

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Air merupakan salah satu fluida yang sering digunakan dalam berbagai proses industri, seperti pencucian material, bahan untuk pembuatan uap dan lain lain. Aliran yang berpindah dari satu tempat ke tempat lain menggunakan pipa sebagai jalur distribusi merupakan salah satu cara yang paling umum digunakan baik dalam industri, rumah tangga dan lain-lain.

Jaringan perpipaan memiliki variasi yang beragam mulai dari ukuran, material hingga instalasi percabangan yang disesuaikan dengan kebutuhan dan tujuan pemakaian. Perbedaan ini menyebabkan terjadinya berbagai fenomena aliran fluida yang terjadi di dalam pipa sehingga mempengaruhi daya pompa yang digunakan, pemahaman mengenai fenomena aliran fluida yang ada di dalam pipa dapat membantu menemukan ukuran, material, instalasi dan penggunaan pompa yang tepat.

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 yang dipakai. Bentuk-bentuk kerugian energi pada aliran fluida dapat dijumpai pada aliran dalam pipa. Kerugian-kerugian tersebut diakibatkan oleh adanya gesekan fluida dengan dinding pipa, perubahan luas penampang, sambungan, katup-katup, belokan pipa, percabangan pipa dan masih banyak lagi kerugian-

kerugian khusus lainnya. Dengan mengetahui kerugian atau kehilangan energi dalam suatu instalasi atau sistem perpipaan yang memanfaatkan fluida mengalir sebagai media, efisiensi pemakaian energi dapat dioptimalkan sehingga diperoleh keuntungan yang lebih maksimal. Kehilangan energi pada pipa dapat disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya perubahan penampang pada pipa, belokan pada pipa, koefisien gesek pipa yang digunakan dan panjang pipa juga dapat mempengaruhi kehilangan energi pada pipa.

Oleh karena itu, maka penulis tertarik untuk melakukan analisa pengaruh sistem pemipaan terhadap pompa, dengan variasi diameter dan jumlah elbow.

1.2. Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat di rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh sistem pemipaan dengan variasi diameter dan jumlah elbow terhadap daya pompa?
2. Bagaimana pengaruh sistem pemipaan dengan variasi diameter dan jumlah elbow 90° terhadap total head pompa?
3. Bagaimana pengaruh sistem pemipaan dengan variasi diameter dan jumlah elbow 90° terhadap kecepatan aliran?.

1.3. Batasan Masalah

Mengingat kompleksnya permasalahan yang berkaitan dengan pengaruh sistem pemipaan terhadap pompa, maka harus dilakukan pembatasan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini. Batasan masalah pada permasalahan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Pompa yang digunakan dalam pengujian menggunakan pompa sentrifugal.
2. Penelitian hanya menggunakan 3 variasi jumlah elbow
3. Penulis hanya fokus pada kajian dan analisa tentang variasi diameter dan jumlah elbow yang dihitung berdasarkan prinsip mekanika fluida yang terjadi pada sistem pemipaan,
4. Penelitian menggunakan metode eksperimen skala laboratorium.

1.4. Tujuan Penelitian

1. Untuk Mengetahui pengaruh variasi jumlah elbow pada sistem pemipaan terhadap daya, Head, dan Kecepatan Aliran.
2. Mengetahui perbandingan variasi jumlah elbow terhadap sistem pemipaan. Terhadap daya, Head, dan Kecepatan.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dalam melakukan penelitian ini diantaranya:

1. Mendapatkan hasil pengaruh sistem pemipaan terhadap pompa.
2. Hasil penelitian diharapkan menjadi tolak ukur untuk perencanaan sistem pemipaan yang lebih efisien.
3. Mengetahui seberapa besar kerugian energi aliran, sehingga dapat dijadikan tolak ukur untuk mengurangi biaya operasional suatu pompa.
4. Dapat dijadikan bahan praktik pada mata kuliah mekanika fluida.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Fluida

Fluida adalah suatu zat yang dapat mengalir bisa berupa cairan atau gas. Fluida mengubah bentuknya dengan mudah dan didalam kasus mengenai gas, mempunyai volume yang sama dengan volume yang membatasi gas tersebut. Pemakaian mekanika kepada medium kontinyu, baik benda padat maupun fluida adalah didasari pada hukum gerak newton yang digabungkan dengan hukum gaya yang sesuai. Salah satu cara untuk menjelaskan gerak suatu fluida adalah dengan membagi – bagi fluida tersebut menjadi elemen volume yang sangat kecil yang dapat dinamakan partikel fluida dan mengikuti gerak masing-masing partikel ini. Suatu massa fluida yang mengalir selalu dapat dibagi-bagi menjadi tabung aliran, bila aliran tersebut adalah lunak, waktu tabung tetap tidak berubah bentuknya dan fluida yang pada suatu saat berada didalam sebuah tabung akan tetap berada dalam tabung ini seterusnya. Kecepatan aliran didalam tabung aliran adalah sejajar dengan tabung dan mempunyai besar berbanding terbalik dengan luas penampangnya. (Pantar,s, 1997).

Konsep aliran fluida yang berkaitan dengan aliran fluida dalam pipa adalah:

1. Hukum kekentalan massa
2. Hukum kekentalan energi
3. Hukum kekentalan momentum

4. Katup

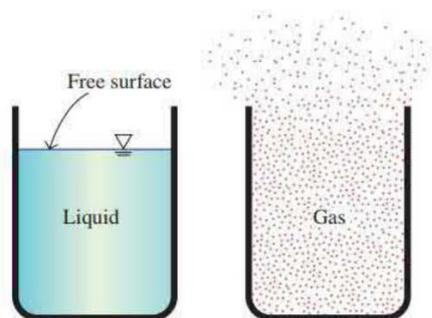
5. *Orificemeter*

6. *Arcameter* (rotarimeter)

2.1.1. Jenis - jenis Fluida

Berdasarkan wujudnya, Cengel dan Cimbala (2014:3) fluida dapat dibedakan menjadi dua yaitu:

1. Fluida gas merupakan fluida dengan partikel yang renggang dimana gaya tarik antara molekul sejenis relatif lemah dan sangat ringan sehingga dapat melayang dengan bebas serta volumenya tidak menentu, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.
2. Fluida cair berdasarkan pada Gambar 2.1 merupakan fluida dengan partikel yang rapat dimana gaya tarik antara molekul sejenisnya sangat kuat dan mempunyai permukaan bebas serta cenderung untuk mempertahankan volumenya, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Jenis fluida

Untuk memahami segala hal tentang aliran fluida, maka terlebih dahulu harus mengetahui beberapa sifat dasar fluida. Sifat–sifat dasar fluida tersebut yaitu: berat jenis, kerapatan, tekanan, temperatur, kekentalan.

1. Berat Jenis

Berat Jenis (specific weight) dari suatu fluida, dilambangkan dengan γ (gamma), didefinisikan sebagai berat tiap satuan volume.

2. Kerapatan

Definisi kerapatan suatu fluida adalah massa per satuan volume pada suatu temperatur dan tekanan tertentu. Kerapatan fluida bervariasi sesuai dengan jenis fluidanya. Fluida gas akan mengalami perubahan apabila temperatur dan tekanannya berubah. Sedangkan fluida cair pengaruh keduanya tidak signifikan. Jika kerapatan fluida tidak dipengaruhi oleh perubahan temperatur dan tekanan maka disebut fluida inkompresibel.

3. Kerapatan Relatif

Kerapatan relatif merupakan perbandingan antara kerapatan fluida tertentu terhadap kerapatan fluida standar, umumnya pada air adalah 4°C (untuk cairan) dan udara (untuk gas).

4. Tekanan

Tekanan didefinisikan sebagai gaya (F) yang diterima fluida tiap luasan area (A). Satuan tekanan biasa disebut pascal (Pa). Definisi tersebut dinyatakan dalam satuan newton per meter kuadrat (N/m^2) atau biasa disebut pascal (Pa). Namun karena skalanya terlalu kecil, praktiknya yang umum digunakan adalah kelipatan dalam kilopascal ($1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa}$) dan

megapascal ($1 \text{ MPa} = 10^6$). Satuan lain yang umum digunakan antara lain: bar ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$), standar atmosfer ($1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$), dan kilogram-force per centimeter persegi ($1 \text{ kgf/cm}^2 = 0.9679 \text{ atm}$).

5. Temperatur

Temperatur berkaitan dengan tingkat energi internal dari suatu fluida. Setiap atom dalam suatu benda masing-masing bergerak, baik itu dalam bentuk perpindahan maupun gerakan di tempat berupa getaran. Makin tingginya energi atom-atom penyusun benda, makin tinggi temperatur benda tersebut. Temperatur diukur dengan alat termometer. Temperature juga menjadi kuantitas fisik dasar dalam termodinamika yang bersimbol (T) dengan satuan kelvin (K), karena dalam praktik pada umumnya menggunakan aturan berbeda dari kelvin maka digunakan temperatur celcius dengan symbol t.

2.1.2. Jenis - Jenis Aliran dalam pipa

Aliran dapat diklasifikasikan (digolongkan) dalam banyak jenis seperti: turbulen, laminar, nyata, ideal, mampu balik, tak mampu balik, seragam, tak seragam, rotasional, tak rotasional. Aliran fluida melalui instalasi (pipa) terdapat 2 jenis aliran yaitu :

1. Aliran laminar
2. Aliran turbulens

Cairan dengan rapat massa yang akan lebih mudah mengalir dalam keadaan laminar. Dalam aliran fluida perlu ditentukan besarannya, atau arah vektor kecepatan aliran pada suatu titik ke titik yang lain. Agar memperoleh

penjelasan tentang medan fluida, kondisi rata-rata pada daerah atau volume yang kecil dapat ditentukan dengan instrumen yang sesuai.

Pengukuran aliran adalah untuk mengukur kapasitas aliran, massa laju aliran, volume aliran. Pemilihan alat ukur aliran tergantung pada ketelitian, kemampuan pengukuran, harga, kemudahan pembacaan, kesederhanaan dan keawetan alat ukur tersebut.

Dalam pengukuran fluida termasuk penentuan tekanan, kecepatan, debit, gradien kecepatan, turbulensi dan viskositas. Terdapat banyak cara melaksanakan pengukuran-pengukuran, misalnya: langsung tak langsung, gravimetrik, volumetrik, elektronik, elektromagnetik dan optik. Pengukuran debit secara langsung terdiri dari atas penentuan volume atau berat fluida yang melalui suatu penampang dalam suatu selang waktu tertentu. Metode tak langsung bagi pengukuran debit memerlukan penentuan tinggi tekanan, perbedaan tekanan atau kecepatan di beberapa titik pada suatu penampang dan dengan besaran perhitungan debit. Metode pengukuran aliran yang paling teliti adalah penentuan gravimetrik atau penentuan volumetrik dengan berat atau volume diukur atau penentuan dengan mempergunakan tangki yang dikalibrasikan untuk selang waktu yang diukur. Beberapa jenis aliran sangat terpengaruh oleh bilangan Reynolds. Bilangan Reynolds adalah bilangan tidak berdimensi yang penting digunakan untuk penelitian aliran fluida pada pipa.

Adapun persamaan bilangan Reynolds untuk aliran di dalam pipa adalah sebagai berikut (Cengel dan Cimbala, 2014:11).

$$Re = \frac{VD\rho}{\mu} \quad (2.1)$$

Dengan $V =$ Kecepatan Fluida (m/s)

$D =$ Diameter Dalam Pipa (m)

$\rho =$ Massa Jenis Fluida (kg/m^3)

$\mu =$ Viskositas dinamis (kg/m.s)

$$Re = \frac{V.D}{\nu} \quad (2.2)$$

$V =$ Kecepatan Fluida (m/s)

$D =$ Diameter dalam pipa (m)

$\nu =$ viskositas kinematis (m^2/s)

Pada prinsipnya besar aliran fluida dapat diukur melalui:

1. Kecepatan (*velocity*)
2. Berat (massa)
3. Luas bidang yang dilalui
4. Volume

2.1.3. Kinerja Aliran Fluida

Faktor yang mempengaruhi terhadap kinerja aliran fluida di dalam pipa dapat meliputi, debit air, kecepatan aliran. Dari kedua faktor kinerja aliran tersebut di dapat persamaan sebagai berikut :

1. Debit Air

Satuan dari air (Q) adalah m^3/s , liter/s, atau ft^3/s . Debit air dari suatu pompa dapat dinyatakan dengan rumus :

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

Dimana :

Q = Debit (m³/s)

V = Volume fluida (m³)

T = Waktu (s)

2. Kecepatan aliran

Kecepatan aliran sebagai kinerja aliran fluida dapat di rumuskan sebagai berikut :

$$V = \frac{Q}{A} \quad (2.4)$$

Dimana :

V = Laju aliran fluida (m/s)

Q = Debit (m³/s)

A = Luas penampang pipa bagian dalam (m²)

Luas penampang pipa adalah:

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 \quad (2.5)$$

Dimana ;

A = Luas Penampang sebuah pipa (m²)

D = Diameter sebuah pipa (inchi)

2.2. Pengertian Sistem Pemipaan

Sistem perpipaan adalah suatu sistem yang digunakan untuk transportasi fluida antar peralatan (equipment) dalam suatu pabrik atau dari suatu tempat ke tempat yang lain sehingga proses produksi dapat berlangsung. Sistem perpipaan (piping system) secara umum terdiri dari komponen-komponen seperti pipa,

katup, fitting (elbow, reducer, tee), flange, nozzle, instrumentasi (peralatan untuk mengukur dan mengendalikan parameter aliran fluida, seperti temperatur, tekanan, laju aliran massa, level ketinggian), peralatan atau equipment (alat penukar kalor, bejana tekan, pompa compressor), penyangga pipa (pipe support dan pipe hanger) dan komponen khusus (strainer, drain, vent). Dalam dunia industri, biasanya biasanya dikenal beberapa istilah mengenai sistem perpipaan seperti piping dan pipeline. Piping adalah sistem perpipaan disuatu plant, sebagai fasilitas untuk mengantarkan fluida (cair atau gas) antara satu peralatan ke peralatan lainnya untuk melewati proses-proses tertentu. Piping ini tidak akan keluar dari satu wilayah plant. Sedangkan pipeline adalah sistem perpipaan untuk mengantarkan atau mengalirkan fluida antara satu plant ke plant lainnya yang biasanya melewati beberapa daerah.

Pipa adalah sebuah selongsongan bundar (silinder berongga) yang digunakan untuk mengalirkan fluida cairan atau gas. Pipa biasanya disamakan dengan istilah tube, pipa tersebut biasanya terbuat dari bermacam-macam bahan sesuai dengan kebutuhannya, seperti: besi, tembaga, kuningan, plastic, pvc, aluminium, stainless. (Mukti Wibowo. 1974).

Untuk pembuatan pipa disesuaikan dengan kebutuhan dan dibedakan dari batas kekuatan tekanan, ketebalan dinding pipa, temperatur zat yang mengalir, jenis material berkaitan dengan korosi dan kekuatan pipa tersebut. Pipa adalah benda berbentuk lubang silinder dengan lubang di tengahnya yang terbuat dari logam maupun bahan-bahan lain sebagai sarana pengaliran atau transportasi fluida berbentuk cair, gas maupun padat yang berjenis serbuk. Fluida yang

mengalir ini memiliki temperature dan tekanan yang berbeda-beda. Pipa biasanya ditentukan berdasarkan nominalnya, sedangkan tube adalah salah satu jenis pipa yang ditetapkan berdasarkan diameter luarnya.

2.2.1. Jenis-jenis pipa

Dari sekian jenis pembuatan pipa mulai dari material hingga kegunaannya, secara umum pipa dapat dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu:

1. Jenis pipa tanpa sambungan (pipa baja seamless), merupakan pembuatan dengan menusuk batang besi silinder untuk menghasilkan lubang pada diameter dalam pipa tanpa sambungan pengelasan.
2. Jenis pipa dengan sambungan (pipa baja welded), yaitu merupakan pembuatan pipa dengan cara pelengkungan plat baja hingga ujung sisinya saling bertemu untuk kemudian dilakukan pengelasan.

2.3. **Komponen-komponen Sistem Perpipaan**

Komponen perpipaan ini harus dibuat sesuai dengan spesifikasi, standar yang terdaftar dalam simbol dan kode yang telah dibuat atau dipilih pada sebelumnya. Komponen-komponen perpipaan tersebut meliputi pipa, gasket, flange, sambungan (fitting), reducer, elbow, katup (valve), baut-baut (boltings), instrument, bagian khusus (special items), saringan (strainer).

2.3.1. Pipa-pipa

Pipa-pipa adalah saluran yang tertutup sebagai sarana untuk pengaliran atau transportasi fluida bisa juga sebagai sarana pengaliran atau transportasi energi dalam aliran. Adapun jenis-jenis pipa antara lain:

1. Pipa carbon steel
2. Pipa carbon moly
3. Pipa stainless steel
4. Pipa duplex (biasa digunakan di proyek migas)
5. Pipa galvanis
6. Pipa ferro nikel
7. Pipa chrom moly
8. Pipa PVC
9. Pipa HDPE (High Density PolyEthylene)

Selain itu ada juga jenis pipa dari bahan khusus antara lain :

1. Pipa fiber (FRP)
2. Pipa aluminium
3. Pipa wrought iron (pipa besi tempa)
4. Pipa copper (tembaga)
5. Pipa nickel copper
6. Pipa nickel chrom iron / inconnel (besi krom nikel)
7. Pipa red brass

2.3.2. Flange

Flange adalah sebuah mekanisme yang menyambungkan antar elemen atau equipment perpipaan yaitu antar dua buah pipa, equipment, fitting atau valve, bejana tekan, dan lainnya dapat dihubungkan bersama-sama. Flange tersedia dalam berbagai bentuk, tekanan, rating dan ukuran untuk memenuhi persyaratan desain. Jenis-jenis flange antara lain:

1. *Blind flange*

Jenis ini tidak memiliki lubang dan digunakan pada akhir pipa atau fitting dalam suatu instalasi perpipaan.



Gambar 2. 2 *Blind flange*

2. *Weld neck flange*

Flange ini mempunyai bagian khusus yang mempunyai leher (neck) alat penyambungannya dengan menggunakan butt welding. Flange jenis ini digunakan untuk tekanan tinggi dan bagian nozzle pada vessel, kompresor dan pompa. Karakteristik flange ini memiliki ketahanan sambungan terhadap kejutan dengan getaran pipa akibat laju aliran fluida yang besar didalam pipa, harga flange ini relatif mahal.



Gambar 2. 3 *Weld neck Flange*

3. *Slip on flange*

Flange jenis ini mempunyai ketahanan kejutan dan getaran yang rendah. Flange jenis ini sangat ideal untuk aplikasi tekanan rendah karena

kekuatannya pada tekanan internal sekitar sepertiga dari weld neck flange. Serta konfigurasiya menimbulkan gangguan aliran didalam pipa. Las-lasan bagian dalam flange ini cenderung lebih mudah korosi dibanding weld neck flange.



Gambar 2. 4 *Slip On flange*

4. *Threaded flange*

Flange jenis ini mirip dengan slip-on flange, perbedaannya adalah memiliki (thread internal) atau ulir dalam. Pada flange jenis ini biasanya digunakan untuk tekanan rendah dan tidak digunakan untuk temperatur yang sangat tinggi.



Gambar 2. 5 *Threaded flange*

2.3.3. Katup (*valve*)

Salah satu komponen yang penting pada sistem perpipaan adalah katup (*valve*). Katup merupakan alat bagian yang berfungsi untuk mengatur aliran suatu fluida dengan cara menutup, membuka atau menghambat sebagian jalan

aliran fluida tersebut. Disini hanya akan dibahas mengenai katup yang umum digunakan pada suatu kilang, katup tersebut antara lain:

1. Katup pintu (*gate valve*)

Katup ini mempunyai bentuk penyekat berupa piringan atau busa digerakkan keatas dan bawah untuk membuka dan menutup. Gate valve tidak bisa digunakan untuk mengatur besar kecilnya aliran (*regulate* atau *trotthling*). Karena akan merusak posisi disc nya dan mengakibatkan valve bisa *passing* pada saat valve ditutup (*passing* = aliran tetap akan lewat, walaupun valve sudah menutup). Pada saat Gate valve terbuka sebagian (misal 50% opening), maka aliran fluida akan sebagian lewat dibawah disc yang menyebabkan turbulensi (turbulensi = aliran fluida yang bergejolak).



Gambar 2. 6 *Gate Valve*

2. Katup bola (*ball valve*)

Ball Valve (*rotation valve*) ini berbeda dengan gate valve dan globe valve dalam hal cara membuka dan menutup valve. Pada gate valve dan globe valve, kita diharuskan memutar *handwell*, namun untuk rotation

valve, kita bisa membuka dan menutup valve hanya dengan memutar handle valve sebesar 90 derajat.



Gambar 2. 7 *Ball Valve*

3. Katup dunia (*globe valve*)

Jenis katup ini digunakan untuk mengatur banyaknya aliran fluida. Dudukan valve yang sejajar dengan aliran, maka membuat globe valve menjadi efisien mengatur besar kecilnya aliran dengan minimum erosi piringan dan dudukan.



Gambar 2. 8 *Globe Valve*

4. Katup kupu-kupu (*butterfly valve*)

Jenis ini hanya digunakan sebagai stop valve untuk tekanan rendah dan memberikan pressure drop yang rendah sehingga tidak dapat digunakan untuk mengatur tekanan dan kapasitas aliran.



Gambar 2. 9 *Butterfly Valve*

2.3.4. Sambungan (*fitting*)

Sambungan (*fitting*) adalah merupakan bagian dari suatu instalasi perpipaan yang berfungsi sebagai penyambung antar pipa dan sebagai akhir perpipaan atau outlet fitting.

Macam-macam sambungan pipa antarlain:

1. Siku (*elbow*)

Sambungan siku adalah jenis fitting yang merupakan komponen perpipaan yang berfungsi untuk merubah arah aliran fluida. Elbow terdiri dari 3 jenis yang paling umum digunakan yaitu ellbow 45° , 90° dan 180° .



Gambar 2. 10 *Elbow*

2. Sambungan Tee

Sambungan Tee berfungsi untuk membagi aliran, biasanya cabang ini memiliki ukuran diameter yang sama dengan ukuran diameter pipa utamanya, dengan nama lain straight tee untuk ukuran diameter yang sama, sedangkan jika ukuran berbeda maka namanya tee reduser.



Gambar 2. 11 Sambungan *Tee*

3. Sambungan pemerkecilan (*reducer*)

Jenis ini berfungsi untuk mengurangi aliran fluida. Mengurangi disini bukan berarti seperti katup (*valve*), tetapi ukuran pipanya saja yang berkurang. Sehingga *reducer* ini berfungsi untuk menyambungkan pipa dari diameter yang lebih besar ke pipa yang memiliki diameter lebih kecil.



Gambar 2. 12 *Reducer*

4. Sambungan *Stup-in*

Jenis ini fungsinya sama dengan tee, yaitu membagi arah aliran. Bedanya adalah jika tee item yang terpisah dan menggabungkan beberapa pipa tetapi *stup-in* percabangan langsung dari pipa utama yang fungsinya menggantikan reduser tee.



Gambar 2. 13 Sambungan *Stup-in*

5. Sambungan *Cap*

Fitting cap berfungsi untuk menghentikan aliran pada ujung pipa. *Fitting* ini dilas langsung pada bagian pipa utama.



Gambar 2. 14 Sambungan *Cap*

2.3.5. Gasket Pipa

Gasket pada sambungan flange berfungsi untuk mencegah kebocoran pada setiap sambungan flange perlu menggunakan gasket, baik yang berbentuk oval atau lingkaran (ring). Gasket diletakkan pada permukaan flange (flange face).

Gasket juga mempunyai standar khusus, yaitu:

1. ASME B16.20: *Ring-join gasket* dan *grooves* untuk *steel pipe flanges* (*metallic gasket*).
2. ASME B16.21: *Non-Metallic gasket* untuk pipa *flange*.



Gambar 2. 15 Gasket

2.4. Pompa

Pompa adalah suatu alat yang digunakan untuk memindahkan suatu cairan dari satu tempat ke tempat yang lain dengan cara menaikkan tekanan cairan tersebut, kenaikan tekanan cairan tersebut digunakan untuk mengatasi hambatan-hambatan pengaliran, hambatan-hambatan pengaliran itu dapat berupa perbedaan tekanan perbedaan ketinggian atau hambatan gesek.

Pada prinsipnya pompa mengubah impeller mekanik menjadi impeller aliran fluida, impeller yang diterima oleh fluida akan digunakan untuk menaikkan tekanan dan mengatasi tahanan-tahanan yang terdapat pada saluran yang dilalui.

Pompa juga dapat digunakan pada proses-proses yang membutuhkan tekanan hidraulik yang besar, hal ini impeller dijumpai antara lain pada peralatan-peralatan berat, dalam operasi mesin-mesin peralatan berat membutuhkan tekanan discharge yang besar dan tekanan isap yang rendah, akibat tekanan yang rendah pada sisi isap pompa, maka fluida akan naik dari kedalaman tertentu, sedangkan akibat tekanan yang tinggi pada sisi discharge akan memaksa fluida untuk naik sampai pada ketinggian yang diinginkan. Jenis-jenis pompa adalah sebagai berikut:

2.4.1. Pompa Putar (*rotary*)

Pompa putar (Rotary) komponen pompa ini secara garis besar terdiri sebuah rumah pompa dengan sambungan saluran isap (suction) dan sambungan saluran kempa (discharge) dan didalam rumah pompa tersebut terdapat komponen yang berputar, yang dapat berupa roda gigi (gear pumps), atau ulir (screw pumps).

Secara umum prinsip kerja pompa rotary pumps adalah sebagai berikut: berputarnya elemen dalam rumah pompa menyebabkan penurunan tekanan pada saluran isap, sehingga terjadi aliran cairan dari sumber masuk ke rumah pompa. Cairan tersebut akan mengisi ruang kosong yang ditimbulkan oleh elemen-elemen yang berputar dalam rumah pompa tersebut, cairan terperangkap dan ikut berputar. Pada saluran kempa terjadi pengecilan rongga, sehingga cairan terkempakan ke luar.

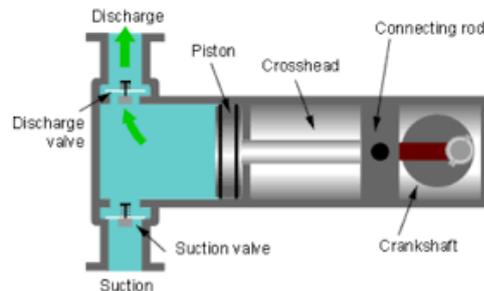


Gambar 2. 16 Pompa Putar

2.4.2. Pompa Torak

Pompa torak mengeluarkan cairan dalam jumlah yang terbatas selama pergerakan piston sepanjang langkahnya. Volume cairan yang dipindahkan selama satu langkah piston akan sama dengan perkalian luas piston dengan panjang langkah. Menurut cara kerjanya pompa torak dapat dikelompokkan dalam kerja tunggal dan kerja ganda, sedangkan menurut jumlah silinder yang digunakan dapat dikelompokkan dalam pompa torak silinder tunggal dan pompa torak silinder banyak. Untuk pompa torak kerja tunggal dan silinder tunggal, aliran cairan terjadi sebagai berikut. Bila batang torak dan torak bergerak ke atas, zat cair akan terisap oleh katup isap di sebelah bawah dan pada saat yang sama cairan yang ada di sebelah atas torak akan terkempakan ke luar. Jika torak bergerak ke

bawah katup isap akan tertutup dan katup kempa terbuka sehingga cairan tertekan ke atas torak melalui katup kempa, dengan gerakan ini maka akan terjadi kerja isap dan kerja kempa secara bergantian. Aliran cairan yang dihasilkan terputus-putus. Cara kerja pompa torak kerja ganda pada prinsipnya sama dengan cara kerja pompa torak kerja tunggal, tetapi pada pompa torak kerja ganda terdapat dua katup isap dan dua katup kempa yang masing-masing bekerja secara bergantian. Sehingga pada saat yang sama terjadi kerja isap dan kerja kempa, karena itu aliran zat cair menjadi impeller lebih teratur.



Gambar 2. 17 Konsep Pompa Torak

2.4.3. Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal adalah mesin atau alat yang digunakan untuk menambah energi pada suatu fluida (cair) berdasarkan gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh impeller yang berputar. Sehingga memungkinkan untuk memindahkan cairan dari satu tempat ke tempat lain. Menerima energi melalui impeller meningkatkan kecepatan fluida. Energi kinetik ini kemudian diubah menjadi energi tekanan oleh selubung pompa yang dirancang sebagai pompa spiral atau sentrifugal, atau sebagai baling-baling tetap (diffuser) yang mengelilingi impeller, dan cairan dipompa keluar dari pompa dengan kecepatan rendah.



Gambar 2. 18 Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal bekerja dengan mengambil energi dari motor yang digerakkan oleh pompa dan memutar impeller yang dipasang pada poros. Cairan dalam impeller mengalir keluar karena momentum sudu sudu, dan ketinggian (h) baling-baling pemandu berkurang dan bertambah. Besarnya tekanan yang dihasilkan tergantung pada kecepatan fluida menggunakan persamaan:

$$P = \rho \times g \times h \quad (2. 6)$$

Dimana : $P = \text{Tekanan Statis } \left(\frac{N}{m^2} \right)$

$\rho = \text{Kerapatan Fluida } \left(\frac{kg}{m^3} \right)$

$h = \text{Tinggi kenaikan (m)}$

$g = \text{Percepatan gravitasi } \left(\frac{N}{m^2} \right)$

Prinsip kerja dan operasi pompa sentrifugal yaitu langkah awal melakukan proses priming (memancing). Hal yang dilakukan di dalam proses priming adalah mengisi cairan pada pipa hisap dan rumah pompa, sehingga tidak terdapat kantong udara. Kemudian selanjutnya memutar impeller. Perputaran impeller menyebabkan gaya sentrifugal pada cairan. Perputaran impeller menyebabkan menurunnya tekanan pada pusat impeller. Hal ini menyebabkan cairan pada pipa hisap mengalir

ke impeller. Karakteristik pompa merupakan parameter dari variabel Head (H), Daya (N), efisiensi (η) Debit (Q). Berikut adalah klasifikasi pompa sentrifugal:

1. Berdasarkan kapasitas

- a. Kapasitas rendah : Sampai dengan $20 \text{ m}^3/\text{s}$
- b. Kapasitas menengah : $20 - 60 \text{ m}^3/\text{s}$
- c. Kapasitas tinggi : $> 60 \text{ m}^3/\text{s}$

2. Berdasarkan Tekanan *Discharge*

- a. Kapasitas rendah $< 5 \text{ Kg/m}^2$
- b. Kapasitas menengah $5 - 50 \text{ Kg/m}^2$
- c. Kapasitas tinggi $> 50 \text{ Kg/m}^2$

3. Jenis-jenis Impeller

a. Closed Impeller

Sudu-sudu ditutup oleh dua buah dinding yang merupakan satu kesatuan, digunakan untuk pemompaan zat cair yang bersih atau sedikit mengandung kotoran.

b. Semi-closed impeler

Impeller jenis ini terbuka disebelah sisi masuk (depan) dan tertutup di sebelah belakangnya. Sesuai untuk memompa zat cair yang sedikit mengandung kotoran misalnya : air yang mengandung pasir, zat cair yang mengauskan, slurry, dan lain-lain.

c. Open Impeller

Impeller jenis ini tidak ada dindingnya di depan maupun di belakang. Bagian belakang ada sedikit dinding yang disisakan untuk memperkuat sudu. Jenis ini banyak digunakan untuk pemompaan zat cair yang banyak mengandung kotoran.

4. Arah aliran keluar

a. Pompa aliran radial

Arah aliran dalam sudu gerak pada pompa aliran radial pada bidang yang tegak lurus terhadap poros dan head yang timbul akibat dari gaya sentrifugal itu sendiri. Pompa aliran radial mempunyai head yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan pompa jenis yang lain.

b. Pompa aliran aksial

Arah aliran dalam sudu gerak pada pompa aliran aksial terletak pada bidang yang sejajar dengan sumbu poros dan head yang timbul akibat dari besarnya gaya angkat dari sudu-sudu geraknya. Pompa aliran aksial head yang lebih rendah tetapi kapasitasnya lebih besar.

c. Pompa aliran campuran

Pada pompa ini fluida yang masuk sejajar dengan sumbu poros dan keluar sudu dengan arah miring (merupakan perpaduan dari pompa aliran radial dan aliran aksial). Pompa ini mempunyai head yang lebih rendah namun mempunyai kapasitas lebih besar.

2.4.4. Perhitungan Head

1. Head Statis Total

Head potensial / elevasi adalah perbedaan ketinggian antara fluida pada sisi tekan dengan ketinggian fluida pada sisi isap. Head elevasi dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$h_s = h_t - h_i \quad (2.7)$$

Keterangan :

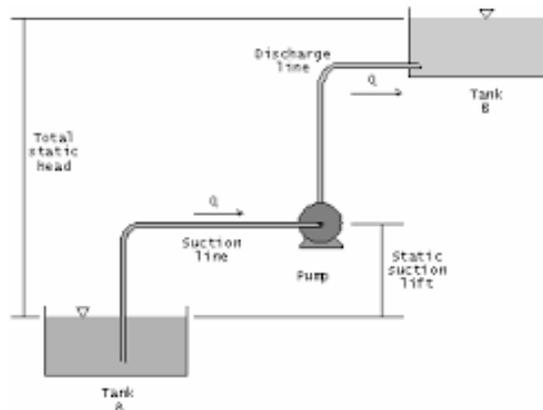
h_s : Head statis total

h_t : Head statis pada sisi tekan (m)

h_i : Head statis pada sisi isap

2. Head Total Pompa

Dalam memilih suatu pompa untuk maksud tertentu, terlebih dahulu harus diketahui aliran serta head yang diperlukan untuk mengalirkan zat cair yang akan dipompa. Head pompa adalah energi per satuan berat yang harus disediakan untuk mengalirkan sejumlah zat cair yang direncanakan sesuai kondisi instalasi pompa atau tekanan untuk mengalirkan sejumlah zat cair, yang umumnya dinyatakan dalam satuan panjang. Head dapat bervariasi pada penampang yang berbeda, tetapi pada kenyataannya selalu ada rugi energi. Head total pompa yang harus disediakan untuk mengalirkan jumlah air seperti direncanakan, dapat ditentukan dari kondisi instalasi yang akan dilayani oleh pompa.



Gambar 2. 19 Head Total Pompa

Kita dapat menentukan head total pompa dengan persamaan dibawah ini:

$$H = h_s + \Delta h_p + h_l + \frac{vd^2}{2g} \quad (2. 8)$$

Dimana:

H : Head total pompa

H_s : Head statis total

Δh_p : Perbedaan head tekanan yang berada pada permukaan air (m),

$$\Delta h_p : h_{p2} - h_{p1}.$$

h_l : Berbagi kerugian head di pipa, katup, belokan. Sambungan, dll (m)

$$h_l : h_{ld} + h_{ls}$$

$\frac{vd^2}{2g}$: Head kecepatan keluar (m/s)

g : Percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

Head total pompa salah satunya dipengaruhi oleh berbagai kerugian pada sistem perpipaan yaitu gesekan dalam pipa, katup, belokan, sambungan, reduser, dll. Untuk menentukan head total yang harus disediakan pompa,

perlu menghitung terlebih dahulu kerugian-kerugian pada instalasi. Dimana kerugian-kerugian tersebut akan dijumlahkan untuk mengetahui kerugian head yang terjadi dalam instalasi. Berikut akan dihitung kerugian head pemipaan dan instalasi pengujian pompa. (Sularso, Haruo Tahara.2000).

3. Head Kerugian Gesek Zat cair didalam pipa

Untuk aliran yang laminar dan turbulen, terdapat rumus yang berbeda. Sebagai patokan apakah suatu aliran itu laminar atau turbulen, dipakai bilangan reynold yang bersangkutan.

Bilangan Reynold

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (2.9)$$

Dimana :

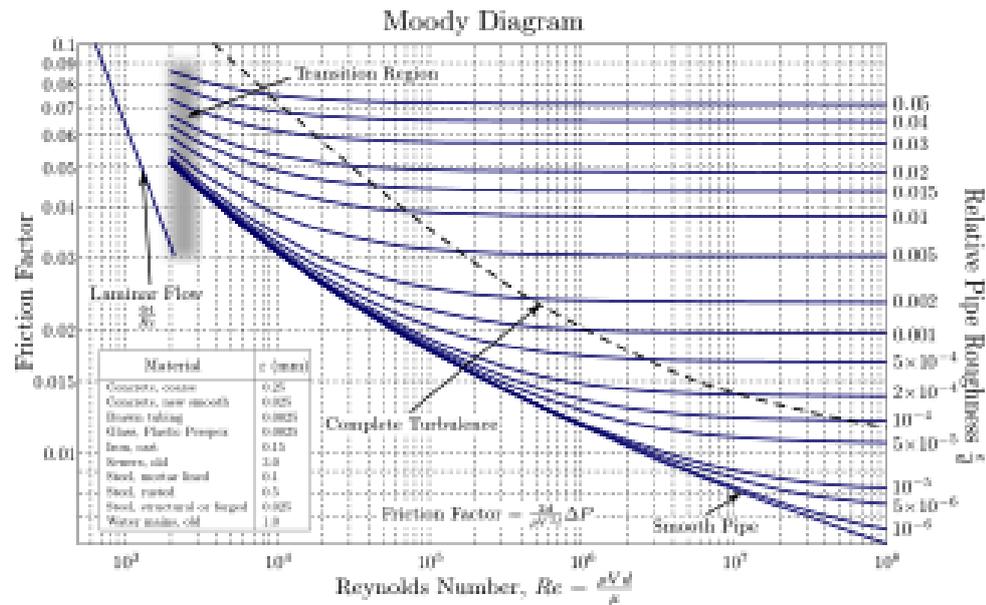
V = Kecepatan aliran fluida

D = Diameter (m)

ν = Viskositas Kinetik zat cair ($1,307 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$). (sumber: sularso,2000.

Tabel kerapatan dan kekentalan air 1 atm)

Pada $Re < 2300$, aliran laminar dan $Re > 4000$, aliran bersifat turbulen dan jika $Re = 2300-4000$ terdapat aliran transisi. maka koefisien gesek dalam pipa dapat di tentukan dengan diagram moody` Untuk menentukan faktor gesekan pada pipa menggunakan diagram moody.



Gambar 2. 20 Diagram *Moody*

Perhitungan pola aliran di dalam pipa dipengaruhi oleh pola aliran, untuk aliran laminar dan turbulen akan menghasilkan nilai koefisien yang berbeda. Hal ini dikarenakan karakteristik dari aliran tersebut. Adapun rumus yang dipakai adalah sebagai berikut :

Aliran Laminar ($Re < 4000$) harga f dapat dihitung dengan persamaan :

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2. 10)$$

Aliran Turbulen ($Re > 4000$) harga f dapat dihitung dengan persamaan :

$$f = 0,0055 (1 + (20000 \times \epsilon_D + 10^6 / Re)^{1/3})$$

Untuk menghitung kerugian gesek antara dinding pipa dengan aliran fluida tanpa adanya perubahan luas penampang di dalam pipa dapat dipakai rumus Darcy yang secara matematis ditulis sebagai berikut:

$$h_f = f \frac{L \cdot u^2}{D \cdot 2g} \quad (2.11)$$

Dimana :

h_f = head kerugian ruang gesek dalam pipa

f = Koefisien gesekan

L = Panjang pipa (m)

D = diameter dalam pipa (m)

v^2 = kecepatan aliran dalam pipa (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

4. Kerugian Head pada Sambungan Elbow 90° Pada Pipa

Kerugian minor adalah kehilangan tekanan akibat gesekan yang terjadi pada katup-katup, sambungan T, sambungan belokan dan pada luas penampang yang tidak konstan. Pada aliran yang melewati belokan dan katup head loss minor yang terjadi dapat dihitung dengan rumusan sebagai berikut:

$$h_{l1} = n k_1 \frac{u^2}{2g} \quad (2.12)$$

Dimana :

n = jumlah sambungan 90°

k_1 = faktor Kelngkunan pipa lekuk 90° = 1,129

(sumber;Sularso,pompa dan kompresor. Tabel kerugian belokan pipa)

g =Percepatan gravitasi (m/s²)

u = Kecepatan aliran dalam pipa

5. Kerugian Head Pada Katup Isap Dengan Saringan

Kerugian ini dapat dilihat dengan persamaan berikut:

$$h_{l_2} = n k \frac{u^2}{2g} \quad (2.13)$$

Dimana :

k = faktor akibat adanya katup isap dengan saringan = 1,97

(sumber;Sularso,pompa dan kompresor. Tabel Kerugian belokan pipa)

u = Kecepatan aliran dalam pipa

g = Percepatan Gravitasi (m/s^2)

2.4.5. Daya Pompa

Dari pengujian ini dapat diketahui besarnya daya hidrolis yang dibangkitkan dan daya motor penggerak yang diperlukan untuk menggerakkannya, sehingga besarnya efisiensi dari pompa dan efisiensi sistem instalasi pengujian dapat diketahui. Besarnya daya dan besarnya efisiensi tersebut dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

1. Daya Hidrolis

Daya hidrolis (daya pompa teoritis) adalah daya yang diperlukan untuk mengalirkan sejumlah zat cair. Daya hidrolis dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$N_h = \frac{\gamma \cdot H \cdot Q}{102} \quad (2.14)$$

Dimana :

N_h : Daya hidrolis (KW)

γ : Berat jenis air (kN/m³)

Q : Debit (m³/s)

h_{tot} : Head total (m)

2. Daya Pompa Sentrifugal

Berdasarkan energi atau daya dibutuhkan untuk memutar poros pompa dipengaruhi oleh kapasitas pompa, tinggi tekan total pompa, berat jenis fluida yang dipompakan, serta efisiensi total pompa tersebut. Daya yang dibutuhkan untuk memutar poros pompa di sebut juga dengan daya pompa dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$N_p = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{\eta \cdot 102} \quad (2.15)$$

Dimana:

N_p = Daya yang dibutuhkan pompa (kW)

Q = Kapasitas Pompa (m³/det)

H = Head total pompa

γ = Berat jenis fluida yang dipompakan (kg/m³)

η = Efisiensi pompa

3. Efisiensi Pompa

Efisiensi pompa merupakan perbandingan daya yang diberikan pompa kepada fluida dengan daya yang diberikan motor listrik kepada pompa. Berubahnya kapasitas akan mempengaruhi efisiensi pompa dan daya pompa.

Sehingga untuk efisiensi pompa (η) dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut: (*Austin H.Chruch. Zulkifli Harahap.1993*)

$$\eta = \frac{N_h}{N_m} \times 100 \% \quad (2. 16)$$

Dimana :

η = efisiensi Pompa (%)

N_h = Daya hidrolis (kW)

N_m = Daya Motor (kW)