

SKRIPSI

**ANALISIS EFISIENSI KOMPRESOR SENTIFUGAL DENGAN
VARIASI SUDUT BELOKAN SALURAN PIPA MASUK (*inlet*)**

Oleh:

MUH. YUNUS SINARI

D211 13 322



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2020

SKRIPSI

**ANALISIS EFISIENSI KOMPRESOR SENTIFUGAL DENGAN
VARIASI SUDUT BELOKAN PADA SALURAN PIPA MASUK
(*inlet*)**

OLEH :

MUH. YUNUS SINARI

D211 13 322

**Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS
HASANUDDIN MAKASSAR**

2020

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan mengikuti Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

JUDUL :

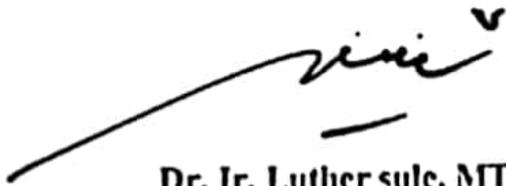
**ANALISIS EFISIENSI KOMPRESOR SENTIFUGAL DENGAN
VARIASI SUDUT BELOKAN PADA SALURAN PIPA MASUK
(inlet)**

MUL YUNUS SINARI

D211 13 322

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I



Dr. Ir. Luther sulc, MT,
Nip. 19770103 200801 1 009

Dosen Pembimbing II



Ir. Andi Mangkau, MT,
Nip. 19570914 198703 1 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin



Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. Ir. Eng. Jalaluddin, ST., MT
Nip. 19720825 200003 1 001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : MUH. YUNUS SINARI

Nim : D211 13 322

Judul skripsi : Analisis Efisiensi Kompresor Sentrifugal Dengan Fariasi Sudut Belokan Saluran Pipa Masuk (*Inlet*)

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pengamatan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau di tulis leh rang lain atau sebagai bahan yang pernah diajikan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Hasanuddin atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidabeneran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin.

Demikian pernyataan ini saya buat

Makassar, 26 Februari 2021

Yang membuat pernyataan



MUH. YUNUS SINARI

ABSTRAK

Muh. Yunus Sinari (D211 13 322), **Analisis Efisiensi Kompresor Sentrifugal Dengan Variasi Sudut Belokan Pipa Masuk (*inlet*)**. Dibimbing oleh Dr. Ir Luther Sule, MT. dan Ir. Andi Mangkau ,MT. Penelitian ini bertujuan untuk (1).Menghitung nilai tekanan udara dalam pipa saluran masuk dan saluran keluar untuk mengetahui besar nilai efisiensi pada setiap variasi sudut belokan.. (2). Menganalisis hubungan antara efisiensi kompresor yang dibutuhkan dan daya kompresor dengan memvariasikan besar sudut belokan pipa masuk (*inlet*). (3). Menganalisis besar sudut belokan pipa masuk (*inlet*) yang menghasilkan tekanan dan daya terbesar, Juga efisiensi terbesarnya. Penelitian ini berlokasi di Laboratorium Mesin Fluida, Deprtemen teknik mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin Gowa, mulai dari bulan Februari 2020 – April 2020, dengan melakukan pengamatan secara langsung tentang pengaruh variasi sudut belokan pipa masuk (*inlet*) terhadap efisiensi kompresor sentrifugal pada *unit HCCC Computer Controlled Centrifugal Compressor Demonstration (PC)*, Penelitian ini menggunakan sudut belokan pipa masuk yang divariasikan dengan sudut belokan: 0°, 45°, 90°, dan 180° dengan pembukaan katup saluran pipa masuk yakni 25%, 50%, 75%, dan 100% . Kompresor sentrifugal yang digunakan adalah kompresor satu tingkat dengan *impeller perpendicular*.

Kata Kunci : *Analisis Efisiensi Kompresor Sentrifugal Dengan Variasi Sudut Belokan Pipa Masuk (*inlet*).*

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji syukur kita panjatkan kehadiran Allah SWT, atas limpahan Rahmat dan Karunia-Nyalah sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul: **Analisis Efisiensi Kompresor Sentrifugal Dengan Variasi Sudut Belokan Pipa Masuk (*inlet*)**. Sholawat serta salam kita curahkan kepada Nabi Muhammad Shollallahu Alaihi Wasallam, serta keluarga dan para sahabatnya, hingga kepada umatnya di akhir zaman, Aamiin.

Tujuan penulisan skripsi ini untuk memenuhi sebagian syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) bagi mahasiswa program S-1 di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penghargaan dan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada Ayahanda tercinta **Sinari K.** dan Ibunda yang kusayangi **Tihan** yang telah mencurahkan segenap cinta dan kasih sayang serta perhatian moril maupun materil. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan Rahmat, Kesehatan, Karunia dan keberkahan di dunia dan di akhirat atas budi baik yang telah diberikan kepada penulis.

Penghargaan dan terima kasih penulis kepada Bapak **Dr. Ir. Luther Sule, MT.** selaku Dosen pembimbing I dan Bapak Ir. Andi Mangkau, MT. selaku Dosen pembimbing II yang telah banyak membantu baik dalam penulisan maupun pemikiran pada skripsi ini. Serta ucapan terima kasih.

Kepada :

1. Yth. Ibu Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu M.A selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
2. Yth Bapak Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Yth. Bapak Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, MT selaku Ketua Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah menyetujui dan menerima tugas akhir penulis.

4. Ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh dosen jurusan teknik mesin yang telah memberikan ilmunya.
5. Kepada staf jurusan teknik mesin, terkhusus kak sury, pak irwan dan juga pak Mansur yang telah banyak membantu.
6. Teman-teman seperjuangan mahasiswa jurusan Teknik Mesin angkatan 2013 (CHAZZIZ) yang telah memberi bantuan dan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir penulis.
7. Nicolaus Bayu Sanjaya mesin 2016 yang banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Nur anisa yang selalu mengingatkan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Teman-teman Teknik 2014 dan 2015 telah memberi bantuan dan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir penulis.
10. Serta semua pihak yang tidak dapat disebut satu per-satu yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu, penulis memohon saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaannya dan semoga bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Gowa, Juni 2020

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|-----|
| HALAMAN JUDUL | ii |
| LEMBAR PENGESAHAN | iii |
| ABSTRAK | iv |
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR TABEL | ix |
| DAFTAR GAMBAR | x |
| DAFTAR NOTASI | xi |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 LatarBelakang | 3 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4 Batasan Masalah | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 4 |
| | |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Definisi fluida..... | 5 |
| 2.2 Definisi Kompresor Sentrifugal..... | 6 |
| 2.3 Kompresor Sentrifugal Unit HCC..... | 8 |
| 2.3.1 Deskripsi..... | 8 |
| 2.3.2 Prinsip Kerja..... | 8 |
| 2.3.3 Spesifikasi..... | 9 |
| 2.4 Komponen Kompresor Sentrifugal..... | 10 |
| 2.4.1 Komponen statis..... | 10 |
| 2.4.2 Komponen Dinamis..... | 11 |
| 2.5 Teori Kompresi..... | 12 |
| 2.5.1 Hubungan Antara Tekanan Dan Volume..... | 12 |

| | |
|---|----|
| 2.5.2 Hubungan Antara Temperatur Dan Volume | 13 |
| 2.6 Proses Kompresi Gas..... | 13 |
| 2.6.1 Kompresi Isptermal..... | 13 |
| 2.6.2 Kompresi Adiabatik..... | 13 |
| 2.6.3 Kompresi Politropik..... | 13 |
| 2.6.4 Perubahan Temperatur..... | 14 |
| 2.6.5 Persamaan Bernoulli..... | 15 |
| 2.6.6 Efisiensi Adiabatik..... | 16 |
| 2.7 Dasar perhitungan | 17 |
| 2.7.1 Menghitung Daya Yang Disuplei Dari Kipas Keudara..... | 17 |
| 2.7.2 Menghitung Efisiensi | 18 |
| | |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 19 |
| 3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian.. | 19 |
| 3.2 Instalasi Pengujian..... | 21 |
| 3.3 Alat Dan Bahan Penelitian | 23 |
| 3.4 Metode Pengambilan Data | 24 |
| 3.5 Diagram Alir Penelitian..... | |
| | 25 |
| | |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 25 |
| 4.1 Hasil Perhitungan..... | 28 |
| 4.2 Pembahasan | 28 |
| 4.2.1 Hubungan Tekanan Terhadap Efisiensi..... | 33 |
| 4.2.2 Hubungan Daya Terhadap Efisiensi..... | |
| | |
| | |
| BAB V PENUTUP | 38 |
| 5.1 Kesimpulan | 38 |
| 5.2 Saran | 39 |
| | |
| DAFTAR PUSTAKA | 40 |
| LAMPIRAN | 41 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 3.1 Jadwal Penelitian | 19 |
| Tabel 4.1. <i>Data dari hasil pengujian pada sudut belokan 0°</i> | 25 |
| Tabel 4.2 <i>Hasil perhitungan pada sudut belokan 0° setiap pembukaan</i> | 26 |
| Tabel 4.3 <i>Data dari hasil pengujian pada sudut belokan 45°</i> | 27 |
| Tabel 4.4 <i>Hasil perhitungan pada sudut belokan 45° setiap pembukaasaan</i> | 27 |
| Tabel 4.5 <i>Data dari hasil pengujian pada sudut belokan 90°</i> | 27 |
| Tabel 4.6 <i>Hasil perhitungan pada sudut belokan 90° setiap pembukaan</i> | 27 |
| Tabel 4.7 <i>Data dari hasil pengujian pada sudut belokan 180°</i> | 28 |
| Tabel 4.8 <i>Hasil perhitungan pada sudut belokan 180° setiap pembukaan</i> | 28 |
| Tabel 4.9 <i>Hubungan tekanan dan efisiensi pada pembukaan 25%</i> | 29 |
| Tabel 4.10 <i>Hubungan tekanan dan efisiensi pada pembukaan 50%</i> | 30 |
| Tabel 4.11 <i>Hubungan tekanan dan efisiensi pada pembukaan 75%</i> | 31 |
| Tabel 4.12 <i>Hubungan tekanan dan efisiensi pada pembukaan 100%</i> | 32 |
| Tabel 4.13 <i>Hubungan tekanan dan efisiensi pada pembukaan 25%</i> | 33 |
| Tabel 4.14 <i>Hubungan tekanan dan efisiensi pada pembukaan 50%</i> | 34 |
| Tabel 4.15 <i>Hubungan tekanan dan efisiensi pada pembukaan 75%</i> | 35 |
| Tabel 4.16 <i>Hubungan tekanan dan efisiensi pada pembukaan 100%</i> | 36 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 <i>Kompresor Sentrifugal</i> | 6 |
| Gambar 2.2 <i>Bagian dan pergerakan fluida pada Kompresor unit HCCC...</i> | 9 |
| Gambar 2.3 <i>Komponen Kompresor Sentrifugal</i> | 11 |
| Gambar 2.4 <i>Persamaan Bernoulli pada pipa dengan ketinggian yang sama.</i> | 16 |
| Gambar 3.1 <i>HCCC Computer Controlled Centrifugal Compressor Demonstration (PC)</i> | 20 |
| Gambar 3.2 <i>Interface instrument dan computer</i> | 20 |
| Gambar 3.3 <i>Belokan 0°</i> | 21 |
| Gambar 3.4 <i>Belokan 45°</i> | 21 |
| Gambar 3.5 <i>Belokan 90°</i> | 22 |
| Gambar 3.6 <i>Belokan 180°</i> | 22 |
| Gambar 3.7 <i>penngaris atau meter</i> | 22 |
| Gambar 3.8 <i>lem pipa</i> | 22 |
| Gambar 4.1. <i>Grafik hubungan tekanan terhadap efisiensi pada pembukaan 25% setiap sudut belokan</i> | 29 |
| Gambar 4.2. <i>Grafik hubungan tekanan terhadap efisiensi pada pembukaan 50% setiap sudut belokan</i> | 30 |
| Gambar 4.3. <i>Grafik hubungan tekanan terhadap efisiensi pada pembukaan 75% setiap sudut belokan</i> | 31 |
| Gambar 4.4. <i>Grafik hubungan tekanan terhadap efisiensi pada pembukaan 100% setiap sudut belokan</i> | 32 |
| Gambar 4.5. <i>Grafik hubungan daya terhadap efisiensi pada pembukaan katup 25% setiap sudut belokan</i> | 33 |
| Gambar 4.6. <i>Grafik hubungan daya terhadap efisiensi pada pembukaan 50% setiap sudut belokan</i> | 34 |
| Gambar 4.7 <i>Grafik hubungan daya terhadap efisiensi pada pembukaan 75% setiap sudut belokan</i> | 35 |
| Gambar 4.8. <i>Grafik hubungan daya terhadap efisiensi pada pembukaan 100% setiap sudut belokan</i> | 36 |

DAFTAR NOTASI

| Simbol | Keterangan | Satuan |
|---------------|---|---------------|
| Q | Aliran | m^3/s |
| p_1 | Tekanan dalam saluran masuk | Pa |
| p_2 | Tekanan dalam saluran keluar | Pa |
| v_1 | Kecepatan udara disaluran masuk | m/s |
| V_2 | Kecepatan udara disaluran keluar | m/s |
| ρ | Kepadatan udara | kg/m^3 |
| g | Gaya gravitasi | m/s^2 |
| z_2-z_1 | Perbedaan saluran keluar terhadap saluran masuk | m |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kompresor sangat banyak dibutuhkan dan digunakan pada industri – industri sebagai alat atau mesin yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan fluida yang dimampatkan seperti udara dan gas.

Untuk instalasi – instalasi yang membutuhkan tekanan yang tinggi, dipergunakanlah kompresor, seperti penyedia udara tekan untuk peralatan pneumatik pada pertambangan, peleburan logam, dan pada industri otomotif. Kompresor juga digunakan sebagai pemadat gas dan mengalirkannya pada sistim distribusi gas yang dialirkan melalui pipa dan pada instalasi pencairan gas alam untuk transport kapal laut, dan sebagai kompresor dari turbin gas. [1]

Dalam kaitannya, jenis kompresor yang digunakan haruslah sesuai dengan keperluan dan penempatannya dalam suatu proses. Salah satu yang digunakan dalam hal ini adalah kompresor sentrifugal. Dimana kompresor sentrifugal termasuk dalam klasifikasi kompresor dinamik.

Kompresor sentrifugal memanfaatkan gaya sentrifugal pada prinsip kerjanya. Mula – mula *impeller* meningkatkan kecepatan fluida, kemudian fluida dengan kecepatan tinggi akan masuk ke *diffuser* dimana terjadi perubahan energi kinetik menjadi energi potensial. Dalam proses kompresi pada kompresor terdapat dua macam efisiensi yang penting, yaitu efisiensi volumetrik dan efisiensi adiabatik keseluruhan. [7]

Efisiensi volumetrik hanya berlaku pada kompresor torak karena kompresor torak menggunakan silinder untuk memampatkan volume gas. Sedangkan efisiensi yang bekerja pada kompresor sentrifugal adalah efisiensi adiabatik keseluruhan. Mengenai desain kompresor dan kinerja kompresor, masih merupakan hal yang perlu dikembangkan dan diteliti karena pada kompresor terdapat beberapa parameter penting yang mempengaruhi kinerja kompresor itu sendiri.

Efisiensi kompresor ditentukan oleh berbagai faktor seperti tahanan aerodinamik di dalam katup – katup, saluran – saluran, pipa – pipa, kerugian mekanis, efektivitas pendinginan, dll. Faktor – faktor ini digabungkan dalam efisiensi adiabatik keseluruhan. [7]

Setiap hari kita semua selalu berhubungan dengan fluida hampir tanpa sadar. Banyak gejala alam yang indah dan menakjubkan, seperti bukit-bukit dan ngaraingarai yang dalam, terjadi akibat gaya-gaya yang ditimbulkan oleh aliran fluida. Semua fluida mempunyai atau menunjukkan sifatsifat atau karakteristik yang penting dalam dunia rekayasa. Penerapan prinsip-prinsip mekanika fluida dapat dijumpai pada bidang industri, transportasi maupun bidang keteknikan lainnya.

Namun dalam penggunaannya selalu terjadi kerugian energi. Dengan mengetahui kerugian energi pada suatu sistem yang memanfaatkan fluida mengalir sebagai media, akan menentukan tingkat efisiensi penggunaan energi. Bentuk-bentuk kerugian energi pada aliran fluida antara lain dijumpai pada aliran dalam pipa. Kerugian-kerugian tersebut diakibatkan oleh adanya gesekan dengan dinding, perubahan luas penampang, sambungan, katup-katup, belokan pipa, percabangan pipa dan kerugian-kerugian khusus lainnya.

Dengan mengetahui kehilangan atau kerugian energi dalam suatu sistem atau instalasi perpipaan yang memanfaatkan fluida mengalir sebagai media, efisiensi penggunaan energi dapat ditingkatkan sehingga diperoleh keuntungan yang maksimal. Salah satu bagian dari instalasi perpipaan yang dapat menyebabkan kerugian-kerugian adalah gesekan pada dinding pipa dan sambungan belokan pipa

Berdasarkan uraian di atas, mendorong penulis untuk meneliti tentang kinerja dari kompresor sentrifugal dengan variasi sudut belokan pipa masuk (*inlet*) untuk membuktikan salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi kompresor. Sehingga nantinya dapat dibandingkan antara daya adiabatik teoritis dan daya yang masuk pada poros kompresor untuk melihat kinerja dari kompresor.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada maka rumusan masalah yang diperoleh adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hubungan antara efisiensi kompresor yang dihasilkan dan daya kompresor dengan memvariasikan sudut belokan pipa masuk (*inlet*)?
2. Berapakah besar variasi sudut belokan pipa masuk (*inlet*) yang menghasilkan tekanan terbesar?
3. Berapakah besar variasi sudut belokan pipa masuk (*inlet*) yang menghasilkan efisiensi terbaik pada kompresor?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung nilai tekanan udara dalam pipa saluran masuk dan saluran keluar untuk mengetahui besar efisiensi pada setiap variasi sudut belokan.
2. Menganalisis hubungan antara efisiensi kompresor yang dihasilkan dan tekanan kompresor dengan memvariasikan besar sudut belokan pipa masuk (*inlet*) pada setiap pembukaan.
3. Menganalisis hubungan antara efisiensi kompresor yang dihasilkan dan daya kompresor dengan memvariasikan besar sudut belokan pipa masuk (*inlet*) pada setiap pembukaan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan – batasan masalah dalam ruang lingkup penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *unit HCCC Computer Controlled Centrifugal Compressor Demonstration (PC)* yang ada di Laboratorium Mesin Fluida, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Gowa.

2. Penelitian ini menggunakan sudut bebelokan pipa masuk (*inlet*) yang divariasikan dengan ukuran tertentu.
3. Kompresor sentrifugal yang digunakan adalah kompresor satu tingkat dengan *impeller perpendicular*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Bagi Penulis
 - a. Sebagai sarana untuk memperoleh sumber informasi dan pengetahuan.
 - b. Untuk mengetahui karakteristik faktor yang mempengaruhi kinerja dari kompresor sentrifugal berdasarkan sudut belokan pipa masuk.
2. Data – data yang diperoleh dalam penelitian ini dapat menjadi referensi mahasiswa dalam penelitian selanjutnya dan juga dijadikan sebagai bahan ajar pada Laboratorium Mesin Fluida.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Fluida

Menurut Raswari (1986), fluida merupakan suatu zat/bahan yang dalam keadaan setimbang tak dapat menahan gaya atau tegangan geser (shear force). Dapat pula didefinisikan sebagai zat yang dapat mengalir bila ada perbedaan tekanan dan atau tinggi. Suatu sifat dasar fluida nyata, yaitu tahanan terhadap aliran yang diukur sebagai tegangan geser yang terjadi pada bidang geser yang dikenai tegangan tersebut adalah viskositas atau kekentalan/kerapatan zat fluida tersebut.

Fluida dapat didefinisikan sebagai suatu zat mampu alir dan dapat menyesuaikan bentuk dengan bentuk wadah yang ditempatinya, serta apabila diberikan tegangan geser, berapapun kecilnya akan menyebabkan fluida tersebut bergerak dan berubah bentuk secara terus-menerus selama tegangan tersebut bekerja .

Dengan pengertian diatas maka fluida dapat dibedakan atas zat cair dan gas. Dimana kedua zat ini pun berbeda secara teknis akibat gaya kohesif. Zat cair cenderung mempertahankan volumenya dan akan membutuhkan permukaan bebas dalam medan gravitasi. Aliran muka bebas sangat dipenuhi efek gravitasi sedangkan zat gas akan memuai dengan bebas sampai tertahan oleh dinding yang membatasinya. Gas tersebut akan membentuk atmosfer yang pada hakekatnya akan bersifat hidrostatik. [8]

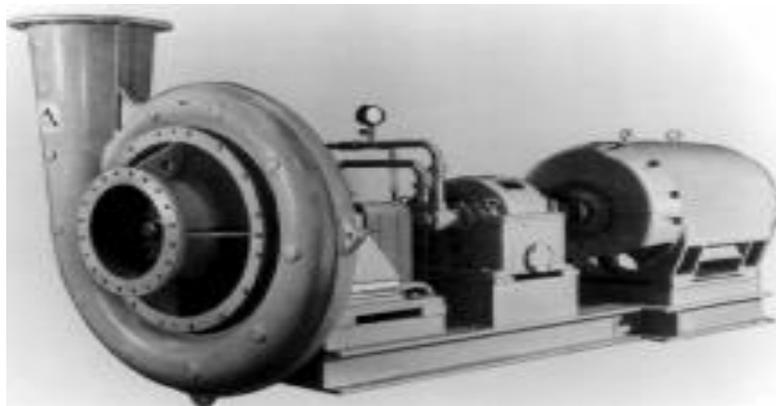
Definisi yang lebih tepat untuk membedakan zat padat dengan fluida adalah dari karakteristik deformasi bahan-bahan tersebut. Zat padat dianggap sebagai bahan yang menunjukkan reaksi deformasi yang terbatas ketika menerima atau mengalami suatu gaya geser. Sedangkan fluida memperlihatkan fenomena sebagai zat yang terus menerus berubah bentuk apabila mengalami tegangan geser, dengan kata lain yang dikategorikan sebagai fluida adalah suatu zat yang tidak mampu menahan tekanan geser tanpa berubah bentuk. Jadi dapat disimpulkan fluida itu merupakan suatu zat yang dapat dengan mudah berubah bentuk, tergantung dari tempat fluida itu berada.

Fluida dapat dikatakan statis bila fluida tersebut dalam keadaan tidak bergerak atau diam pada suatu wadah dan dapat dikatakan kinematis bila fluida tersebut bergerak secara terus-menerus (*continue*) akibat adanya suatu gaya gesek atau tekan sebarangpun kecilnya. Fluida secara umum bila dibedakan dari sudut kemampatannya (*compresibility*), maka bentuk fluida terbagi dua jenis, yaitu; *compressible fluid* dan *incompressible fluid*. Yang dimaksud dengan *compressible fluid* adalah fluida yang tingkat kerapatannya dapat berubah-ubah, contohnya; zat berbentuk gas. Sedangkan *incompressible fluid* adalah fluida yang tingkat kerapatannya tidak berubah atau perubahannya kecil sekali dan dianggap tidak ada, contohnya; zat berbentuk cair.

2.2 Definisi Kompresor Sentrifugal

Kompresor adalah mesin untuk memampatkan udara atau gas. Kompresor udara biasanya mengisap udara dari atmosfer. Namun ada pula yang mengisap udara atau gas yang bertekanan lebih tinggi dari tekanan atmosfer. Dalam hal ini kompresor bekerja sebagai penguat (*booster*). Sebaliknya ada pula kompresor yang mengisap gas yang bertekanan lebih rendah dari pada tekanan atmosfer. Dalam hal ini kompresor disebut pompa vakum. [7]

Kompresor sentrifugal merupakan kompresor yang memanfaatkan gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh *impeller* untuk mempercepat aliran fluida, yang kemudian diubah dengan peningkatan tekanan dengan cara memperlambat aliran fluida melalui *diffuser*.



Gambar 2.1 Kompresor Sentrifugal

Proses kerja kompresor sentrifugal yaitu dengan memberikan tambahan energi pada fluida melalui gaya sentrifugal yang diberikan oleh *impeller*. Gas atau udara dihisap kedalam kompresor melalui saluran hisap (*inlet*) kemudian diteruskan kedalam diafragma yang berfungsi sebagai pengarah aliran dan selanjutnya masuk kedalam *impeller*, kemudian *impeller* memberikan putaran dengan kecepatan yang sangat tinggi. Akibat dari putaran yang tinggi tersebut maka gas atau udara akan terlempar keluar dari *impeller* karena adanya gaya sentrifugal yang terjadi, kemudian tekanan dan kecepatan dari gas atau udara akan naik setelah terlepas dari ujung *impeller*. Gas atau udara diperlambat dalam suatu saluran yang disebut *diffuser*. Karena dengan diperlambat, aliran fluida cenderung tersebar dengan tidak terarah. Akibat dari aliran tidak terarah akan menyebabkan adanya kecenderungan timbulnya aliran turbulen dan aliran stedi, yaitu merubah energi kinetik menjadi energi panas dari tekanan. Oleh karena itu perlu di jaga aliran tersebut tetap searah dengan memasang penyearah (*guide vane*). Kesimpulan dari prinsip kerja kompresor sentrifugal yaitu, mula – mula *impeller* meningkatkan kecepatan fluida, kemudian fluida dengan kecepatan tinggi akan masuk ke *diffuser* dimana terjadi perubahan energi kinetik menjadi energi potensial.

Dalam klasifikasi kompresor, kompresor sentrifugal di kelompokkan dalam kelompok kompresor dinamik karena kompresor sentrifugal mengkonversikan energi kecepatan fluida yang dibangkitkan oleh gerakan *impeller* yang berputar.

Kompresor mempunyai pengaplikasian dalam bidang yang luas mulai dari industri kecil sampai ke industri perminyakan dan gas bumi. Beberapa jenis penggerak yang sering digunakan sebagai penggerak kompresor yaitu, elektro motor, *internal combustion engine* (motor mesin diesel dan turbin gas), *eksternal combustion engine* (turbin uap). Kompresor sentrifugal biasanya digerakkan oleh turbin uap atau turbin gas yang mempunyai karakteristik yang hampir sama. Kompresor sentrifugal biasanya digunakan untuk *supercharger* motor berdaya besar, terutama diesel.

2.3 Kompresor Sentrifugal Unit HCCC

2.3.1 Deskripsi

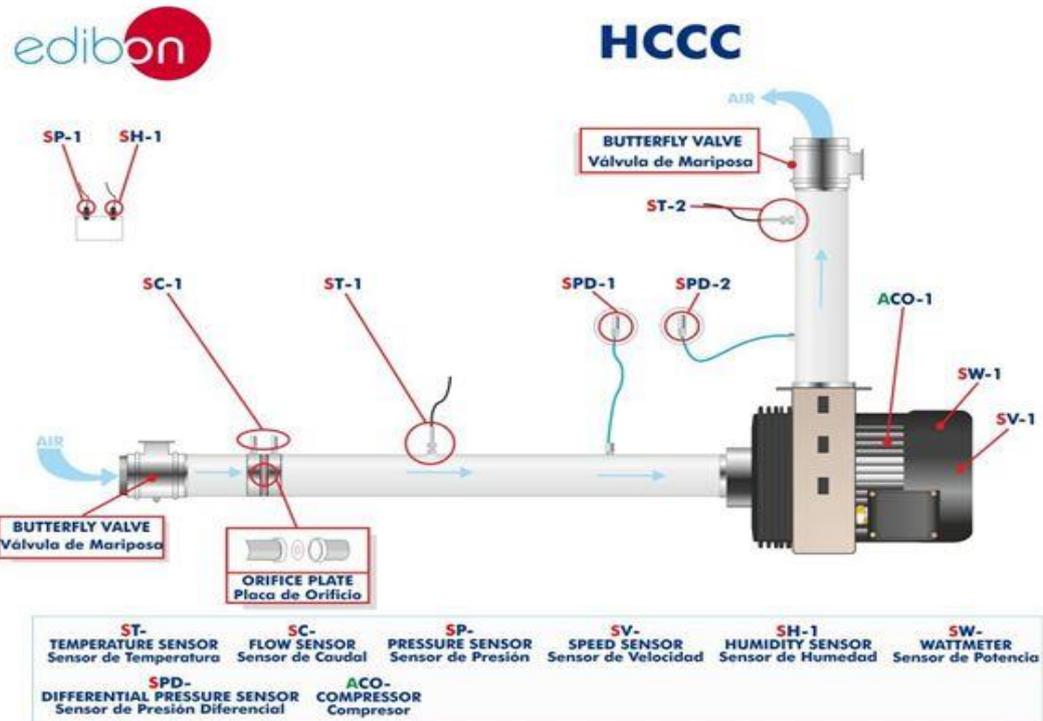
Mengenai desain kompresor dan kinerja kompresor, masih merupakan hal yang perlu dikembangkan dan diteliti karena pada kompresor terdapat beberapa parameter penting yang mempengaruhi kinerja kompresor itu sendiri. Atas beberapa pertimbangan tersebut maka beberapa desainer mengembangkan penelitian secara simulasi menggunakan *HCCC Computer Controlled Centrifugal Compressor Demonstration (PC)*.

Pada *HCCC Computer Controlled Centrifugal Compressor Demonstration (PC)* dapat menghasilkan informasi yang akurat pada kondisi fluida yang berada di dalam mesin, dan juga dapat membantu penggunaannya mendapatkan evaluasi kinerja mesin dan mengukur karakteristik operasi kompresor sentrifugal secara detail pada obyek

2.3.2 Prinsip Kerja

HCCC Computer Controlled Centrifugal Compressor Demonstration (PC) memungkinkan penggunaannya untuk mengukur karakteristik operasi kompresor sentrifugal. Untuk tujuan itu, kompresor ini melakukan pengukuran aktual dari aliran masuk kompresor, kecepatan dan daya kompresor, perbedaan tekanan untuk mengetahui kenaikan tekanan di kompresor, dan suhu di saluran masuk dan keluar udara.

Kompresor ini menggunakan satu pipa transparan untuk *inlet* dan satu untuk *outlet*, variasi kecepatan untuk memodifikasi kecepatan kompresor, dan katup kupu-kupu untuk mengatur aliran *inlet* dan *outlet* pada kompresor.



Gambar 2.2 Bagian dan pergerakan fluida pada Kompresor unit HCCC

2.3.3 Spesifikasi

Kompresor sentrifugal unit HCCC ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Tingkat kompresor maksimum : 7 tingkat
2. Konsumsi daya maksimum : 250 W
3. Kecepatan maksimum : 3000 rpm
4. Aliran volumetrik maksimum : 72 m³/hr
5. Sensor aliran udara : 0-1 PSI
6. Sensor suhu udara : tipe J
7. Sensor tekanan : 0-1 PSI
8. Sensor kelembaban lingkungan : 0-100%
9. Dimensi : 1×0.58×0.7 m
10. Volume : 0.600 m³
11. Berat : 60 kg
12. Tegangan listrik : 220V/50Hz

2.4 Komponen Kompresor Sentrifugal

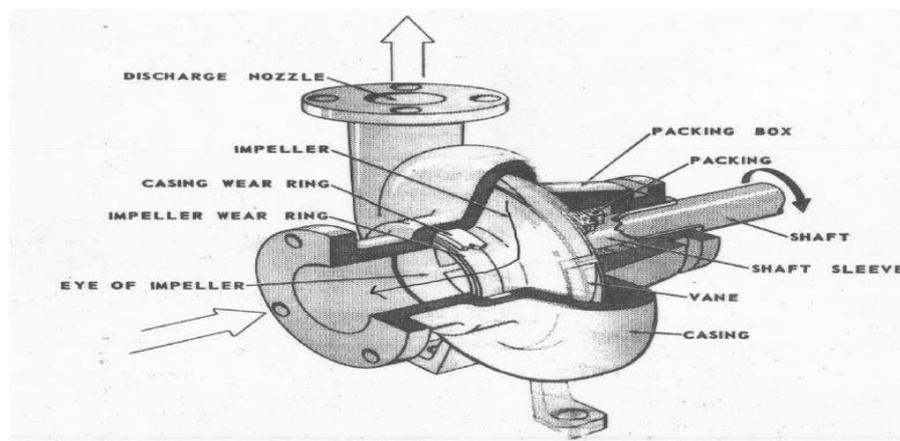
Kompresor sentrifugal terdiri dari komponen statis dan dinamis. Komponen – komponen tersebut terdiri dari beberapa bagian yang fungsinya saling berhubungan. Komponen statis disebut stator dan komponen dinamis disebut juga rotor.

2.4.1 Komponen Statis

Berikut adalah komponen utama kompresor sentrifugal bagian statis:

1. *Casing*. *Casing* merupakan bagian paling luar kompresor yang berfungsi sebagai:
 - Pelindung terhadap pengaruh mekanik dari luar
 - Pelindung dan penumpu/pendukung dari bagian-bagian yang bergerak.
 - Tempat kedudukan *suction port* dan *discharge port* serta bagian diam lainnya.
2. *Inlet Wall*. Merupakan diafragma atau dinding penyekat yang dipasang pada sisi masukan sebagai *inlet channel* dan berhubungan dengan *suction port*. Karena berfungsi sebagai saluran masuk gas pada *stage* pertama, maka material *inlet wall* harus tahan terhadap abrasi dan erosi.
3. *Guide Vane*. *Guide van* ditempatkan pada bagian depan *eye impeller* pertama pada bagian *inlet channel*. Fungsi utamanya adalah mengarahkan aliran agar gas dapat masuk *impeller* dengan distribusi merata.
4. *Eye Seal*. *Eye Seal* ditempatkan di sekeliling bagian luar *eye impeller* dan ditumpu oleh *inlet wall*. *Eye Seal* memiliki fungsi mencegah aliran balik dari gas yang keluar dari *discharger impeller* (tekanan tinggi) kembali ke sisi *suction* (tekanan rendah).
5. *Diffuser*. *Diffuser* berfungsi untuk mengubah energi kecepatan yang keluar dari *discharge impeller* menjadi energi potensial. Untuk *multi stage* dipasang diantara *inter stage impeller*.

6. *Return Bend*. *Return Bend* berfungsi membelokkan arah aliran gas dari *diffuser* ke *return channel* untuk masuk pada *stage* berikutnya. *Return bend* dibentuk oleh susunan diafragma yang dipasang dalam *casing*.
7. *Return Channel*. *Return Channel* merupakan saluran yang berfungsi memberikan arah aliran gas dari *return bend* masuk ke dalam *impeller* berikutnya. *Return channel* dilengkapi dengan *fixed vane* dengan tujuan memperkecil turbulensi aliran gas pada saat masuk *stage* berikutnya sehingga dapat memperkecil vibrasi.
8. *Diafragma*. *Diafragma* merupakan bagian dalam kompresor yang berfungsi sebagai penyekat antara *stage* dan tempat kedudukan *eye seal* maupun *inter stage seal*.



Gambar 2.3 Komponen Kompresor Sentrifugal.

2.4.2 Komponen Dinamis

1. *Shaft and Shaft Sleeve*. *Shaft* atau poros transmisi digunakan untuk mendukung *impeller* dan meneruskan daya dari penggerak ke *impeller*. Untuk penempatan *impeller* pada *shaft* digunakan pasak. Pada kompresor *multistage*, posisi pasak dibuat selang – seling agar seimbang. Sedangkan jarak antar *stage* dari *impeller* digunakan *shaft sleeve* yang berfungsi sebagai pelindung *shaft* terhadap korosi, erosi, abrasi dari aliran dan sifat gas, serta untuk penempatan *shaft seal* diantara *stage impeller*.
2. *Rotor dan Impeller*. *Rotor* merupakan susunan dari beberapa *impeller* yang jumlahnya disesuaikan dengan tekanan yang diperlukan. *Impeller*

berfungsi untuk menaikkan kecepatan gas sebelum memasuki *diffuser* pada *stator* dengan cara berputar sehingga menimbulkan gaya sentrifugal. Hal ini menyebabkan gas masuk/mengalir dari *inlet tip (eye impeller)* ke *discharge tip*. Karena adanya perubahan jari – jari dari sumbu putar antara *tip* sudu masuk dengan *tip* sudu keluar maka terjadi kenaikan energi kecepatan.

3. *Bearing*. *Bearing* merupakan bagian internal kompresor yang berfungsi untuk mendukung beban radial dan aksial yang berputar dengan tujuan memperkecil gesekan dan mencegah kerusakan pada komponen lainnya.

2.5 Teori Kompresi

2.5.1 Hubungan antara tekanan dan volume

Jika sebuah alat penyuntik tanpa jarum dan berisi udara atau gas ditutup ujungnya dengan jari telunjuk dan tangkainya didorong dengan ibu jari, maka pada jari telunjuk akan terasa adanya tekanan yang bertambah besar. Bertambahnya tekanan tersebut adalah merupakan akibat dari mengecilnya volume udara di dalam silinder karena dimampatkan oleh torak. Jika volume semakin dikecilkan, tekanan akan semakin besar.

Jika selama kompresi, temperatur gas dijaga tetap (tidak bertambah panas) maka pengecilan volume menjadi $\frac{1}{2}$ kali akan menaikkan tekanan menjadi 2 kali lipat. Jadi secara umum dapat dikatakan sebagai berikut: “Jika gas dikompresikan (atau diekspansikan) pada temperatur tetap, maka tekanannya akan berbanding terbalik dengan volumenya”. Pernyataan ini disebut hukum Boyle dan dapat dirumuskan pula sebagai berikut: Jika suatu gas mempunyai volume V_1 dan tekanan P_1 dimampatkan (atau diekspansikan) pada temperatur tetap hingga volumenya menjadi V_2 , maka tekanannya akan menjadi P_2 . [7]

Dimana:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (2.1)$$

2.5.2 Hubungan antara temperature dan volume

Gas akan mengembang jika dipanaskan pada tekanan tetap. Gas mempunyai koefisien muai yang besar. “Semua macam gas apabila dinaikkan temperaturnya sebesar 1°C pada tekanan tetap, akan mengalami pertambahan volume sebesar $1/273$ dari volumenya pada 0°C . Sebaliknya apabila diturunkan temperaturnya sebesar 1°C , akan mengalami pengurangan volume dengan proporsi yang sama”. Pernyataan tersebut dikenal dengan hukum Charles.

2.6 Proses Kompresi Gas

6.6.1 Kompresi Isotermal

Bila suatu gas dikompresikan, maka ini berarti ada energi mekanik yang diberikan dari luar kepada gas. Energi ini diubah menjadi energi panas sehingga temperatur gas akan naik jika tekanan semakin tinggi. Namun, jika proses kompresi ini dibarengi dengan pendinginan untuk mengeluarkan panas yang terjadi, temperatur dapat dijaga tetap. Kompresi secara ini disebut kompresi isotermal (temperatur tetap).

6.6.2 Kompresi Adiabatik

Jika silinder diisolasi secara sempurna terhadap panas, maka kompresi akan berlangsung tanpa ada panas yang keluar dari gas atau masuk ke dalam gas. Untuk pengecilan volume yang sama, kompresi adiabatik akan menghasilkan tekanan yang lebih tinggi dari pada proses isothermal

2.6.3 Kompresi Politropik

Kompresi pada kompresor yang sesungguhnya bukan merupakan proses isotermal, karena ada kenaikan temperatur, namun bukan juga proses adiabatik karena ada panas yang dipancarkan keluar. Jadi proses kompresi yang sesungguhnya, ada di antara keduanya dan disebut kompresi politropik.

6.7 Perubahan Temperatur

Pada saat kompresi, temperatur gas dapat berubah tergantung pada jenis proses yang dialami. Untuk masing – masing proses, hubungan antara temperatur dan tekanan adalah sebagai berikut:

1. Proses Isotermal

Dalam proses ini temperatur dijaga konstan sehingga tidak berubah.

2. Proses Adiabatik

Dalam kompresi adiabatik tidak ada panas yang dibuang keluar (atau dimasukkan) sehingga seluruh kerja mekanis yang diberikan dalam proses ini akan dipakai untuk menaikkan temperatur gas. Dalam proses adiabatik, temperature dapat diperoleh secara teoritis dari persamaan berikut:

$$T_d = T_s \left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{(k-1)/k} \quad (2.2)$$

dimana T_d : Temperatur mutlak gas keluar kompresor ($^{\circ}\text{K}$)

T_s : Temperatur isap gas masuk kompresor ($^{\circ}\text{K}$)

P_s : Tekanan masuk (kgf/m^2 abs)

P_d : Tekanan keluar (kgf/m^2 abs)

k : Perbandingan panas jenis gas (c_p/c_v)

C_p : Panas jenis p konstan

C_v : Panas jenis v konstan

m : Jumlah tingkat kompresi; $m = 1, 2, 3$, dst.

3. Proses Politropik

Jika selama proses kompresi udara didinginkan, maka sebagian panas yang timbul akan dikeluarkan. Untuk menghitung temperatur kompresi dapat digunakan persamaan (2.2) dimana sebagai ganti nilai k dipakai indeks politropik yang harganya lebih rendah.

6.8 Persamaan Bernoulli

Persamaan Bernoulli menyatakan bahwa pada suatu aliran fluida, peningkatan pada kecepatan fluida akan menimbulkan penurunan tekanan pada aliran tersebut. Intinya adalah bila kecepatan aliran fluida tinggi, tekanan fluida rendah. Sebaliknya jika kecepatan aliran fluida rendah, tekanannya menjadi tinggi.

Aliran fluida dapat berubah-ubah tergantung luas penampang tabung alir. Berdasarkan persamaan Bernoulli yang dijelaskan di atas, tekanan fluida juga bisa berubah-ubah tergantung laju aliran fluida tersebut. Tekanan fluida juga bisa berubah-ubah tergantung pada ketinggian fluida tersebut. Hubungan antara tekanan, laju aliran dan ketinggian aliran bisa diperoleh dalam persamaan Bernoulli.

Dalam bentuknya yang sudah disederhanakan, secara umum terdapat dua bentuk persamaan Bernoulli, yang pertama berlaku untuk aliran tak-termampatkan (*incompressible flow*) dan yang kedua berlaku untuk aliran termampatkan (*compressible flow*).

Aliran tak-termampatkan adalah aliran fluida yang dicirikan dengan tidak berubahnya massa jenis fluida di sepanjang aliran tersebut. Contoh fluida tak-termampatkan adalah air, minyak, emulsi, dan sebagainya. Aliran termampatkan adalah aliran fluida yang dicirikan dengan berubahnya massa jenis fluida di sepanjang aliran tersebut. Contoh fluida termampatkan adalah: udara, gas alam, dan sebagainya. Persamaan Bernoulli dinyatakan dengan:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad (2.3)$$

dimana P : Tekanan pada fluida (Pa)

ρ : Massa jenis fluida (kg/m^3)

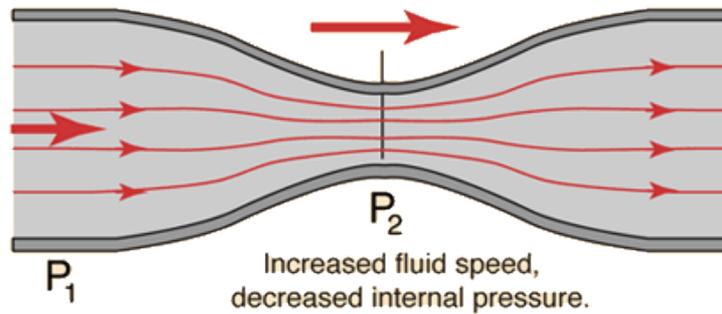
v : Kecepatan fluida (m/s)

g : Gravitasi (m/s^2)

h : Ketinggian fluida (m)

Bila persamaan Bernoulli pada tabung alir atau pipa yang ketinggiannya sama, maka persamaan Bernoulli yang berlaku menjadi:

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{konstan} \quad (2.4)$$



Gambar 2.4 Persamaan Bernoulli pada pipa dengan ketinggian yang sama.

6.9 Efisiensi Adiabatik

Efisiensi kompresor ditentukan oleh berbagai faktor seperti tahanan aerodinamik di dalam katup – katup, saluran – saluran, pipa – pipa, kerugian mekanis, efektivitas pendinginan, dll. Namun, menentukan secara tepat pengaruh masing – masing faktor tersebut adalah sangat sulit. Karena itu faktor – faktor ini digabungkan dalam efisiensi adiabatik keseluruhan. [7]

Efisiensi adiabatik keseluruhan didefinisikan sebagai daya yang diperlukan untuk memampatkan gas dengan siklus adiabatik (menurut perhitungan teoritis), dibagi dengan daya yang sesungguhnya diperlukan oleh kompresor pada porosnya. [7]

Dalam rumus, efisiensi ini dapat ditulis sbb:

$$\eta_{ad} = \frac{L_{ad}}{L_s} \quad (2.5)$$

dimana η_{ad} : Efisiensi adiabatik keseluruhan (%)

L_{ad} : Daya adiabatik teoritis (kW)

L_s : Daya yang masuk pada poros kompresor (kW)

Besarnya daya adiabatik teoritis dapat dihitung dengan rumus:

$$L_{ad} = \frac{mk}{k-1} \frac{P_s Q_s}{6120} \left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{(k-1)/mk} - 1 \right] \quad (2.6)$$

dimana P_s : Tekanan masuk (kgf/m² abs)

P_d : Tekanan keluar (kgf/m² abs)

- Q_s : Jumlah volume gas yang keluar (m^3/min) dinyatakan dalam kondisi tekan dan temperatur isap
- k : Perbandingan panas jenis gas (c_p/c_v)
- m : Jumlah tingkat kompresi; $m = 1, 2, 3$, dst.

Jika dalam rumus dipakai satuan tekanan Pa maka persamaan (2.6) ditulis sebagai:

$$L_{ad} = \frac{mk}{k-1} \frac{P_s Q_s}{6000} \left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{(k-1)/mk} - 1 \right] \quad (2.7)$$

Semakin tinggi efisiensi adiabatik keseluruhan sebuah kompresor, berarti semakin kecil daya poros yang diperlukan untuk perbandingan kompresi dan kapasitas yang sama. Namun setinggi – tinggi efisiensi ini, harganya tidak akan mencapai 100%. Untuk membandingkan efisiensi kompresor harus dilakukan di antara yang sama jumlah tingkatnya.

Sebagai kesimpulan dapat ditemukan bahwa efisiensi adiabatik keseluruhan merupakan petunjuk bagi baik buruknya performansi dan ekonomi sebuah kompresor. [7]

6.10 Dasar Perhitungan

6.10.1 Menghitung daya yang disuplai dari kipas keudara

$$P = Q \left[P_2 - P_1 + \rho \frac{(v_2)^2}{2} - \rho \frac{(v_1)^2}{2} + \rho \cdot g \{Z_2 - Z_1\} \right] \quad (2.8)$$

- dimana
- Q = Aliran (m^3/s)
 - P_2 = Tekanan dalam saluran keluar (Pa)
 - P_1 = Tekanan dalam saluran masuk (Pa)
 - v_2 = Kecepatan udara di saluran keluar (m/s)
 - v_1 = Kecepatan udara di saluran masuk (m/s)
 - ρ = Kepadatan udara ($1,29 \text{ kg}/m^3$)
 - g = Gaya gravitasi ($9.8 \text{ m}/s^2$)

$Z_2 - Z_1$ = perbedaan tinggi saluran keluar terhadap saluran masuk (m)

- $Q = Q \left(\frac{m^3}{s} \right) \frac{1 h}{3600 s}$

- $p_2 (Pa) = p_2(\text{mm } H_2O) \frac{9,80665 Pa}{1 \text{ mm } H_2O}$

- $p_1 (Pa) = p_1(\text{mm } H_2O) \frac{9,80665 Pa}{1 \text{ mm } H_2O}$

- $v_1 = \frac{Q}{S_1}$

- $v_2 = \frac{Q}{S_2}$

6.10.2 Menghitung Efisiensi

$$\eta = \frac{P}{P_e} 100 \% \quad (2.9)$$

dimana η : Efisiensi kompresor (%)

P : Daya yang disuplei yang disuple dari kipas keudara (Pa)

P_e : Tekanan yang diukur dari sensor SW-1 (w)