	0.00157	0.001829	1.57
	70/170	5.804313	70	0.001167	0.001359	5816.795	1.443369	170	0.00283261	0.933333	0.001832	0.002134	1.57	1	0.001963	0.002286	1.682143
	80/160	6.6335	80	0.001333	0.001553	6647.766	1.358465	160	0.00266599	1.066667	0.002093	0.002439	1.57	1.166667	0.00229	0.002667	1.717187
300	60/240	4.975125	60	0.001	0.001165	4985.825	2.037698	240	0.00399898	0.966667	0.001897	0.00221	1.897083	0.9	0.001766	0.002058	1.76625

Total flowrate Udara Gasifikasi (lpm)	Qp/Qbu (lpm)	Nozel					Blower Utama			Aliran sekunder							
		Vp (m/s)	Qp(lpm)	Qp(m ³ /s)	mp (kg/s)	Re	Vbu (m/s)	Qbu (lpm)	Qbu (m ³ /s)	X=3				X=2			
										Vs(m/s)	Qs(m ³ /s)	ms (kg/s)	ms/mp	Vs(m/s)	Qs(m ³ /s)	ms (kg/s)	ms/mp
160	20/140	1.600332	20	0.000322	0.000375	1603.774	1.188657	140	0.00233274	0.133333	0.000262	0.000305	0.813471	0.066667	0.000131	0.000152	0.406736
	40/120	3.31675	40	0.000667	0.000777	3323.883	1.018849	120	0.00199949	0.5	0.000981	0.001143	1.471875	0.466667	0.000916	0.001067	1.37375
	30/130	2.487563	30	0.0005	0.000583	2492.912	1.103753	130	0.00216612	0.4	0.000785	0.000915	1.57	0.3	0.000589	0.000686	1.1775
180	30/150	2.487563	30	0.0005	0.000583	2492.912	1.273561	150	0.00249936	0.3	0.000589	0.000686	1.1775	0.266667	0.000523	0.00061	1.046666
	40/140	3.31675	40	0.000667	0.000777	3323.883	1.188657	140	0.00233274	0.566667	0.001112	0.001296	1.668125	0.4	0.000785	0.000915	1.1775
	50/130	4.145938	50	0.000833	0.000971	4154.854	1.103753	130	0.00216612	0.733333	0.001439	0.001677	1.727	0.633333	0.001243	0.001448	1.4915
	60/120	4.975125	60	0.001	0.001165	4985.825	1.018849	120	0.00199949	0.933333	0.001832	0.002134	1.831666	0.866667	0.001701	0.001981	1.700833
200	30/170	2.487563	30	0.0005	0.000583	2492.912	1.443369	170	0.00283261	0.366667	0.00072	0.000838	1.439166	0.333333	0.000654	0.000762	1.308333
	40/160	3.31675	40	0.000667	0.000777	3323.883	1.358465	160	0.00266599	0.433333	0.00085	0.000991	1.275625	0.4	0.000785	0.000915	1.1775
	50/150	4.145938	50	0.000833	0.000971	4154.854	1.273561	150	0.00249936	0.5	0.000981	0.001143	1.1775	0.4	0.000785	0.000915	0.942
	60/140	4.975125	60	0.001	0.001165	4985.825	1.188657	140	0.00233274	0.933333	0.001832	0.002134	1.831666	0.833333	0.001635	0.001905	1.635416
	70/130	5.804313	70	0.001167	0.001359	5816.795	1.103753	130	0.00216612	1	0.001963	0.002286	1.682143	0.9	0.001766	0.002058	1.513928
240	30/210	2.487563	30	0.0005	0.000583	2492.912	1.782986	210	0.00349911	0.3	0.000589	0.000686	1.1775	0.3	0.000589	0.000686	1.1775
	40/200	3.31675	40	0.000667	0.000777	3323.883	1.698082	200	0.00333248	0.5	0.000981	0.001143	1.471875	0.433333	0.00085	0.000991	1.275625
	50/190	4.145938	50	0.000833	0.000971	4154.854	1.613177	190	0.00316586	0.7	0.001374	0.0016	1.6485	0.666667	0.001308	0.001524	1.57
	60/180	4.975125	60	0.001	0.001165	4985.825	1.528273	180	0.00299924	0.9	0.001766	0.002058	1.76625	0.7	0.001374	0.0016	1.37375
	70/170	5.804313	70	0.001167	0.001359	5816.795	1.443369	170	0.00283261	0.933333	0.001832	0.002134	1.57	0.866667	0.001701	0.001981	1.457857
	80/160	6.6335	80	0.001333	0.001553	6647.766	1.358465	160	0.00266599	1.033333	0.002028	0.002363	1.520937	0.966667	0.001897	0.00221	1.422812
300	60/240	4.975125	60	0.001	0.001165	4985.825	2.037698	240	0.00399898	0.866667	0.001701	0.001981	1.700833	0.833333	0.001635	0.001905	1.635416

Total flowrate Udara Gasifikasi (lpm)	Qp/Qbu (lpm)	Nozel					Blower Utama		aliran sekunder								
		Vp (m/s)	Qp(lpm)	Qp(m ³ /s)	mp (kg/s)	Re	Vbu (m/s)	Qbu (lpm)	Qbu (m ³ /s)	X=-1				X=0			
										Vs(m/s)	Qs(m ³ /s)	ms (kg/s)	ms/mp	Vs(m/s)	Qs(m ³ /s)	ms (kg/s)	ms/mp
160	20/140	1.600332	20	0.000322	0.000375	1603.774	1.188657	140	0.00233274	0.066667	0.000131	0.000152	0.406736	0.033333	6.54E-05	7.62E-05	0.203368
	40/120	3.31675	40	0.000667	0.000777	3323.883	1.018849	120	0.00199949	0.333333	0.000654	0.000762	0.98125	0.233333	0.000458	0.000533	0.686875
	30/130	2.487563	30	0.0005	0.000583	2492.912	1.103753	130	0.00216612	0.266667	0.000523	0.00061	1.046666	0.166667	0.000327	0.000381	0.654167
180	30/150	2.487563	30	0.0005	0.000583	2492.912	1.273561	150	0.00249936	0.166667	0.000327	0.000381	0.654167	0.166667	0.000327	0.000381	0.654167
	40/140	3.31675	40	0.000667	0.000777	3323.883	1.188657	140	0.00233274	0.333333	0.000654	0.000762	0.98125	0.3	0.000589	0.000686	0.883125
	50/130	4.145938	50	0.000833	0.000971	4154.854	1.103753	130	0.00216612	0.466667	0.000916	0.001067	1.099	0.4	0.000785	0.000915	0.942
	60/120	4.975125	60	0.001	0.001165	4985.825	1.018849	120	0.00199949	0.733333	0.001439	0.001677	1.439166	0.533333	0.001047	0.001219	1.046666
200	30/170	2.487563	30	0.0005	0.000583	2492.912	1.443369	170	0.00283261	0.266667	0.000523	0.00061	1.046666	0.166667	0.000327	0.000381	0.654167
	40/160	3.31675	40	0.000667	0.000777	3323.883	1.358465	160	0.00266599	0.3	0.000589	0.000686	0.883125	0.266667	0.000523	0.00061	0.785
	50/150	4.145938	50	0.000833	0.000971	4154.854	1.273561	150	0.00249936	0.4	0.000785	0.000915	0.942	0.366667	0.00072	0.000838	0.8635
	60/140	4.975125	60	0.001	0.001165	4985.825	1.188657	140	0.00233274	0.7	0.001374	0.0016	1.37375	0.5	0.000981	0.001143	0.98125
	70/130	5.804313	70	0.001167	0.001359	5816.795	1.103753	130	0.00216612	0.833333	0.001635	0.001905	1.401785	0.566667	0.001112	0.001296	0.953214
240	30/210	2.487563	30	0.0005	0.000583	2492.912	1.782986	210	0.00349911	0.3	0.000589	0.000686	1.1775	0.2	0.000393	0.000457	0.785
	40/200	3.31675	40	0.000667	0.000777	3323.883	1.698082	200	0.00333248	0.4	0.000785	0.000915	1.1775	0.3	0.000589	0.000686	0.883125
	50/190	4.145938	50	0.000833	0.000971	4154.854	1.613177	190	0.00316586	0.6	0.001178	0.001372	1.413	0.4	0.000785	0.000915	0.942
	60/180	4.975125	60	0.001	0.001165	4985.825	1.528273	180	0.00299924	0.566667	0.001112	0.001296	1.112083	0.4	0.000785	0.000915	0.785
	70/170	5.804313	70	0.001167	0.001359	5816.795	1.443369	170	0.00283261	0.733333	0.001439	0.001677	1.233571	0.666667	0.001308	0.001524	1.121428
	80/160	6.6335	80	0.001333	0.001553	6647.766	1.358465	160	0.00266599	0.933333	0.001832	0.002134	1.37375	0.733333	0.001439	0.001677	1.079375
300	60/240	4.975125	60	0.001	0.001165	4985.825	2.037698	240	0.00399898	0.7	0.001374	0.0016	1.37375	0.5	0.000981	0.001143	0.98125

Total flowrate Udara Gasifikasi (lpm)	Qp/Qbu (lpm)	Nozel					Blower Utama		aliran sekunder									
		Vp (m/s)	Qp(lpm)	Qp(m ³ /s)	mp (kg/s)	Re	Vbu (m/s)	Qbu (lpm)	Qbu (m ³ /s)	X=1				X=2				
										Vs(m/s)	Qs(m ³ /s)	ms (kg/s)	ms/mp	Vs(m/s)	Qs(m ³ /s)	ms (kg/s)	ms/mp	
160	20/140	1.600332	20	0.000322	0.000375	1603.774	1.188657	140	0.00233274	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	40/120	3.31675	40	0.000667	0.000777	3323.883	1.018849	120	0.00199949	0.133333	0.000262	0.000305	0.3925	0.1	0.000196	0.000229	0.294375	
	30/130	2.487563	30	0.0005	0.000583	2492.912	1.103753	130	0.00216612	0.1	0.000196	0.000229	0.3925	0.033333	6.54E-05	7.62E-05	0.130833	
180	30/150	2.487563	30	0.0005	0.000583	2492.912	1.273561	150	0.00249936	0.1	0.000196	0.000229	0.3925	0	0	0	0	
	40/140	3.31675	40	0.000667	0.000777	3323.883	1.188657	140	0.00233274	0.2	0.000393	0.000457	0.58875	0.1	0.000196	0.000229	0.294375	
	50/130	4.145938	50	0.000833	0.000971	4154.854	1.103753	130	0.00216612	0.3	0.000589	0.000686	0.7065	0.233333	0.000458	0.000533	0.5495	
200	60/120	4.975125	60	0.001	0.001165	4985.825	1.018849	120	0.00199949	0.366667	0.00072	0.000838	0.719583	0.3	0.000589	0.000686	0.58875	
	30/170	2.487563	30	0.0005	0.000583	2492.912	1.443369	170	0.00283261	0.1	0.000196	0.000229	0.3925	0.033333	6.54E-05	7.62E-05	0.130833	
	40/160	3.31675	40	0.000667	0.000777	3323.883	1.358465	160	0.00266599	0.233333	0.000458	0.000533	0.686875	0.1	0.000196	0.000229	0.294375	
	50/150	4.145938	50	0.000833	0.000971	4154.854	1.273561	150	0.00249936	0.3	0.000589	0.000686	0.7065	0.2	0.000393	0.000457	0.471	
	60/140	4.975125	60	0.001	0.001165	4985.825	1.188657	140	0.00233274	0.4	0.000785	0.000915	0.785	0.3	0.000589	0.000686	0.58875	
240	70/130	5.804313	70	0.001167	0.001359	5816.795	1.103753	130	0.00216612	0.4	0.000785	0.000915	0.672857	0.3	0.000589	0.000686	0.504643	
	30/210	2.487563	30	0.0005	0.000583	2492.912	1.782986	210	0.00349911	0.1	0.000196	0.000229	0.3925	0.1	0.000196	0.000229	0.3925	
	40/200	3.31675	40	0.000667	0.000777	3323.883	1.698082	200	0.00333248	0.2	0.000393	0.000457	0.58875	0.166667	0.000327	0.000381	0.490625	
	50/190	4.145938	50	0.000833	0.000971	4154.854	1.613177	190	0.00316586	0.3	0.000589	0.000686	0.7065	0.266667	0.000523	0.00061	0.628	
	60/180	4.975125	60	0.001	0.001165	4985.825	1.528273	180	0.00299924	0.3	0.000589	0.000686	0.58875	0.3	0.000589	0.000686	0.58875	
	70/170	5.804313	70	0.001167	0.001359	5816.795	1.443369	170	0.00283261	0.433333	0.00085	0.000991	0.728928	0.333333	0.000654	0.000762	0.560714	
300	80/160	6.6335	80	0.001333	0.001553	6647.766	1.358465	160	0.00266599	0.433333	0.00085	0.000991	0.637812	0.4	0.000785	0.000915	0.58875	
	60/240	4.975125	60	0.001	0.001165	4985.825	2.037698	240	0.00399898	0.4	0.000785	0.000915	0.785	0.3	0.000589	0.000686	0.58875	

Keterangan	:				Re	:	Reynolds Number pada nozzle	Vs	:	Kecepatan aliran bal
Vp	:	Kecepatan Nozzel	Vbu	:	Kecepatan Blower utama	Qs	:	Flowrate aliran balik		
Qp	:	Flowrate Nozzel	Qbu	:	Flowrate blower utama	ms	:	mass flow aliran bali		
mp	:	mass flow nozzel	ms/mp	:	entrainment ratio					