

STUDI PERFORMA TABUNG VORTEKS

Sebagai Salah Satu Persyaratan Dalam Menyelesaikan
Pendidikan Tingkat Statuta (S1) pada Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik di Universitas Bengkulu



SKRIPSI

Oleh

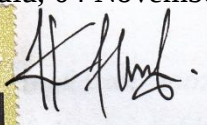
GATRA PUTRA NUSANTARA
NPM G1C007024

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BENGKULU
2013**

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Skripsi dengan judul “**Studi performa tabung vorteks**” ini tidak terdapat karya yang sebelumnya pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang tertulis sebagai acuan di dalam naskah dan buku sebagaimana yang disebutkan di dalam daftar pustaka.

Bengkulu, 04 November 2013



(Gatra Putra Nusantara)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN URAIAN SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GRAFIK.....	xiii
ABSTRAK.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Vorteks	5
2.2 Tabung Vorteks.....	5
2.3 Aplikasi Tabung Vorteks.....	6
2.4 Jenis Tabung Vorteks	7
2.5 Prinsip Kerja Tabung Vorteks	8
2.6 Teori Fenomena Transfer Energi	10
2.6.1 Teori Vandeemter	10
2.6.2 Teori Prof.Parulekar.....	11
2.7 Penelitian Terkait	11
2.7.1 Frohlingsdorf dan H. Unger	11
2.7.2 Orhan Aydin dan Muzaffer Baki.....	13
2.7.3 HM Skye, GF Nellis dan SA Klein	15
2.7.4 Singh et al	18
2.7.5 Aydin dan Baki.....	18
2.7.6 Aljuwayhel et al	18
2.8 Teori Tabung Vorteks	18
2.8.1 Termodinamika	18
2.8.2 Prinsip Dasar Throthle	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Prosedur Penelitian.....	21
3.2 Desain Alat.....	22
3.4 Alat Pendukung	25
3.4.1 Alat ukur kecepatan angin	26
3.4.2 Alat ukur suhu	27
3.4.3 Kompresor udara	28
3.4.4 Regulator tekanan udara	29

3.5 Pelaksanaan Penelitian	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil	33
4.2 Pembahasan	45
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran.....	
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Aliran di dalam tabung Vorteks	2
Gambar 2.1	Aliran Vorteks.....	4
Gambar 2.2	Skema tabung Vorteks.....	5
Gambar 2.3	Skema aliran dalam tabung Vorteks.....	6
Gambar 2.4	Vorteks tube digunakan sebagai pendingin pada coolant mesin bubut	6
Gambar 2.5	Gambar tabung Vorteks digunakan sebagai suplai udara dan pendingin pada baju kerja	7
Gambar 2.6	Gambar Counter-flow Vorteks tube	7
Gambar 2.7	Gambar uni-flow Vorteks tube	8
Gambar 2.8	Gambar sistem kerja serta aliran udara di dalam tabung Vorteks.	9
Gambar 2.9	Motion aliran udara Vorteks, arah aliran energi dan perbedaan temperatur di dalam tabung Vorteks	12
Gambar 2.10	hasil simulasi kecepatan aliran dalam tabung Vorteks.....	13
Gambar 2.11	jenis-jenis throttle (katub penghambat)	23
Gambar 3.1	Diagram Alur Penelitian	21
Gambar 3.2	Disain dan Tabung Vorteks yang digunakan untuk penelitian .	22
Gambar 3.3	Nozzle Vorteks.....	23
Gambar 3.4	Katub control aliran udara panas (control valve).....	23
Gambar 3.5	Saluran inlet dan diaphragma.....	24
Gambar 3.6	Saluran inlet dan diaphragma.....	24
Gambar 3.7	Hot end dan dudukan control valve.....	25
Gambar 3.8	Anemometer.....	26
Gambar 3.9	Multi meter <i>FLUKE 78</i>	28
Gambar 3.10	Kompresor udara (Air Compressor).....	28
Gambar 3.11	Regulator tekanan udara (Air Pressure Regulator)	29
Gambar 3.12	Pengambilan data temperatur pada cold end	30
Gambar 3.13	Pengambilan data temperatur pada hot end	31
Gambar 3.14	Pengukuran kecepatan udara pada cold end	31
Gambar 3.15	Pengukuran kecepatan udara pada hot end	32
Gambar 4.1	Grafik perbandingan suhu udara dingin pada nozzle dengan 2 alur	33
Gambar 4.2	Grafik Perbandingan suhu udara panas pada nozzle dengan 2 alur	33
Gambar 4.3	Grafik perbandingan suhu udara panas dan dingin hasil percobaan pada Vorteks tube denga nozzle 2 alur	34

Gambar 4.4	Grafik perbandingan suhu udara dingin pada nozzle dengan 2 alur	35
Gambar 4.5	Grafik perbandingan suhu udara panas pada nozzle dengan 2 alur dan valve terbuka setengah.....	35
Gambar 4.6	Grafik perbandingan suhu udara panas dan dingin hasil percobaan pada Vorteks tube denga nozzle 2 alur dan valve terbuka setengah.	36
Gambar 4.7	Grafik perbandingan suhu udara dingin pada nozzle dengan 4 alur	37
Gambar 4.8	Grafik perbandingan suhu udara panas pada nozzle dengan 4 alur	37
Gambar 4.9	Grafik perbandingan suhu udara panas dan dingin hasil percobaan pada Vorteks tube denga nozzle 4 alur	38
Gambar 4.10	Grafik perbandingan suhu udara dingin pada nozzle dengan 2 alur, dan valve terbuka setengah.....	39
Gambar 4.11	Grafik perbandingan suhu udara panas pada nozzle dengan 4 alur dan valve terbuka setengah.....	39
Gambar 4.12	Grafik perbandingan suhu udara panas dan dingin hasil percobaan pada Vorteks tube denga nozzle 4 alur	40
Gambar 4.13	Grafik perbandingan suhu udara dingin pada nozzle dengan 6 alur	41
Gambar 4.14	Grafik perbandingan suhu udara panas pada nozzle dengan 6 alur	41
Gambar 4.15	Grafik perbandingan suhu udara panas dan dingin hasil percobaan pada Vorteks tube denga nozzle 6 alur	42
Gambar 4.16	Grafik perbandingan suhu udara dingin pada nozzle dengan 6 alur dan valve terbuka setengah.....	43
Gambar 4.17	Grafik perbandingan suhu udara panas pada nozzle dengan 6 alur dan valve terbuka setengah.....	43
Gambar 4.18	Grafik perbandingan suhu udara panas dan dingin hasil percobaan pada Vorteks tube denga nozzle 6 alur	44

DAFTAR TABEL

Tabel		HALAMAN
3.1	Data teknis Anemometer yang digunakan Merek : DIGICON DA-42	25
3.2	Data teknis Anemometer yang digunakan.....	26
3.3	Data teknis multi meter <i>FLUKE 78</i>	27

ABSTRACT

The purpose of this project is to study the performance of vortex tube with the experiment analysis. The study is being tested in some variation conditions. As the pressure of air changes from 1, 2, and 3 bar and setting the valves into the hot air in fully opened and half opened position affect the flow of the vortex tube. As the number of nozzles change into 2, 4, and 6 injectors with the used of different angles (30°, 60°, and 90°) of control valves the result of the temperature is different. Based from the experiment, researchers found that the affecting factors of vortex tube performance are the pressure of inlet air, the number of lines in the nozzle, and the angles of the control valve. Using high pressure of inlet air the temperature at hot end will increase and decrease the themperature cool air in the cool end. According to the eperiment found that by changing the number of nozzles and valves can control the flow of the temperature, through the use of 2 nozzles, 3bar pressure, with the angle of of valve is 90° the result of the temperature is -9° C while with the used of the same number of nozzles, 3bar and the angle is 30° and 60° will get the hottest air temperature of 44C°.

Keyword : Vortex, air pressure, nozzle, control valve.

ABSTRAK

Penelitian bertujuan mempelajari performa tabung vortek dengan metode percobaan. Penelitian dilakukan dengan beberapa kondisi yaitu pengaturan tekanan udara 1, 2 dan 3 bar, pengaturan bukaan katub terbuka penuh dan terbuka setengah, penggunaan nosel dengan jumlah injektor 2, 4 dan 6, serta penggunaan kontrol valve dengan sudut 30°, 60° dan 90° yang akan menghasilkan suhu udara berbeda pada sisi cool dan hot end. Berdasarkan hasil penelitian diketahui faktor yang mempengaruhi performa tabung vortek adalah tekanan udara inlet, jumlah alur pada nossle serta sudut kontrol valve. Penggunaan udara bertekanan pada inlet dapat meningkatkan suhu udara pada hot end dan menurunkan suhu cool end. Sedangkan dengan penggantian nosel dan sudut kontrol valve dapat digunakan untuk mengontrol aliran udara pada hot dan cool end, pada penggunaan nosel 2 alur dengan tekanan 3 bar, dengan kontrol valve 90° diperoleh suhu terendah -9°C dimana dengan penggunaan nosel yang sama, tekanan 3bar dan kontrol valve 30° dan 60° diperoleh temperatur udara tertinggi yaitu 44 C°.

Kata kunci : Tabung Vortex, Tekanan Udara, Nosel, Control Valve.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan teknologi yang ramah, murah dan efektif belakangan ini makin marak dibicarakan. Permasalahan ini dilatarbelakangi oleh kompetisi ekonomi industri, dimana pelaku industri berusaha menekan biaya produksi dengan menggunakan alat dengan biaya operasional lebih murah dari sebelumnya namun tetap memiliki kemampuan produktivitas yang tinggi.

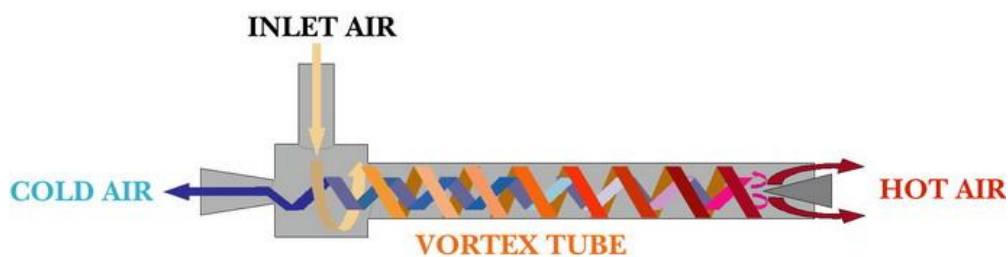
Tabung vorteks adalah salah satu alat yang mulai digunakan dalam industri manufaktur. Alat ini berfungsi sebagai mesin pendingin fluida yang digunakan sebagai coolant. Namun saat ini penggunaan tabung vorteks masih belum banyak digunakan di dalam negeri, permasalahannya ialah mahalanya pengadaan tabung vorteks itu sendiri yang harus diimpor dari luar negeri.

Oleh sebab itu, penulis merasa perlunya mempelajari sistem kinerja tabung vorteks, agar teknologi ini dapat diproduksi sendiri dan mengurangi biaya produksi perusahaan dengan harga alat yang harus diimport.

Penulis mempelajari kemungkinan untuk memproduksi tabung vorteks sendiri dengan kualitas yang setara dengan tabung vorteks yang diimpor dengan biaya yang lebih rendah. Material yang digunakan disesuaikan dengan ketersediaan material di negara kita seperti tembaga, baja, alumunium, plastik, stainless dll.

Studi yang akan dilakukan penulis kali ini adalah perbandingan pengaturan yang diberikan pada tabung vorteks untuk memperoleh kinerja terbaik. Variable terikat yang diberikan selama percobaan adalah tekanan udara inlet sebesar 1-3 bar dan material tabung berupa stainless stell. Aliran udara akan dialirkan kedalam sebuah pipa stainless dengan inlet membentuk sudut tangensial sehingga akan terbentuk pusaran udara di sepanjang pipa tabung. Fenomena ini akan menghasilkan perubahan suhu terhadap udara yang dialirkan tersebut. Udara yang mengalir di dalam pipa akan dikeluarkan dari dua sisi, anggap saja sisi pertama adalah sisi hot output dan sisi kedua adalah cool output. Aliran udara di dalam tabung terbagi menjadi dua lairan yang arah alirannya berlawanan, aliran

pertama adalah udara yang berada pada sisi tabung, aliran ini mengalir ke arah hot output. Sedangkan aliran kedua adalah aliran pada pusat tabung, aliran ini mengarah ke cool output. Pada penelitian kali ini tabung vorteks yang digunakan berjenis counter flow sehingga aliran pada pusat silinder mengalir berlawanan arah dengan aliran pada sisi tabung. Fenomena ini diperoleh dari pemampatan pada sisi hot output yang memaksa aliran untuk bergerak ke arah sebaliknya, hal ini dimungkinkan karena pada center aliran vorteks memiliki tekanan yang lebih rendah dibandingkan sisi tepi aliran vorteks tersebut. Untuk mempermudah pemahaman, dapat dilihat pada gambar 1.1 berikut berupa bagan aliran yang terjadi di dalam tabung vorteks.



a) Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari hubungan jumlah alur pada nosel, ukuran sudut kontrol valve dan tekanan inlet terhadap suhu udara yang dihasilkan tabung vorteks, sehingga menentukan pengaturan pada tabung vorteks untuk performa terbaik.

b) Batasan Masalah

- a) Menyiapkan tabung vorteks dengan material stainless steel dengan diameter 10 mm, ketebalan 2 mm dan panjang tabung 10,6 cm sebagai alat pengujian.
- b) Memberikan beberapa perlakuan pada penelitian, diantaranya :
 - Memberikan tekanan inlet sebesar 1, 2 dan 3 bar
 - Membuka valve hot out put secara penuh dan $\frac{1}{2}$ terbuka.
 - Memberikan nosel dengan jenis 2, 4 dan 6 alur.
 - Memberikan kontrol valve dengan ukuran sudut yang berbeda. Diameter yang digunakan adalah 6 mm, dengan ukuran sudut 30°, 60° dan 90°.

c) Manfaat

- a) Memahami pengaruh yang terjadi saat dilakukan perubahan terhadap sudut kontrol valve, jumlah alur nosel dan tekanan udara.
- b) Mengetahui pengaturan yang dapat memberikan kinerja maksimal pada tabung vorteks.

d) Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini terbagi dalam beberapa bab yang dapat dirincikan sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang, tujuan, batasan masalah, manfaat, sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini memuat teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan, hasil-hasil serta kesimpulan dari penelitian terdahulu, serta persamaan dan pengertian yang didukung penelitian terdahulu.

BAB III Metode Penelitian

Bab ini memuat prosedur pelaksanaan penelitian, peralatan yang digunakan, peralatan pendukungnya.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Bab ini memuat grafik hasil analisa yang diperoleh, serta pembahasan dari seluruh data.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan dari seluruh data yang diperoleh serta saran bagi penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Vorteks

Vorteks adalah suatu aliran fluida yang bergerak secara berputar membentuk pusaran terhadap satu titik pusat berupa sumbu imajiner. Sumbu imajiner ini dapat berupa sebuah garis lurus atau melengkung sesuai dengan keadaan lingkungan pada aliran vorteks tersebut. Aliran vorteks dapat terbentuk karena adanya perbedaan kecepatan pada lapisan fluida yang berdekatan.



Gambar 2.1 Aliran vorteks *

Aliran vorteks juga dikenal sebagai aliran pulsating atau aliran yang berputar pada suatu saluran pipa dikarenakan terjadinya perubahan mendadak seperti belokan atau perubahan diameter pipa. Aliran vorteks cenderung dianggap sebagai suatu kerugian pada suatu aliran, namun belakangan justru sudah dikembangkan dalam dunia industri, baik fabrikasi, pertambangan, pengeboran minyak dalam proses pemisahan air dan minyak serta dalam industri-industri kimia.

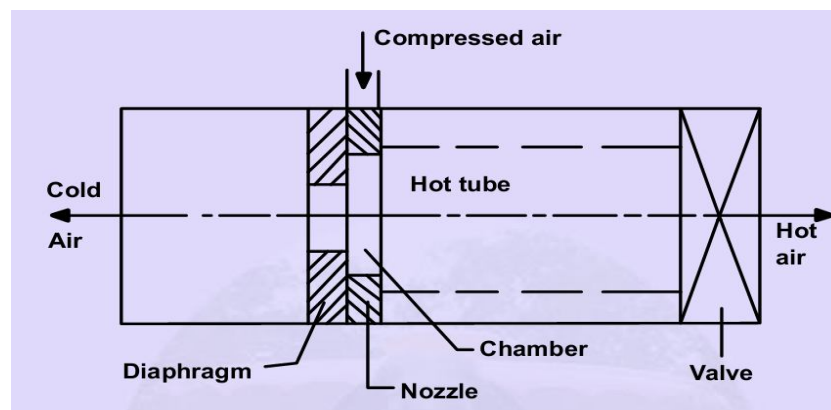
2.2. Tabung Vorteks

Tabung vorteks atau juga dikenal dengan nama *Ranque-Hilsch Tube* pertama kali ditemukan oleh *Georges J. Ranque*, fisikawan Prancis pada tahun 1931. Tabung *Ranque-Hilsch* adalah sebuah alat sederhana yang bekerja tanpa terjadi laju perpindahan materi (Hansske et al., 2007). Pada awal pembuatannya alat ini digunakan untuk penelitian proses pemisahan partikel gas pada fluida dengan membuat pusaran paksa. Penemuan ini sempat ditinggalkan karena dianggap tidak efisien, pada tahun 1947 seorang insinyur Jerman *Rudolf*

Hilch berhasil memperbaiki disain dan kinerja alat ini. Semenjak itu banyak peneliti berusaha mencoba untuk mengoptimalkan efisiensi kinerja tabung vorteks.

Keberhasilan *Rudolf Hilch* menemukan perubahan temperatur udara pada tabung vorteks, saat ini menjadikan suatu yang sangat menguntungkan. Pada awalnya tabung vorteks hanya digunakan sebagai alat pemisah partikel fluida namun ternyata perubahan suhu yang terbentuk justru dapat dijadikan keuntungan yang lebih menarik dalam dunia industri.

Tabung vorteks adalah alat yang menghasilkan udara dingin dan udara panas secara bersamaan. Tabung vorteks dapat dimanfaatkan sebagai pendingin atau juga sebagai pemanas tergantung dari seting yang diberikan. Sumber energi alat ini dapat dikatakan murah karena hanya menggunakan udara terkompresi.



Gambar 2.2 Skema tabung vorteks**

Gambar 2.2 adalah skema sederhana tabung vorteks, gambar tersebut menunjukkan bagian-bagian tabung vorteks. Aliran udara akan berawal dari saluran inlet kemudian nosel dan chamber, dilanjutkan pada hot tube, valve dan hot air outlet, kemudian aliran berbalik dan berakhir di cold air outlet.



Gambar 2.3 Skema aliran dalam tabung vorteks ***

Gambar 2.3 menunjukkan bagaimana aliran yang terbentuk di dalam tabung vorteks. Aliran yang berotasi di sepanjang silinder berawal dari chamber menuju hot end kemudian mengalir kembali menuju cold end melalui pusat silinder.

2.3. Aplikasi Tabung Vorteks

Vorteks tube sudah digunakan dalam dunia industri sebagai proses pendingin dan pemanas karena bentuknya yg praktis, ringkas, ringan serta alat yang tidak berisik (*Bruno, 1992*). Udara bertemperatur rendah yang dihasilkan oleh tabung vorteks banyak digunakan dalam dunia industri, seperti pada industri logam, efek tabung vorteks digunakan untuk mendinginkan coolant pada alat-alat produksi seperti bubut, freis, dan lain sebagainya. Kemudian pada industri pengecoran logam, efek tabung vorteks juga dimanfaatkan sebagai penyuplai udara dingin pada baju khusus yang digunakan di area-area panas seperti pada seragam astronot.



Gambar 2.4: Vorteks tube digunakan sebagai pendingin pada coolant mesin bubut. (NEX FLOW)

Gambar 2.4. menunjukkan tabung vorteks yang digunakan pada pendingin mesin produksi, pada alat ini fluida yang digunakan adalah cairan coolant

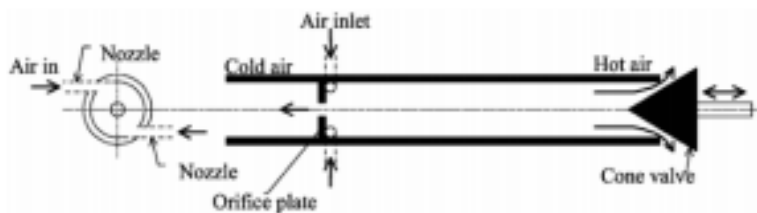


Gambar 2.5 Tabung vorteks digunakan sebagai suplai udara dan pendingin pada baju kerja.

Pada gambar 2.5 tabung vorteks digunakan sebagai pendingin baju kerja dan suplai udara sehingga fluida yang digunakan adalah udara. Kedua aplikasi tersebut menunjukkan bahwa tabung vorteks dapat digunakan dengan fluida cair maupun gas sehingga mudah digunakan dan diaplikasikan.

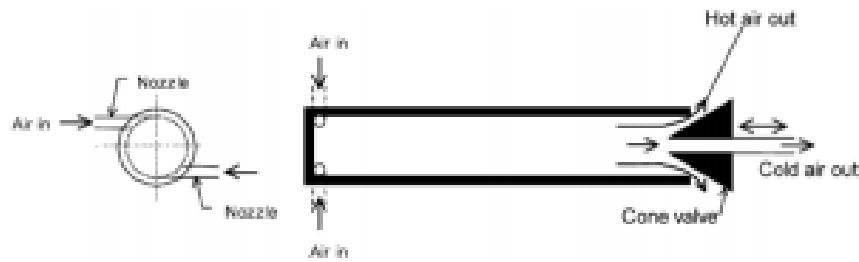
2.4. Jenis Tabung Vorteks

Ada dua jenis tabung vorteks yang dikenal saat ini yaitu *counter-flow vortex tube* dan *uni-flow vortex tube*. Kedua jenis tabung vorteks ini masih digunakan dalam industri, namun yang lebih populer adalah *counter-flow vortex tube*. (Giorgio De Vera, 2010)



Gambar 2.6 *Counter-flow vorteks tube*.***

Gambar 2.6 menunjukkan skema kerja dari *counter-flow vortex tube*, sistem ini menempatkan cold outlet pada posisi berlawanan arah dengan hot outlet. Sistem ini lebih banyak digunakan karena dianggap lebih efisien dengan perbedaan suhu yang dihasilkan antara cold dan hot outlet cukup tinggi.



Gambar 2.7 *Uni-flow vorteks tube* ***

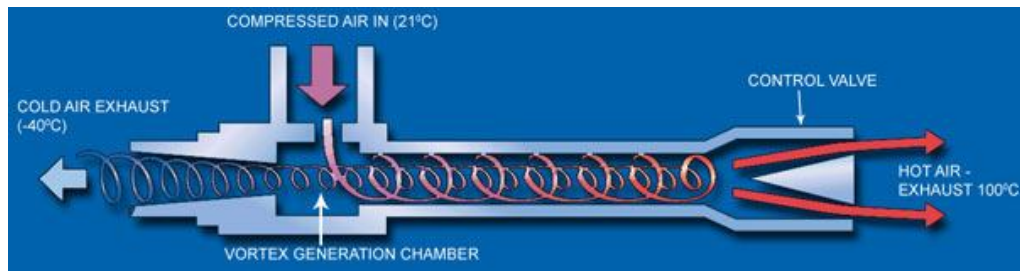
Gambar 2.7 menunjukkan skema kerja *uni-flow* tabung vorteks. *Uni-flow* tabung vorteks menempatkan cold air sejajar dengan hot outlet. Sistem ini tidak dapat menghasilkan kinerja yang optimal baik untuk udara dingin maupun udara panas. Sistem ini digunakan apabila ruang dan biaya perawatan dianggap lebih penting.

2.5. Prinsip Kerja Tabung Vorteks

Udara terkompresi dialirkan kedalam tabung vorteks melalui nosel, yang di alirkan dengan sudut tangensial terhadap pusat silinder maka aliran akan bergerak secara spiral di sepanjang sisi tabung. Aliran akan bergerak ke arah hot end dan akan terhambat oleh *control valve*. Hambatan oleh *control valve* mengakibatkan peningkatan tekanan di sekitar hot end dan memaksa aliran balik bergerak kearah cold end. Aliran balik ini mengalir melalui sumbu silinder karena pada bagian ini memiliki tekanan yang lebih rendah. Aliran akan mulai mengalir dari hot end yang bertekanan tinggi ke sisi tekanan rendah di cold end. (Ranque-Hilsch, 1933)

Selama proses mengalirnya udara secara vorteks didalam tabung vorteks, perpindahan energi berlangsung secara continu antara udara balik dan udara maju. Perpindahan energi ini mengakibatkan penurunan suhu pada udara balik dan peningkatan suhu pada udara maju (Frohlingsdorf dan H. Unger). Aliran udara balik akan mengalir keluar melaui diafragma dan berakhir di cold outlet, sedangkan udara maju akan keluar melalui celah bukaan *control valve* dan berakhir di hot outlet. Dengan mengatur bukaan *control valve*, maka kuantitas dan temperatur udara dingin dapat divariasikan.

Gambar 2.8 berikut akan menggambarkan sistem kerja serta aliran udara di dalam tabung vorteks.



Gambar 2.8 Sistem kerja serta aliran udara di dalam tabung vorteks. **

2.6. Teori Fenomena Transfer Energi

Tabung vorteks dapat menghasilkan udara panas dan dingin secara bersamaan tanpa ada perpindahan materi, penambahan alat penukar kalor, maupun input kalor dari luar system. Fenomena ini menjadi pertanyaan yang menarik tentang bagaimana proses perpindahan energi yang terjadi di dalam tabung vorteks. Hingga saat ini belum ada satu teori yang dapat menjelaskan secara pasti dan sempurna mengenai fenomena transfer energi yang mengakibatkan penurunan suhu udara pada satu sisi tabung vorteks dan peningkatan suhu pada sisi lainnya. Ada banyak penjelasan tentang fenomena ini namun dua teori yang populer hingga saat ini yaitu :

1. Teori Van Deemter

Udara bertekanan diinjeksikan masuk melalui nosel dan langsung membentuk aliran pusaran bebas dalam tabung vorteks yang disebabkan oleh percepatan sentripetal, Pusaran udara bergerak sepanjang sisi tabung hingga saat hampir mencapai katup pada ujung tabung, rotasi udara hampir berhenti sehingga terdapat suatu titik stagnan pada daerah ini. Pada saat tekanan di dekat katup ini melebihi tekanan atmosfer, suatu aliran udara axial balik mulai terbentuk. Aliran udara ini bersinggungan langsung dengan arus pusar bebas yang bergerak dengan cepat di sisi tabung yang mengakibatkan udara balik pada axial di ujung katub ikut bergerak dan menjadi arus pusaran paksa dengan arah rotasi yang sama dengan sisi luar namun arah alirannya berlawanan. Energi yang dibutuhkan untuk membentuk dan menjaga pusaran paksa balik di sumbu tabung diperoleh dari arus pusaran pada sisi tabung. Hal ini mengakibatkan adanya laju aliran energi momentum dari lapisan udara sisi tabung terhadap arus pusar balik di sumbu tabung. Kecepatan rotasi arus pusar pada sisi tabung berkurang secara perlahan dari sisi nosel ke sisi katup, sehingga terdapat bidang-bidang geser relative

yang bergerak menuju katup. Akibatnya terdapat perpindahan energi yang kontinyu dari bidang nosel ke bidang katup, hal ini menyebabkan pemanasan pada udara yang menuju katup.

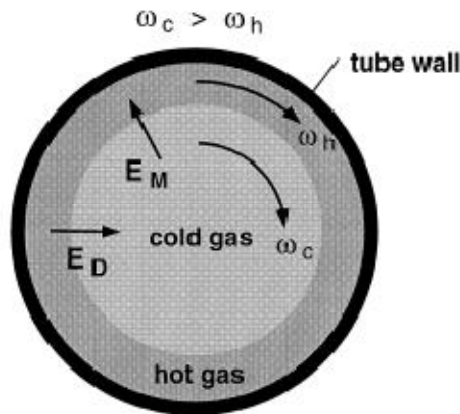
2. *Teori Prof. Parulekar*

Udara memasuki tabung secara tangensial dengan bantuan nosel dan membentuk arus pusar bebas. Arus pusaran tersebut bergerak sepanjang dinding tabung. Pada daerah mendekati katub, pusaran udara hampir berhenti berputar karena udara dimampatkan oleh katub yang berbentuk kerucut meruncing. Tekanan udara di daerah ini meningkat dan melebihi tekanan udara luar pada sisi ujung yang lain sehingga udara mulai bergerak menuju sisi bertekanan rendah dan aliran udara balik di pusat tabung mulai terbentuk. Aliran balik ini berkontak langsung dengan pusaran bebas di sisi tabung sehingga memaksa aliran pada pusat tabung turut bergerak berputar searah dengan putaran luar dengan kecepatan tinggi membentuk arus pusaran paksa. Energi yang dibutuhkan untuk membentuk arus pusar paksa pada aliran di sumbu tabung diperoleh dari arus pusar bebas di sisi tabung. Meski demikian, aliran energi tersebut jauh lebih kecil dibandingkan dengan perpindahan energi dari sumbu tabung ke sisi tabung, sehingga akibatnya terdapat netto perpindahan energi radial keluar dan menuju katup. Jadi aliran udara disisi tabung akan menjadi panas sedangkan aliran udara di sumbu tabung akan menjadi dingin.

2.7 Penelitian Terkait.

2.7.1 Frohlingsdorf dan H. Unger

Kedua peneliti ini menggambarkan pemisahan aliran udara panas dan dingin dalam vorteks motion dengan aliran yang terjadi pada tabung vorteks berjenis (*Counter flow vorteks tube*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9

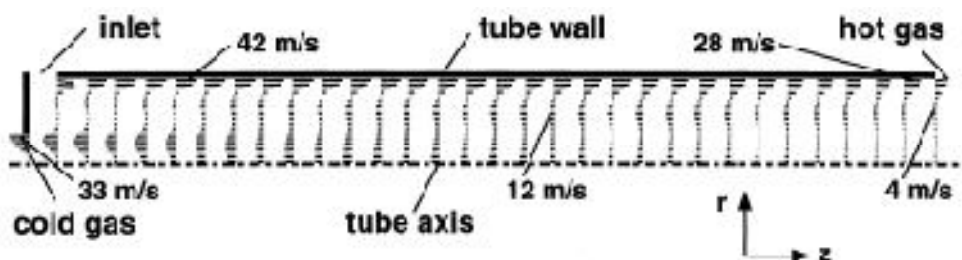


Gambar 2.9 Arah aliran energi dan perbedaan temperatur di dalam tabung vorteks.

Gambar 2.9 menunjukkan arah aliran udara dingin (cold gas) dan aliran udara panas (hot gas). Pada sistem tersebut udara dingin pada bagian inti motion memiliki angular viscositas yang lebih tinggi daripada udara panas pada bagian luar (*caharcteristic of free vorteks, e.g. Lewins et al., 1999*). Tegangan geser (*Shear stresses*) yang diperoleh dari momentum aliran cenderung mengarah keluar kearah aliran udara panas sehingga diperoleh EM fluks energi mekanik yang yang dapat mengakibatkan perpindahan energi ke bagian tepi aliran dan memanaskan aliran udara di tepi. Sedangkan ED adalah aliran rambatan panas ke inti vorteks secara natura.

Para peneliti menyimpulkan bahwa aliran energi (*work fluks*) yang dikeluarkan dari aliran inti, lebih tinggi dari panas (*heat transfer*) aliran di sisi silinder yang merambat ke inti, ini menyebabkan aliran maju (*Hot gas*) mengalami kenaikan suhu dan aliran balik (gas dingin) mengalami penurunan suhu.

Penampakan batas-batas kecepatan laju aliran di dalam tabung vorteks pada penelitian *Frohlingsdorf dan H. Unger* ditunjukkan pada gambar 2.10



Gambar 2.10 Hasil simulasi kecepatan aliran dalam tabung vorteks.

Gambar 2.10 menjelaskan kecepatan laju aliran di dalam tabung vorteks. Pada gambar tersebut ditunjukkan adanya dua kecepatan aliran dengan arah yang berlawanan. Pada sisi tepi, menunjukkan aliran udara maju pada tabung vorteks, aliran ini bergerak dari sisi inlet

menuju hot end dan mengalami penurunan kecepatan. Kecepatan di dekat sisi inlet adalah 42m/s kemudian mengalami penurunan hingga menjadi 28 m/s didekat sisi hot end. Sementara itu pada bagian sumbu silinder terlihat ada aliran balik yang mengalir dari hot end menuju cold end dan mengalami kenaikan kecepatan laju aliran. Terlihat pada gambar bahwa aliran mulai bergerak dengan kecepatan 4 m/s kemudian terus meningkat menjadi 12 m/s dan berakhir dengan kecepatan 33 m/s pada cold out put.

2.7.2. Orhan Aydin dan Muzaffer Baki

Penelitian ini menggunakan vorteks tube berjenis counter flow vorteks tube. Dengan spesifikasi sebagai berikut :

D = diameter dalam pipa = 18 Milimeter

L = panjang tabung (tabung Vorteks) = 250, 350, 450, 550, 650 dan 750 Milimeter

DC = diameter keluaran udara dingin (*Cold out put*) = 5 mm.

DH = diameter keluaran udara panas (*Hot out put*) = 6 mm.

DN = diameter diafragma (Nose) = 5, 6 dan 7 mm.

P = tekanan udara yang digunakan antara 2 sampai 5 bar

α = *control valve* yang digunakan adalah 45° , 50° , 55° dan 60°

Fluida yang digunakan dibagi menjadi 3 jenis diantaranya : udara, gas nitrogen (N₂) dan oksigen (O₂).

Dalam penelitian ini perbandingan variable massa udara dingin dan massa udara yg masuk, ditetapkan nilainya menjadi variabel “Y” seperti persamaan berikut.

$$y = \text{Cold gas mass ratio} = \frac{\dot{m}_c}{\dot{m}} \quad (2.2)$$

Dimana :

$\dot{m}_c$ = laju massa aliran udara dingin

$\dot{m}$ = massa aliran input

Ringkasan hasil penelitian

1. Perbandingan antara ($\Delta T_H = T_H - T_i$) dan ($\Delta T_C = T_i - T_C$) dengan penggantian ukuran *control valve* 50° , 55° dan 60° . Diperoleh bahwa *control valve* 50° dapat menghasilkan perbandingan udara dingin dan panas terbaik jika dibandingkan dengan *control valve* yang lain.
2. Perbandingan suhu udara yang diperoleh dengan penggantian ukuran nosel 5 mm, 6 mm dan 7 mm, diperoleh bahwa nosel dengan ukuran 6mm dapat menghasilkan ΔT terbaik dibandingkan nosel yang lain.

3. Perbandingan suhu yang diperoleh dengan memvariasikan panjang tabung vorteks dengan ukuran 250 mm, 350 mm, 550 mm, dan 750 mm diperoleh hasil bahwa tabung dengan panjang 350 mm menghasilkan ΔT tertinggi dibandingkan variasi ukuran panjang tabung yang lain.
4. Pada percobaan ini peneliti bersangkutan menyimpulkan bahwa dimensi tabung vorteks terbaik untuk menghasilkan performa maksimal adalah tabung dengan diameter pipa (D) sebesar 18 mm, panjang (L) 350 mm, diameter nosel (nosel) DN sebesar 6 mm dan sudut katup *control valve* pada 50° .
5. dengan memvariasikan fluida gas yang digunakan, diantaranya gas Nitrogen, oksigen dan udara. Diperoleh bahwa nitrogen dapat menghasilkan ΔT tertinggi, kemudian oksigen dan udara. Hal ini diperkirakan karena adanya perbedaan massa jenis gas. Dimana nitrogen memiliki massa jenis terendah, disusul oksigen dan udara dengan massa jenis tertinggi.
6. percobaan ini juga mengukur suhu permukaan luar pipa. Nilai maksimal yang diperoleh adalah pada panjang tabung 250 mm dengan dengan hasil pada saat tekanan 5 bar suhu yang dihasilkan adalah 84°C kemudian pada tekanan 4 bar, temperatur yang diperoleh adalah 76°C dan pada tekanan 3 bar, temperatur yang diperoleh adalah 67°C .

2.7.3. HM Skye, GF Nellis dan SA Klein

Kedua peneliti ini melakukan penelitian dengan membandingkan hasil komputasi dengan computation fluid dynamics (CFD) dengan perhitungan secara empirical. Tabung vorteks yang digunakan adalah tabung vorteks yang dijual di pasaran. CFD yang digunakan berjenis axis symmetric dimensi.

Nilai dari energi kalor yang terbentuk pada cold end dan hot end dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\dot{Q}_h = \dot{m}_h c_p (T_h - T_{in}) \quad (2.6)$$

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_c c_p (T_{in} - T_c) \quad (2.7)$$

Dimana :

$\dot{m}_h$ = mass flow rate dari aliran udara panas

$\dot{m}_c$ = mass flow rate dari aliran udara dingin

T_h = temperatur udara panas.

TC = suhu udara dingin.

T_{in} = Inlet temperatur gas.

CP = panas spesifik dari suhu Gas ke suhu kamar.

Jika efek heatloss diabaikan, maka total energi kalor yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\dot{Q}_{tot} = \frac{\dot{Q}_c + \dot{Q}_h}{2} \quad (2.8)$$

Dimensi tabung vorteks (Vorteks tabung) yang digunakan dalam percobaan adalah sebagai berikut:

panjang tabung vorteks = 10,6 cm.

diameter saluran inlet = 1,14 cm.

luas total saluran nosel = 8,2 milimeter persegi.

Diameter cold end = 6,2 mm. Diameter hot end = 11,0 mm.

Sudut katup control aliran (*Control valve*) = 75.48^o.

Kecepatan linear (kecepatan tangensial) (V_{θ}) = 0.97VN.

Kecepatan radial (kecepatan Radial) (V_r) = 0.25VN.

Data di atas diperoleh dari sumber “HM Skye . Comparison of CFD analysis to empirical data in a commercial Vorteks tube”

Percobaan dilakukan dengan melakukan beberapa persiapan, mulai dengan menyiapkan kondisi batas (boundary condition) untuk program CFD yang akan digunakan, laju aliran massa inlet, temperatur inlet serta suhu stagnasi suhu lingkungan dan arah vektor aliran. Aliran keluar dari tabung vorteks berupa Cool dan hot output, didefinisikan sebagai tekanan keluar dan dinding tabung vorteks dianggap sebagai no-slip boundary.

Laju inlet aliran diatur pada kisaran 6,2-6,3 kaki kubik per menit (cfm) dengan tekanan 67,5-68,5 poun per inci kubik (psig) dan temperatur inlet antara 21,1-21,3 derajat celcius, sehingga laju aliran massa diperkirakan 8,26-8,43 gram per detik (g/s).

Perbedaan antara tabung vorteks yang digunakan dengan model cfd yang digunakan adalah sebagai berikut :

-menggunakan 6 buah inlet yang membentuk sudut tangensial untuk menghasilkan aliran vorteks. Sehingga luas penampang inlet yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$V_N A_N = A_M V_r \quad (2.9)$$

Dimana :

A_N : luas penampang aktual pada tabung vorteks

A_M : luas penampang yang akan digunakan pada model CFD

- Hot outlet pada tabung vorteks merupakan satu aliran tunggal pada satu outlet.

Sedangkan pada CFD, hot outlet akan keluar berupa lairan berbentuk cincin yang keluar dari sisi pipa.

Dari hasil pengujian yang dilakukan, para peneliti menyimpulkan :

1. CFD modeling memiliki kemampuan untuk menggambarkan skema pemisahan energi.
2. Pengurangan luas penampang pada saluran inlet untuk model CFD sebesar 23% menjadikan perkiraan perhitungan lebih akurat dan mendekati sebenarnya. Hal ini disebabkan karena ada perbedaan hasil antara permodelan dengan hasil aktualnya. Angka aktual yang diperoleh lebih rendah sekitar 20% dari perkiraan pemodelan.

Beberapa penelitian memfokuskan pada perbedaan materi tabung vorteks itu sendiri. Seperti, Singht et al. Yang menggunakan tabung vorteks dengan bahan PVC, Aydin dan Baki, menggunakan pipa yang terbuat dari alumunium dan stainless steel. Saidi dan Allafa Yazdi menggunakan pipa PVC dan baja, Ahibom et al menggunakan pipa yang terbuat dari kaca tahan panas (pyrex), Gao menggunakan tabung kuningan, smith dan Pongjet menggunakan pipa acrylc dan kaca. Namun dari sekian banyak pengujian, hanya Saidi dan Allaf Yazdi yang menyimpulkan bahwa pipa PVC dapat menghasilkan performa yang terbaik. Alasannya adalah permukaan yang halus serta konduktivitas termal yang lebih rendah dibandingkan dengastainless steel.

Sedangkan hasil dari hubungan antara panjang tabung dengan performa tabung vorteks disimpulkan oleh beberapa penelitian diantaranya :

2.7.2 Singh et al,

menggunakan tabung dengan diameter (D) 15,30mm, dengan tekanan udara inlet sebesar 4 bar dan dengan variasi panjang diantaranya 45D, 50D, dan 55D. Menyimpulkan bahwa tidak ada pengaruh terhadap temperatur udara yang dihasilkan.

2.7.3 Aydin dan Baki,

Menggunakan tabung berdiameter 18mm, tekanan inlet 2-5 bar. Sedangkan variabel L yang digunakan adalah 13,58D; 15,44D; 30,55D; dan 41,66D. Performa terbaik dapat diperoleh pada panjang 15,44D.

2.7.4 Aljuwayhel et al,

Menggunakan tabung dengan diameter 20mm dan variable panjang yang diberikan diantaranya 5D, 15D dan 20D. Disimpulkan bahwa tabung dengan panjang 15D dan 20D memiliki performa yang lebih baik dibanding tabung dengan panjang 5D.

Penelitian yang terkait dengan kerja alat terhadap penggunaan variasi *control valve* adalah.

2.7.5 Ayidin dan Baki

Mempelajari tentang katub control yang digunakan untuk mengatur laju aliran udara dalam tabung vorteks. Dari penelitian yang dilakukan, ditentukan sudut control terbaik adalah 50° dengan variable sudut valve yang digunakan antara 45° hingga 60° . Dengan diameter tabung sebesar 18mm dan tekanan antara 2 sampai 5 bar.

2.8 Teori Tabung Vorteks

2.8.1. Termodinamika

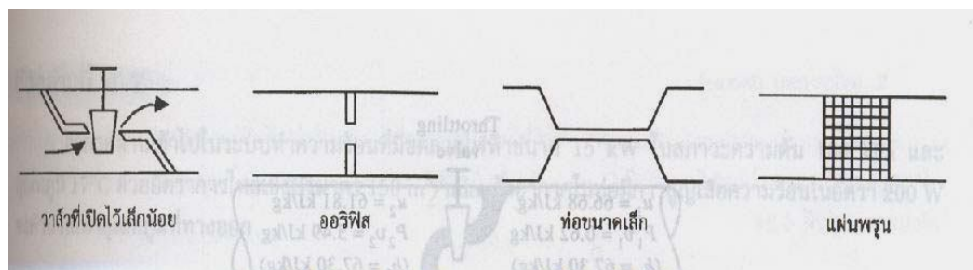
Dalam teori termodinamika menyebutkan :

1. Apabila sejumlah gas mengalami pengembangan yang sangat cepat dari keadaan tekanan tinggi menjadi tekanan rendah secara adiabatik. Sebagai akibat pengembangan adiabatik ini, gas mengalami perubahan suhu bisa positif atau negatif. artinya suhu dapat naik atau turun sebagai akibat pengembangan ini. Gejala ini disebut sebagai efek *Joule-Thompson*.

2. Jika pengembangan udara melewati suatu hambatan. Maka nilai enthalpi juga akan berkurang dan suhu udara juga akan turun.

2.8.2. Prinsip disain katub

Katub atau valve adalah sebuah perangkat yang mengatur, mengarahkan atau mengontrol aliran dari suatu fluida (gas, cairan, padatan terfluidisasi) dengan membuka, menutup, atau menutup sebagian dari jalan alirannya. Pada suatu saluran fluida valve adalah suatu hambatan yang juga dapat mengakibatkan penurunan tekanan.



Gambar 2.11: Gambar jenis-jenis throttle (katub penghambat)

Throttle bekerja pada kondisi $\dot{Q} = 0$, dikatakan demikian karena selama fluida melewati throttle, pelepasan energi ke lingkungan sangat kecil atau dianggap tidak ada atau dikatakan sistem ini adiabatik. $\dot{W} = 0$ pada beberapa alat seperti injector bahan bakar, tidak ada work yang terlibat selama sistem bekerja. $\Delta k = 0$, meskipun terjadi perubahan kecepatan setelah fluida melewati sistem, namun secara umum efek ini dianggap tidak ada.

Persamaan kekekalan energi.

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} \left[(h_2 - h_1) + \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \right) + g (z_2 - z_1) \right] \quad (2.10)$$

Dimana

$$h_2 \cong h_1 \quad (2.11)$$

dengan kondisi enthalpi konstan maka dapat dikatakan bahwa sistem ini isentropik.

Dimana, $h = u + Pv$ maka,

$$u_1 + P_1v_1 = u_2 + P_2v_2 \quad (2.12)$$

perubahan energi yang mungkin terjadi disebabkan oleh perubahan energi dalam (u) dan energi aliran itu sendiri (Pv).

1. Apabila energi aliran meningkat ($P_1v_1 < P_2v_2$). Energi dalam akan berkurang ($U_1 < U_2$) maka temperatur akan menurun.
2. Apabila energi aliran menurun ($P_1v_1 > P_2v_2$). Energi dalam akan meningkat ($U_1 > U_2$) maka temperatur akan meningkat.

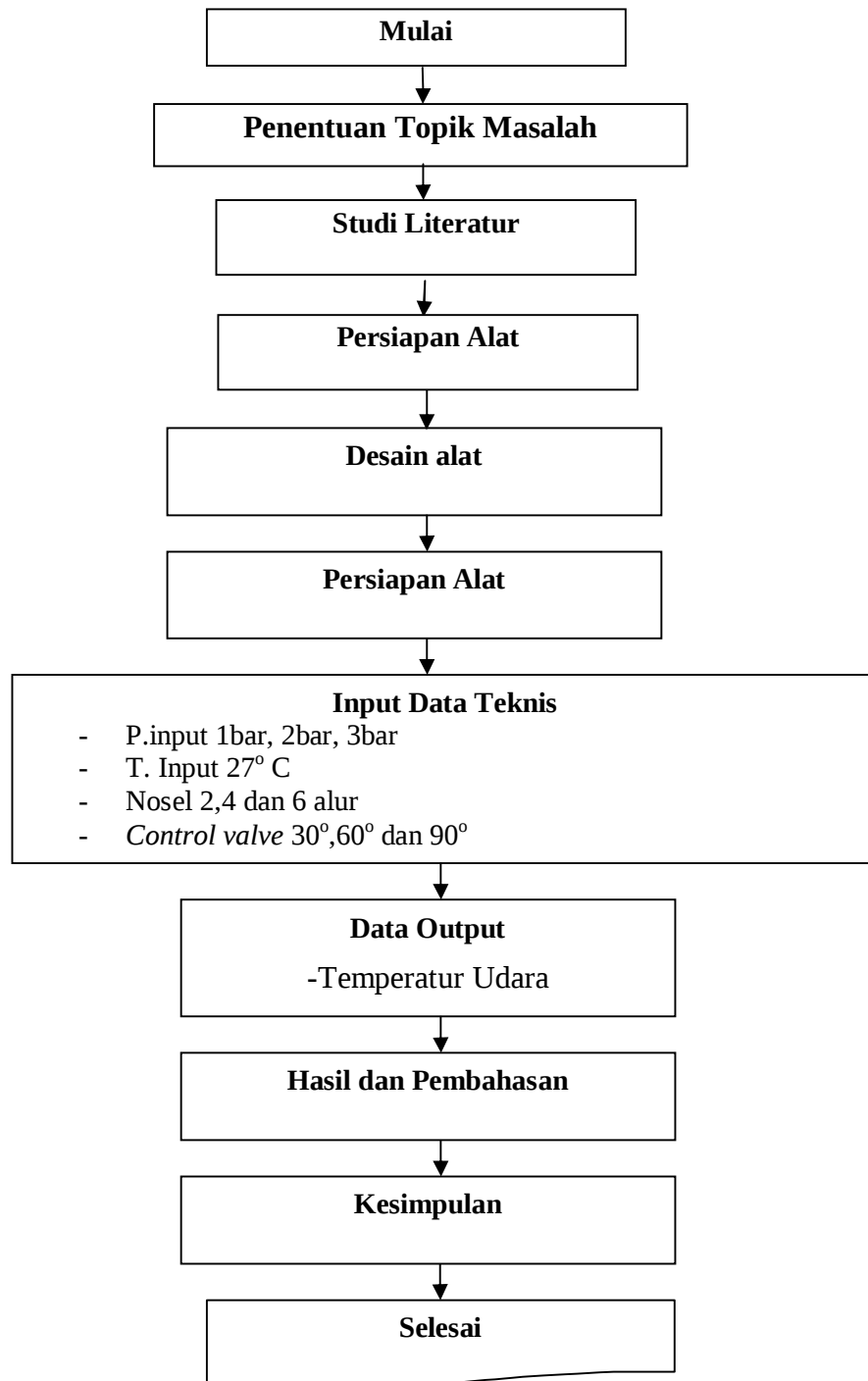
Aliran udara dalam tabung vorteks dibuat sebaik mungkin agar sesuai dengan aliran streamline untuk menghindari efek perubahan energi dalam atau perubahan energi aliran itu sendiri.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Prosedur penelitian.

Skema prosedur penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1

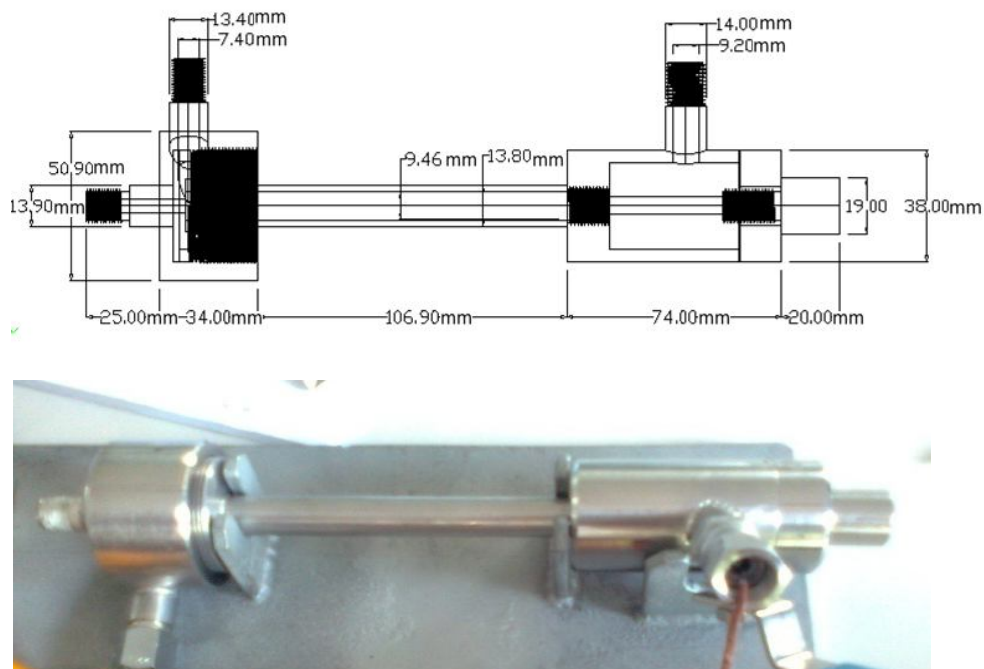


Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

3.2 Desain Alat

Pada penelitian ini, desain tabung yang digunakan menggunakan desain yang dibuat dari penelitian sebelumnya dengan melakukan beberapa perubahan untuk melihat perbedaan performa yang dihasilkan. Perubahan itu diantaranya perbedaan ukuran inlet, jumlah alur pada nosel, serta ukuran sudut pada *control valve*.

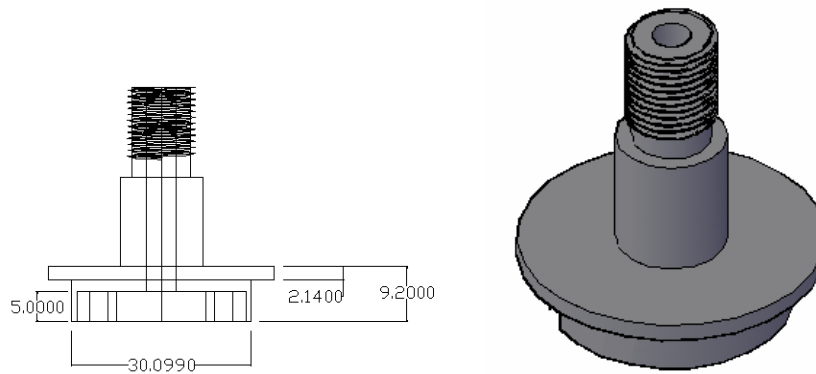
3.2.1 Desain Alat



Gambar 3.2 Disain dan Tabung vorteks yang digunakan untuk penelitian

Desain alat seperti ditunjukkan pada gambar 3.2 merupakan tabung vorteks yang digunakan selama proses percobaan. Material yang digunakan adalah stainless stell, karena dianggap memiliki permukaan yang relatif halus sehingga rugi-rugi aliran akibat gesekan dengan permukaan (head loss minor) dapat diminimalkan.

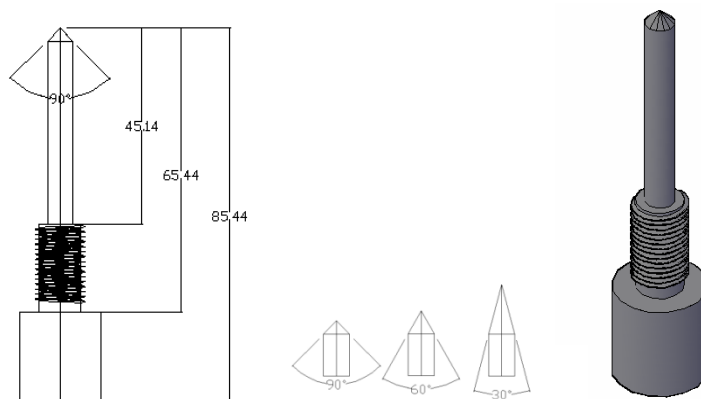
3.2 Nosel



Gambar 3.3 Nosel Vorteks

Gambar nosel seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.3 adalah bagian yang berfungsi untuk membentuk *VorteksMotion* pada awal aliran. Nosel yang digunakan memiliki 2, 4 dan 6 alur.

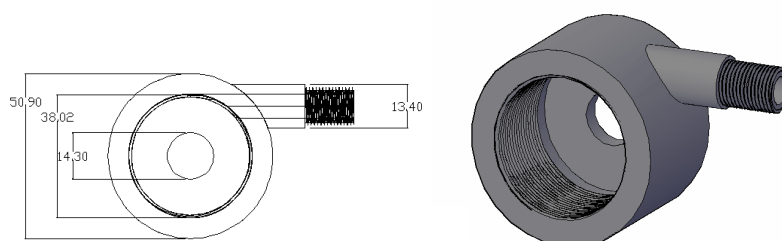
3.3 Control valve



Gambar 3.4 Katub control aliran udara panas (*control valve*)

Control valve adalah bagian yang mengatur laju aliran udara panas yang keluar melalui hot end. *Control valve* yang digunakan pada penelitian ini memiliki tiga variasi ukuran pada ujungnya yaitu 30°, 60° dan 90°. Perbedaan ukuran sudut ini diharapkan akan menghasilkan performa yang berbeda dan akan dibuktikan pada penelitian ini.

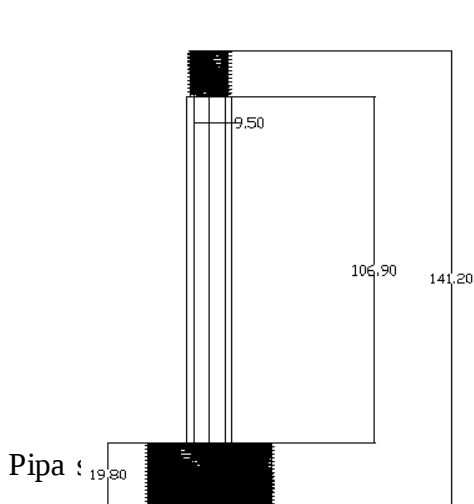
3.4 Chamber



Gambar 3.5 Saluran inlet dan diaphragma.

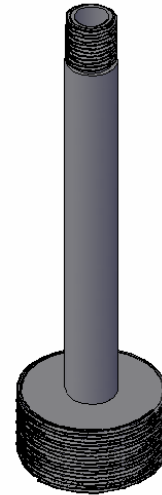
Gambar 3.5 menunjukkan bagian saluran inlet tabung vorteks yang menjadi satu potongan dengan bagian diaphragma. Diaphragma adalah bagian yang nantinya menahan posisi nosel berada diantara chamber dan cold end, dimana bagian dalam dari diaphragma ini disebut chamber dan bagian luarnya disebut cold end, berupa saluran keluaran dari tabung vorteks yang menghasilkan suhu udara relatif lebih rendah dari sisi keluaran yang lain.

3.4 Vorteks Line Tube



3.6 Vorteks Tube

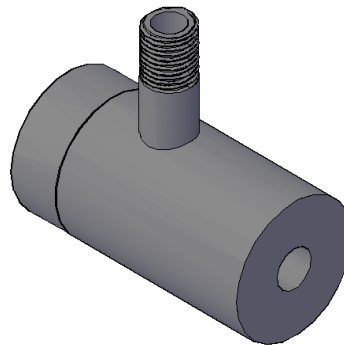
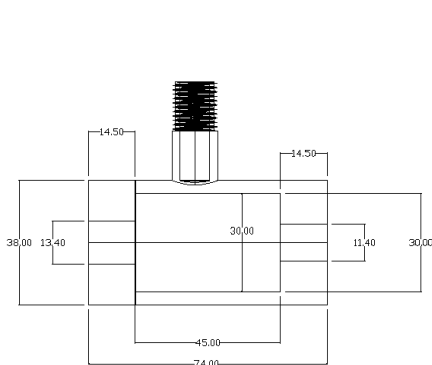
Gambar 3.6 adalah



terjadinya

pusaran vorteks pada vortex tube, panjang tabung ini 10,0 cm. Dengan diameter pipa 9,5 mm berbahan stainless steel.

3.5 Dudukan Valve dan hot end



Gambar 3.7 Hot end dan dudukan *control valve*

Dapat dilihat pada gambar 3.7. berupa saluran hot end, yaitu saluran pembuangan dari tabung vorteks yang menghasilkan suhu udara relatif lebih tinggi dari sisi yang lain. Pada bagian sisi alas tabung terlihat sebuah lubang yaitu dudukan *control valve*, sehingga pada saat penggantian ukuran *control valve*, *control valve* ini akan dipasang pada bagian ini.

3.4. Alat Pendukung

3.4.1. Alat ukur kecepatan angin (Anemometer).

Anemometer digunakan untuk mengukur kelajuan aliran pada keluaran udara panas dan dingin dari tabung vorteks yang nantinya digunakan untuk menghitung perbedaan debit aliran udara dari kedua sisi tersebut.

Data teknis anemometer yang digunakan dapat dilihat dari tabel 3.2. dan tabel 3.3. berikut.

Tabel 3.1 Data teknis Anemometer yang digunakan Merek : DIGICON DA-42.

Measurement	Range	Resolution	Accuracy
meters per second	0.4-30.0 m/s	0.1 m/s	$\pm(2 \% + 1 \text{ d})$
kilometers per hour	1.4-108.0 km/h	0.1 km/h	$\pm(2 \% + 3 \text{ d})$
feet per minute	80-5910 ft/min	10 ft/min	$\pm(2 \% + 2 \text{ d})$
nautical miles per hour	0.8-58.3 knots	0.1 knots	$\pm(2 \% + 2 \text{ d})$

Tabel 3.2 Data teknis Anemometer yang digunakan

Display	18mm Liquid Crystal Display (LC D) 3 ½ digits.
Measurement	m/s (meters per second) km/h (kilometers per hour) ft/min (feet per minute) knots (nautical miles per hour)
Operating Temperature	0 °C to 50°C (32 °F to 122 °F)
Measuring Range	0 °C to 60°C (32 °F to 140 °F)
Resolution	0.1 °C/0.1 °F
Accuracy	0.8 °C/0.5 °F
Operating Humidity	Less than 80 % RH.
Air Velocity Sensor Structure	Conventional twisted vane arms and low-friction ball-bearing design.
Temp. Sensor	Precision thermistor sensor. (type k)



Gambar 3.8 Anemometer

3.4.2. Alat ukur suhu (Termometer).

Termometer digunakan untuk mengetahui temperatur udara panas dan dingin yang dihasilkan dari performa tabung vorteks. Thermometer yang digunakan pada penelitian ini adalah automotive multi meter dengan merek *FLUKE 78*. Multi meter ini memiliki kemampuan untuk menghitung tegangan listrik (V), kuat arus (A), resistansi (Ω), RPM, frekuensi (Hz), dan temperatur (T). Data teknis multi meter *FLUKE 78* ditunjukkan pada tabel 3.4.

Tabel 3.3 Data teknis multi meter *FLUKE 78*

DC Voltage	Range: 400 mV - 300V, Accuracy: $\pm 0.3\%$, Best Resolution: 0.1 mV
AC Voltage	Range: 4V - 300V , Accuracy: $\pm 2.5\%$, Best Resolution: 0.001V
DC Current	Range: 4mA - 10A , Accuracy: $\pm 1.0\%$, Best Resolution: 0.001A
AC Current	Range: 40mA - 10A , Accuracy: $\pm 2.5\%$, Best Resolution: 0.01A

Resistance	Range: 400 W - 40 MW , Accuracy: $\pm 0.5\%$, Best Resolution: 0.1 W
Frequency	Range: 99.99 Hz - 99.99 kHz , Accuracy: $\pm 0.1\%$ Best Resolution: 0.01Hz
Temperature	Range: -40 °F to 1839 °F (-40°C to 999°C) , Accuracy: $\pm 0.3\%$ Best Resolution: 1°
Dwell Angle	Range: 0 – 120 , Accuracy: $\pm 2^\circ$, Best Resolution: 1°
Duty Cycle	Range: 0.0% - 99.9% , Accuracy: $\pm 0.2\%/kHz$, Best Resolution: 0.1%
RPM	Range: 60 - 7000 RPM , Accuracy: $\pm 0.2\%$, Best Resolution: 1 RPM
Safety	Designed to protection Class II per IEC 1010 overvoltage category II, CSA C22.2 No. 231, ANSI/ISA-S82, IEC 348 and UL 1244. Shock and vibration per MIL-T-28800 for a Class 2 instrument.
Fuse Information	Uses a 15A (892583, 871223 or 847793) replaceable internal fuse



Gambar 3.9 Multi meter *FLUKE 78*

3.4.3 Kompresor udara (Air Compressor).

Kompresor udara digunakan untuk memberikan udara bertekanan yang konstan pada tabung vorteks selama penelitian berlangsung. Pada penelitian ini kompresor yang digunakan adalah kompresor listrik dengan piston tunggal seperti ditunjukkan gambar 3.10



Gambar 3.10 Kompresor udara (Air Compressor)

3.4.4. Regulator tekanan udara (air pressure regulator)

Udara yang digunakan pada penelitian ini adalah udara bertekanan tertentu, sehingga dibutuhkan regulator tekanan untuk menghasilkan udara bertekanan tertentu secara konstan dan akurat. Pada penelitian ini regulator yang digunakan memiliki range 0 hingga 16 bar dengan merek *Festo* . Regulator yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.10.



Gambar 3.11 Regulator tekanan udara (Air Pressure Regulator)

3.5. Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian diawali dengan persiapan udara bertekanan pada compressor dengan tekanan > 3 bar sehingga dapat menjaga kestabilan tekanan yang dihasilkan saat percobaan. Sebelumnya dipastikan terlebih dahulu bahwa tabung compressor dalam keadaan

bersih dari materi-materi kotoran yg dapat mengganggu selama proses penelitian. Dilanjutkan dengan instalasi pressure regulator dengan saluran angin dari compressor dan dilakukan pengetesan pada tekanan 1,2, dan 3 bar.

Setelah perlengkapan dari compressor selesai dipersiapkan, kemudian dilakukan pencatatan temperatur lingkungan sebelum penelitian, temperature udara dari compressor dan udara lingkungan sekitar pada tempat penelitian berlangsung. Pencatatan ini bertujuan untuk menunjukkan perbedaan temperatur yg dihasilkan berbanding dengan udara lingkungan.

Setelah semua alat terpasang dengan baik, dan persiapan selesai, maka percobaan tabung vorteks dimulai dengan menyambungkan inlet tabung vorteks dengan saluran udara dari compressor. Percobaan dilakukan berulang-ulang dengan beberapa perbedaan variable diantaranya dengan pemasangan *control valve* secara bergantian sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan 30°, 60° dan 90°. Serta pengaturan tekanan sesuai dengan variable penelitian yaitu 1 barg, 2 barg dan 3 barg.

Memberi waktu beberapa saat untuk membuat alat berfungsi optimal kemudian memulai melakukan pengambilan data temperatur dengan meletakan sensor thermometer spada posisi 5mm kedalam pada kedua sisi hot end dan cold end dari tabung vorteks. Agar lebih jelas langkah ini dapat dilihat pada gambar 3.12 dan 3.13 kemudian dilakukan pencatatan temperatur dari masing-masing variable yang diberikan.



Gambar 3.12. Pengambilan data temperatur pada cold end.

Gambar 3.12 menunjukkan pengukuran suhu pada cold end, sensor suhu dari thermometer diletakan 5 mm kedalam lubang, terlihat pada layar display muncul angka -6 °C.



Gambar 3.13 Pengambilan data temperatur pada hot end

Gambar 3.12 dan 3.13 menunjukkan pengukuran temperatur pada hot end. Sensor suhu dari thermo meter diletakan pada posisi 5 mm ke dalam saluran untuk memperoleh hasil yang baik. Dapat dilihat pada layar display temperatur yg diperoleh adalah 30 °C.

Selain data temperatur, pencatatan juga dilakukan pada kecepatan aliran yang keluar dari cold end dan hot end untuk menghitung debit aliran. Pengukuran dilakukan dengan meletakan anemo meter dengan jarak 20 mm dari ujung exhaust seperti yang ditunjukkan gambar 3.14 dan gambar 3.15.



Gambar 3.14. Pengukuran kecepatan udara pada cold end



Gambar 3.15 Pengukuran kecepatan udara pada hot end.

Setelah semua percobaan selesai dilakukan dan dicatat, seluruh hasil penelitian direkap ulang dan diubah dalam bentuk grafik untuk mempermudah membandingkan hasilnya secara visualisasi.