

## BAB II

### DASAR TEORI

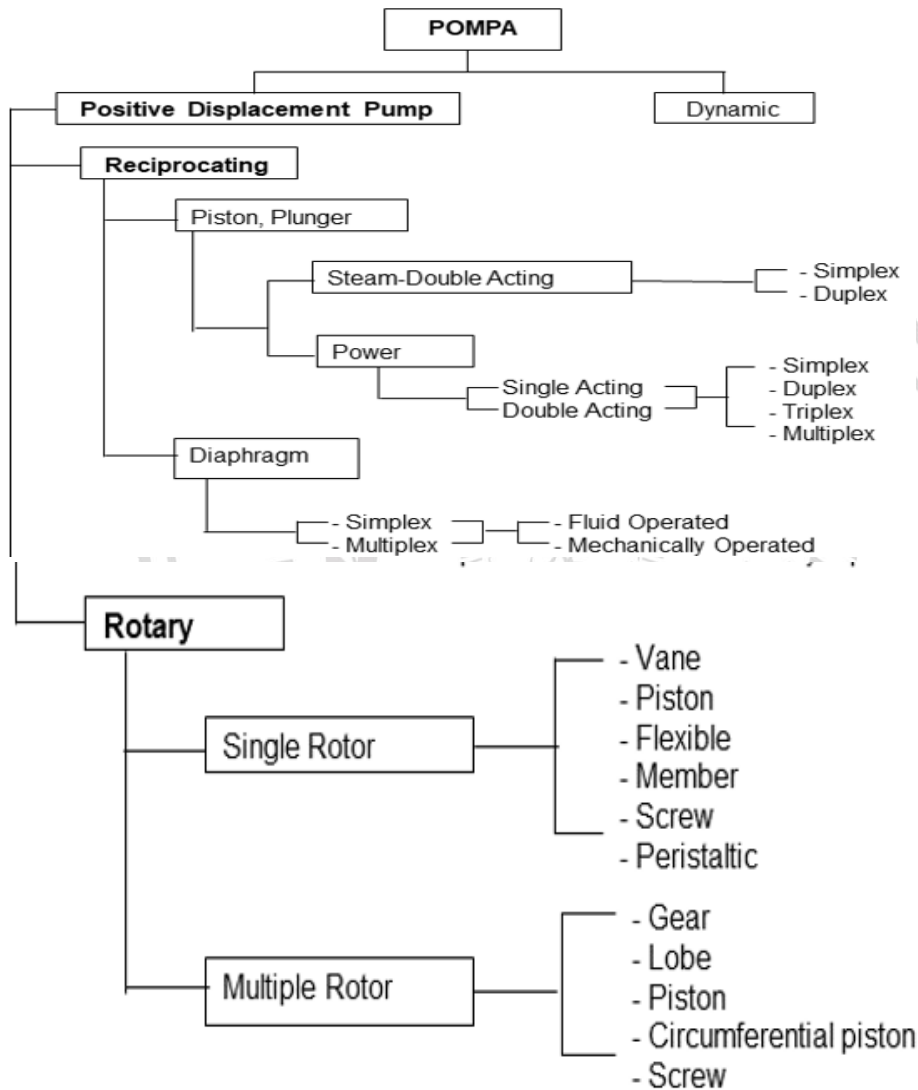
#### Tinjauan Umum Pompa

Perangkat pemindah fluida sebagai peralatan perangkat yang sangat berguna hal tersebut dalam kehidupan sehari-hari, dalam kehidupan sehari-hari, terutama bagi mereka yang bekerja di pedesaan. terutama bagi mereka yang bekerja di pedesaan. Alat yang sering digunakan ini untuk mengukur tekanan udara untuk mengukur tekanan udara di lokasi pada diinginkan. Energi energi mekanik yang dihasilkan oleh yang dihasilkan oleh pompa ditransfer ke cairan udara untuk dilepaskan. Pompa dipindahkan ke cairan udara untuk dilepaskan. Selain tambahan kegunaanya, pompa juga digunakan dalam industri. Untuk tujuan penggunaannya, pompa juga digunakan dalam industri. Menurut penelitian R. I. Suleimanof dan M. Y. Khabibullin, jenis pompa ini sering dimanfaatkan untuk pemompaan proses industri. Riset oleh R. I. Suleimanof dan M. Y. Khabibullin, jenis pompa ini sering dimanfaatkan untuk pemompaan proses industri. Secara umum, pompa pompa sentrifugal adalah perangkat mekanis yang mengubah energi kinetik menjadi energi fluida menggunakan prinsip sentrifugas. Dalam metode ini metode, cairan ditarik dari masukan pompa (hisap) dan dilepaskan melalui ruang pompa yang terhubung ke keluaran (pembuangan). Cairan ditarik dari masukan pompa (hisap) dan dilepaskan melalui ruang pompa yang terhubung ke keluaran (pembuangan) (Siregar, Z. H., Mawardi, M., Siregar, R., Soaloon, H. R., Saragih, E. S., & Refiza, R. (2023)).

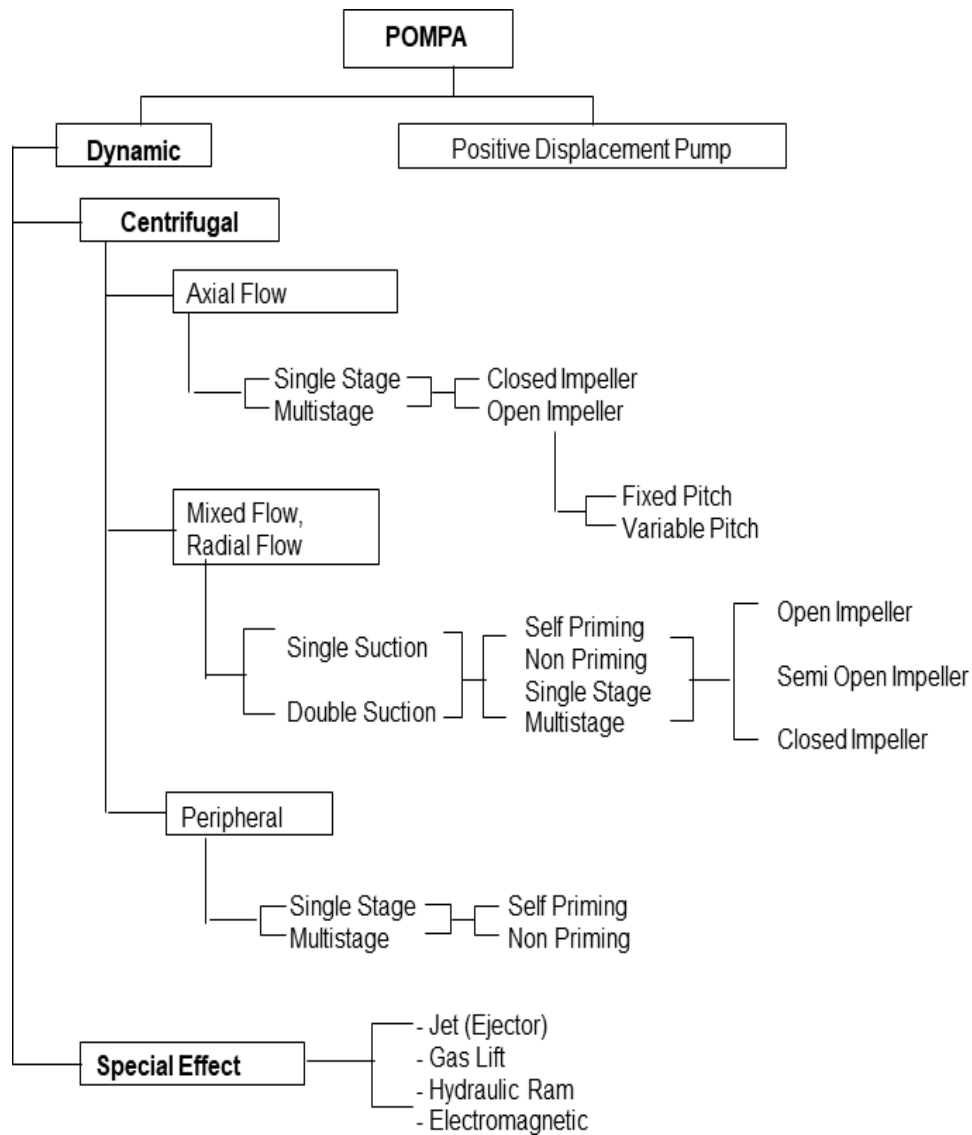
## Klarifikasi Pompa

Mengacu pada metode pemindahan cairan, pompa dapat dibagi dalam dua kategori utama, yakni:

1. Pompa Pemindahan Positif (Pompa Pemindahan Positif)
2. Pompa Non - Pemindahan Positif, atau Pompa Dinamis



**GAMBAR 2.1** Menunjukkan pengelompokan pompa jenis perpindahan positif



**Gambar 2.2** Menampilkan pengelompokan pompa jenis dinamis

#### 2.1.1.1 Pompa *Positive Displacement*

Alat pemindah fluida Positif merupakan jenis-jenis perangkat pemindah fluida yang volume pompa yang dimanfaatkan untuk bekerja diubah oleh perpindahan fluida selama proses kerja, yang disebabkan oleh pergerakan salah satu elemen. Dari pompa dimana volume pompa yang dimanfaatkan untuk bekerja diubah

oleh perpindahan cairan di seluruh proses kerja yang disebabkan oleh pergerakan suatu unsur (Rohman N. 2018).

Ruang kerja pompa akan mengecil ketika elemen bergerak, baik dari dorongan (translasi) maupun gerakan berputar. Hal ini akan menghasilkan berkurangnya jumlah tenaga kerja yang memindahkan benda tersebut ke lokasinya saat ini.

Siklus Perpindahan Pompa adalah seperti berikut:

1. Head yang dicapai tercapai dengan relatif dengan, meskipun memiliki debit atau kapasitas yang lebih rendah. Kemampuan untuk berfungsi pada kondisi hisap kering, sehingga tidak diperlukan pengisian awal pada awal pengoperasian pompa. Jenis pompa perpindahan positif diidentifikasi berdasarkan mekanisme yang mendasarinya: Pompa resiprokal dan pompa rotari.

#### 2.1.1.2 Pompa Non *Positive Displacement (Dynamic)*

Pada pompa perpindahan non-positif, asimetri fluida disebabkan oleh gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh gerakan hisap atau impeler. Dari kekuatan sentrifugal yang muncul akibat gerakan hisap (*impeller*). Prinsip prinsip yang terjadi sini adalah mengubah energi kinetik menjadi energi potensial (Rohman N. 2018).

Silinder piston perpindahan non-positif adalah seperti berikut: seperti berikut:

1. Hasilnya hasil menunjukkan menunjukkan sedikit lebih tinggi, tetapi debit cairan sedikit lebih tinggi.
2. Pipa tidak fungsi dapat dalam keadaan kering hisap-hisap kondisi, sehingga perlu didorong dengan udara hingga mencapai impeller melalui proses priming. Oleh karena itu, ia perlu didorong dengan udara hingga mencapai impeller melalui proses priming. Salah satu jenis-jenis dari perpindahan non-positif adalah pompa sentrifugal. Pompa perpindahan non-positif merupakan pompa berbasis gasentrifugal.

#### 2.1.1.2.1 Pompa Sentrifugal

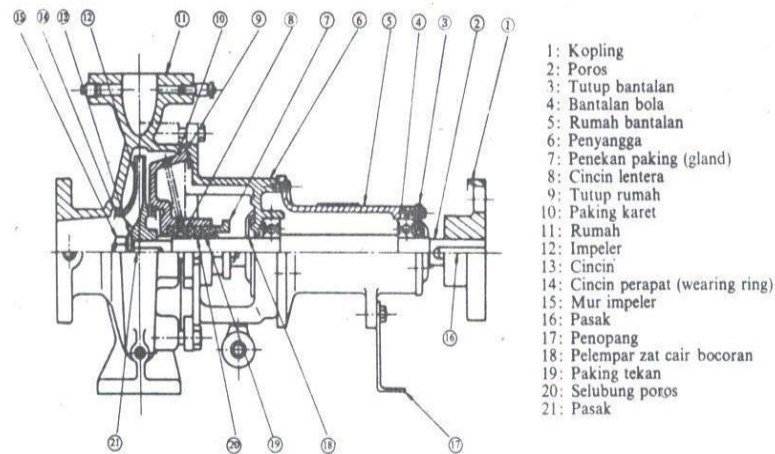
Alat Pompa sentrifugal merupakan jenis-jenis pompa menggunakan pompa rotor untuk meningkatkan momentum fluida. Prinsip prinsip kerja meliputi melibatkan impeller, di mana partikel sebuah impeller, di mana partikel fluida cairan ditarik keluar dari saluran hisap dan dibuang ke atmosfer. Partikel - partikel yang dimaksud ditingkatkan energi kinetiknya dan kemudian dikurangi menjadi energi potensial di dalam casing. Penyebab hal ini cairan di dalam dalam impeller bergerak sementara tekanan di saluran masuk terus bergerak menuju casing pompa. Pendorong untuk bergerak sementara tekanan di saluran masuk terus bergerak ke arah casing pompa. Meningkatkan dalam energi kinetik dan kemudian dikurangi menjadi energi potensial di dalam selubung (Rohman N. 2018).

Berdasarkan pada arah alirannya, pompa dapat diklasifikasikan menjadi tiga kategori:

- a. Pompa radial (*Radial Flow*)
- b. Pompa aksial (*Axial Flow*)
- c. Pompa Campuran (*Mixed Flow*)

#### 2.1.1.2.2. Komponen Pompa Sentrifugal

Secara umum, perangkat pemindah fluida yang bekerja dengan prinsip gaya sentrifugal dilengkapi dengan satu atau beberapa impeler yang diisi menggunakan mangkuk penghisap salah satunya atau lebih di dalam bentuk bento. Impeller ini dilindungi terlindung oleh casing dengan sebuah casing. Untuk penjelasan lebih lanjut klarifikasi, diagram berikut menunjukkan komponen dan bagian - bagian pompa sentrifugal (Rohman N. 2018).



**Gambar 2.3** Bagian pompa Sentrifugal

Secara umum komponen-komponen dari kantong sentrifugal terdiri dari: kantong sentrifugal meliputi:

**Impeller:** Berfungsi mengalihkan pompa daya mekanik berubah menjadi daya aliran kontinyu dalam fluida, sehingga cairan di mana ada di dalam isap dapat memonitor secara terus menerus kekosongan yang dihasilkan dari perbedaan tekanan hisap dan tekanan buang serta pergerakan cairan sebelumnya. Menjadi energi aliran kontinyu dalam cairan, sehingga cairan isap dapat terus memantau kekosongan yang terjadi akibat perbedaan tekanan isap dan buang serta pergerakan cairan sebelumnya.

**Casing:** Di dalamnya terdapat ruang keong berputar berfungsi untuk mengurangi aliran impeller dan mengubah energi fluida, menjadi energi dinamis (tahap tunggal). Ruang keong yang berfungsi untuk mengurangi aliran impeller dan mengubah energi fluida menjadi energi dinamis/*single stage*.

**Kotak Isi:** Berfungsi sebagai mengurangi bau pada area di mana casing pompa rusak. Mengurangi bau di area dimana casing pompa rusak.

**Packing:** Dimanfaatkan untuk memecah memecah dan meminimalkan cairan-cairan kebocoran casing pompa melalui suatu perforasi. Dari casing pompa melalui perforasi.

**Poros:** Berfungsi sebagai sebuah duduk bagi impeller dan komponen lainnya serta alat pemindah putaran dari penggerak saat beroperasi. Untuk impeller dan komponen lainnya serta alat pemindah putaran dari penggerak pada saat beroperasi.

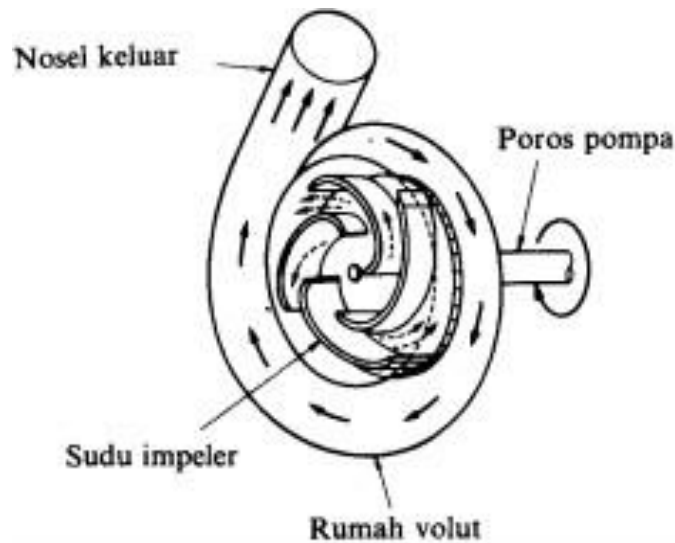
Shaft Sleeve: Mengkonsolidasikan poros dari erosi, the erosi.

#### 2.1.1.2.3 Prinsip Kerja Pompa Sentrifugal

Dalam ilustrasi gambar 2.4 itu fungsi baling-baling adalah guna menambah opsi lainya mengurangi fluida dari sisi hisap ke fungsi pembuangan. Daya motor dimasukkan melalui suatu port untuk mengubah impeller yang terdapat dalam casing. Cairan dalam pendorong akan berkurang akibat hisapan yang tidak menentu. Gaya yg dihasilkan sentrifugal yang gaya sentrifugal menyebabkan bilah terpisah dari impeller dan bergerak keluar melalui hisapan antara dua jahitan. Pada titik ini titik, kepadatan cairan kepala meningkat. Kepadatan cairan kepala meningkat kepala kecepatannya juga tertinggal karena fluida mengalami jeda. Fluida impeller diblokir oleh saluran yang terdiri dari volute di dekat impeller dan diarahkan melalui nosel. yang keluar dari impeller diblokir oleh saluran yang terdiri dari volute di dekat impeller dan diarahkan melalui nosel. Di dalam nosel, sebagian besar kepala aliran diubah menjadi kepala tekanan (Rohman N. 2018).

Di bawah ini adalah diagram diagram yang menggambarkan laju aliran fluida aliran tersebut memengaruhi impeller dalam pompa berputar.





**Gambar 2.4** Menunjukkan komponen jalur aliran fluida pada pompa sentrifugal

Manfaat alat pemindah fluida perbandingan pompa jenis sentrifugal dibandingkan alat pompa resiprokal antara lain: ke pompa resiprokal antara lain:

1. Tanpa mekanisme katup, pompa bisa jadi dapat dimanfaatkan untuk mengencerkan cairan yang terkandung partikel atau gumpalan.
2. Hasilnya hasil lebih konsisten dibandingkan dengan pompa resiprokal yang menghasilkan hasil tidak menentu.
3. Harga lebih terjangkau harga dan perawatan lebih mudah.
4. Tidak ada is interaksi antara casing dan impeller, sehingga mengakibatkan ambang kebocoran lebih tinggi. Tidak ada interaksi antara *casing* dan *impeller*, sehingga menghasilkan ambang kebocoran yang lebih tinggi.
5. Memiliki kemampuan untuk dihubungkan secara nirkabel ke motor penggerak secara tinggi.
6. Memiliki keliling yang berukuran cukup kecil, sehingga tidak berat dan membutuhkan dasar yang lebih ringkas.

Keunggulan pompa centrifugal pump compared dibandingkan pompa resiprokal adalah seperti berikut:

1. Dengan kepala yang lebih besar dan kapasitas yang lebih kecil, tingkat keefektifannya lebih besar.
2. Supaya bisa beroperasi semakin lancar, alat ini perlu beroperasi secara



optimal.

3. Sulit untuk membuat tanpa kepala tanpa pompa

#### 2.1.1.2.4. Pompa Aksial

Ide ide dasar sebuah dari pompa aksial adalah bahwa cairan dipompa oleh pompa searah yang benar - benar memiliki sumbu. Pompa aksial adalah cairan yang dipompa oleh pompa searah yang benar - benar dengan sumbu. Meskipun jenis pompa ini jenis memiliki kapasitas besar, berat jenisnya hanya 0,1 hingga 30 m<sup>3</sup>/s, dan kapasitas head - nya sekitar 1 hingga 5 m di atas permukaan laut. Pompa ini memiliki kapasitas besar, berat jenisnya hanya 0,1 hingga 30 m<sup>3</sup>/s, dan kapasitas head - nya sekitar 1 hingga 5 m di atas permukaan laut (Rohman N. 2018).

Dapat diposisikan secara horizontal, vertikal, atau miring. Pompa dapat memiliki satu pompa atau beberapa pompa yang digerakkan oleh gravitasi, mirip dengan pompa sentrifugal bertingkat. Pompa aksial dengan banyak impeler dapat mencapai ketinggian sekitar 20 meter. Pompa aksial meliputi keuntungan: mencapai ketinggian sekitar 20 meter. Untuk pengoperasian senyap dengan motor penggerak. Volume keseluruhan lebih kecil dibandingkan kapasitasnya. Mampu menghilangkan implementasi. Menghilangkan cairan lengket. Risiko aksial adalah:

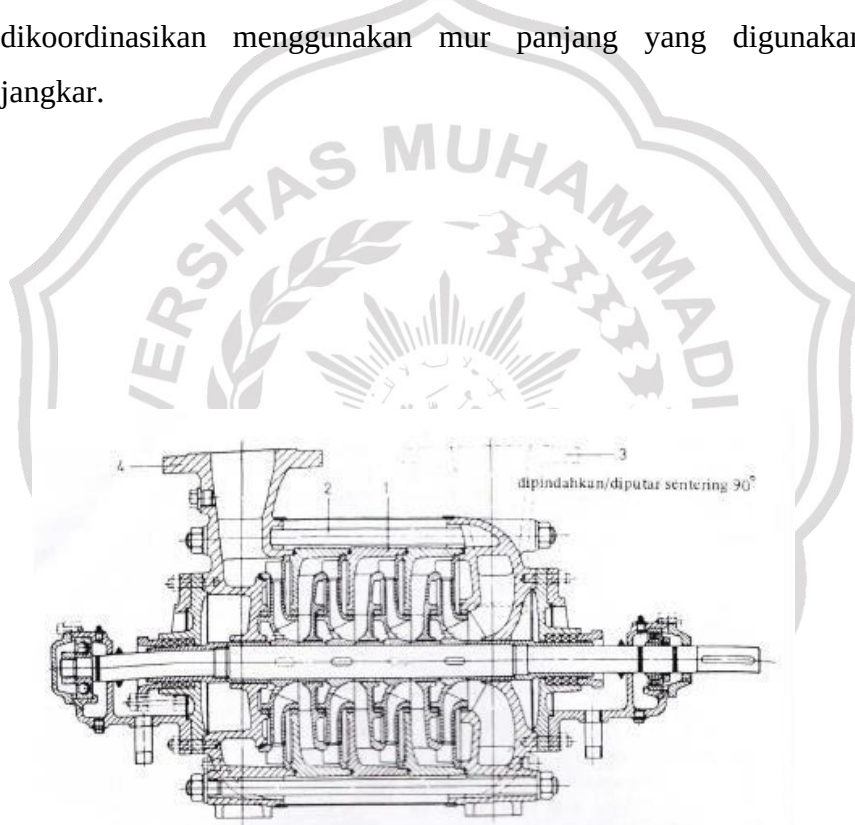
1. Head yang ditujukan secara stabil.

#### 2.1.1.2.5 Pompa Sentrifugal *Multistage*

Dikenal sebagai alat pemindah fluida beruas-ruas. Jenis konstruksi ini digunakan sebagai pompa penyaring udara. Setiap ambang batas dicocokkan cocok dengan suatu batang, suatu pengarah, dan kadang - kadang suatu batang yang cocok dengan dengan sudu penghantar balik yang ditentukan sebagai suatu batang tunggal. Batang, pengarah, dan kadang- kadang batang yang cocok sudu penghantar balik yang bertekad menjadi tunggal (Rohman N. 2018).

### 1. Konstruksi Pompa *Multistage*

Eksekusi pompa bertingkat dapat dilihat dalam Gambar 2.5. Penyangga yang mendukung batang penggerak dilengkapi dengan ring pengaman untuk mencegah kebocoran fluida mengalir ke dalam penyangga. Untuk tempat duduk penyangga, keduanya di hubungkan salah satu sama lain sebagai satu kesatuan. Selain itu, masing-masing penutup dilengkapi dengan tabung pengisi poros yang dilekatkan pada sisi penarikan dan pemampatan rumah pompa. Terakhir, seluruh komponen itu termasuk ruas-ruas tingkat pompa dikoordinasikan menggunakan mur panjang yang digunakan sebagai jangkar.



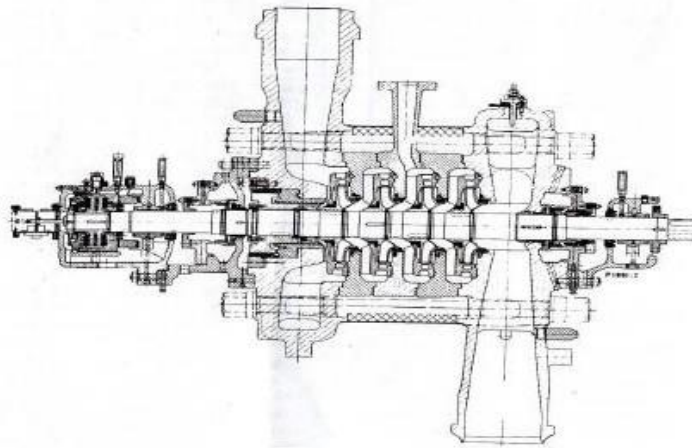
**Gambar 2.5** Memperlihatkan tampilan penampang memanjang dari konfigurasi pompa multistage

Bagian-bagian pompa diatur tegak lurus terhadap poros. Setelah roda jalan tingkat pertama dipasang, selanjutnya dipasang cincin dengan sudu pengarah, diikuti oleh cincin dengan sudu pengantar balik. Proses pemasangan untuk tingkat-tingkat berikutnya dilakukan menggunakan metode yang serupa, sebelum akhirnya dipasangkan pelindung

menggunakan jalur isap. Metode penyusunan tersebut dikenal dengan pemasangan berantai, sama dengan pembagian tingkat pompa. Untuk pengisian air boiler, pompa ini dapat dirancang hingga 12 tingkat.

## 2. Pompa *Multistage* yang beruas-ruas

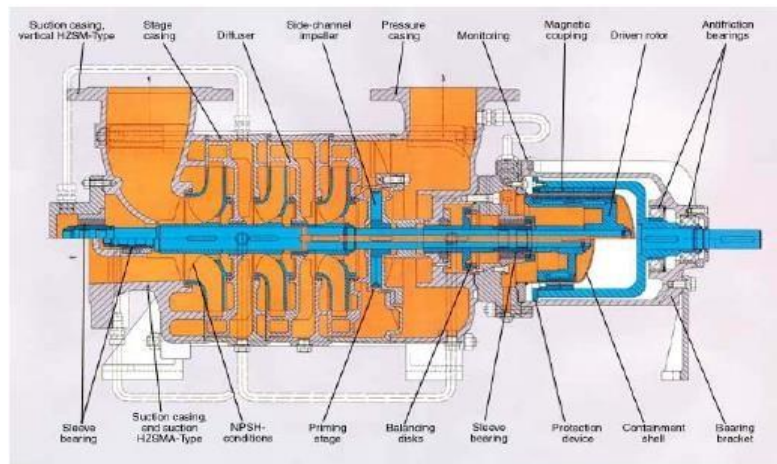
Pompa bertingkat yang beruas-ruas dapat dikenali dari bentuknya dimana menggunakan baut jangkar yang kuat, yang menahan serta memberikan tekanan pada rumah pompa pada sisi isap dan dorong. Baut pengikat ini harus mampu menerima ekspansi efek dari suhu tinggi, sehingga diperlukan gaya pengencangan tertentu untuk menjaga tekanan pada rumah pompa. Di bagian tengah terdapat saluran yang berfungsi sebagai pengambil air dari dalam pompa, sebagai pendingin dalam proses peredaran uap bertekanan tinggi dengan cara disemprotkan. Gambar berikut menunjukkan desain pompa multistage dengan struktur bertingkat, model pompa berlapis



dengan konstruksi bersektion(Rohman N. 2018).

**Gambar 2.6** Menggambarkan pompa multistage dengan desain kontruksi yang terdiri dari beberapa ruas

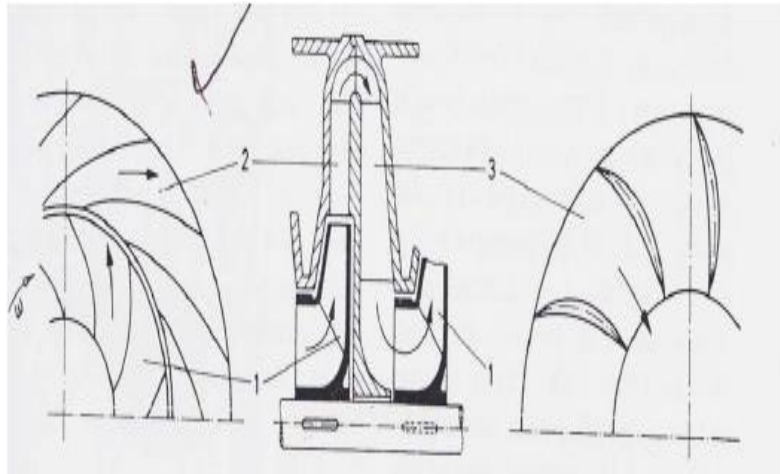
### 3. Mekanisme operasional pompa sentrifugal multistage serta rincian



**komponen-komponennya**

**Gambar 2.7** komponen-komponen pada pompa multistage

Sistem operasi pompa multistage dapat diamati pada ilustrasi berikut, terdapat sebuah impeller dengan ekor lunak yang terletak di bagian rumah pompa. Di bawah lipatan tersebut terdapat sebuah impeller dengan ekor lunak yang berada di bawah wadah pompa. Perlengkap berada di pusat menyatakan bahwa cairan berguna oleh bilah pengarah dan ruang tanpa bilah terhadap baling-baling pengantar kembali. Pada ilustrasi gambar yang disebutkan sebelumnya, terlihat bahwa bibir bawah dari impeller tersebut semakin membesar yang dimaksudkan adalah untuk memperbesar diameter bukaan pompa di sehingga cairan yang masuk ke dalam impeller nantinya akan semakin deras. Terlihat bahwa bibir bawah dari gambar tersebut semakin membesar yang dimaksudkan adalah untuk memperbesar diameter bukaan pompa sehingga cairan yang masuk ke dalam impeller nantinya akan semakin deras (Rohman N. 2018).



**Gambar 2.8** Mekanisme operasional pompa multistage

#### 4. Pompa Boiler Feed Water

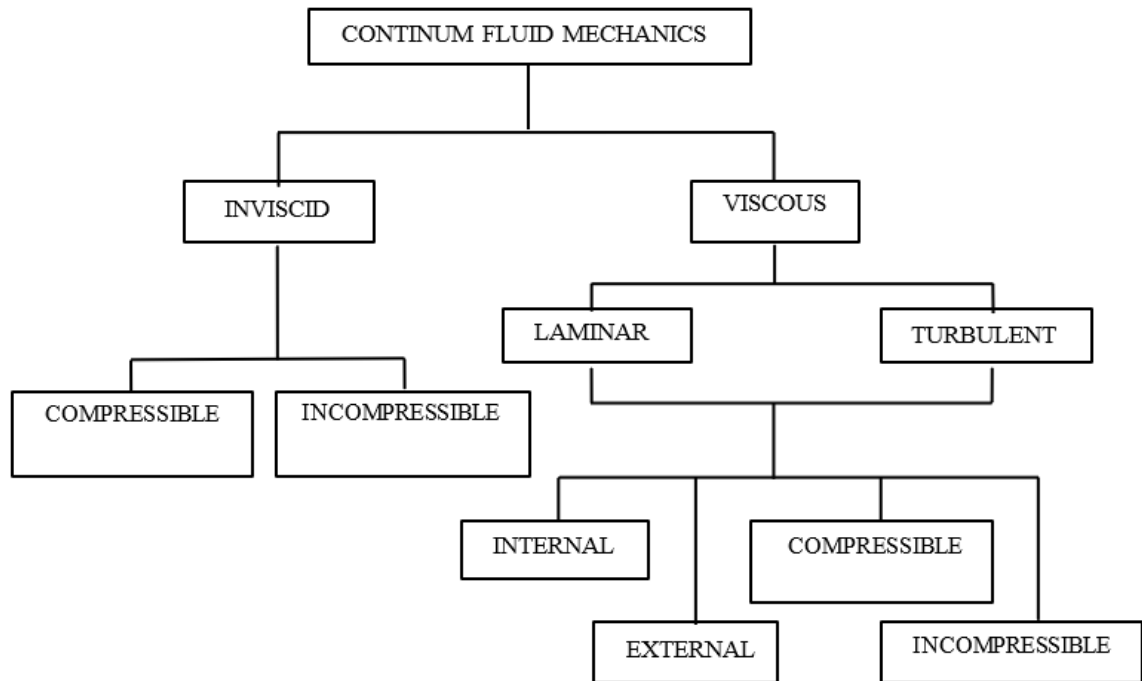
Salah satu yang utama sentrifugal pompa sentrifugal yang digunakan dalam industri listrik tenaga uap adalah pompa air umpan boiler. Pompa ini memiliki kapasitas besar, yang digunakan dalam industri listrik tenaga uap adalah pompa air umpan boiler. Pompa ini memiliki kapasitas besar. Fungsi pompa ini adalah untuk mengatur dan menyalurkan sejumlah udara yang berasal dari pompa air umpan atau daerator yang mengumpankan boiler dengan tekanan yang telah ditentukan. Mengatur dan menyalurkan sejumlah udara yang berasal dari pompa air umpan atau generator yang menyalurkannya boiler dengan tekanan yang telah ditentukan.

### Jenis Aliran Fluida

Akibat kesulitan dalam menganalisis partikel cairan secara mikroskopis, pendekatan dilakukan melalui makroskopis sebagai acuan yang dianggap memadai. Ini berarti kita harus beranggapan bahwa fluida bersifat "kontinu," sehingga seluruh properti fluida menjadi fungsi dari posisi dan waktu (Hardani, S.

P., Idawati, S., Rahim, A., Ningrum, D. M., Ghozaly, M. R., Ulya, T., ... & Pertiwi, A. D. (2022)).

Berikut merupakan Klasifikasi macam-macam fluida.



**Gambar 2.9** Pengelompokan berbagai jenis fluida

### *Aliran Viscous*

Pergerakan fluida cairan kental merupakan tipe aliran dengan kekentalan ( $\mu > 0$ ). Pengaruh viskositas pada fluida signifikan ketika cairan bergerak melalui permukaan datar atau saluran dan bisa menyebabkan gaya geser yang terjadi pada permukaan saluran.

### *Aliran Laminar dan Turbulen*

Pergerakan fluida zat cair terbagi terbagi menjadi dua jenis, yakni aliran teratur dan turbulen. Aliran fluida dikategorikan sebagai bersifat halus jika molekul fluida bergerak secara sistematis menyertai garis lurus yang selaras dengan saluran serta memiliki laju tinggi. Sebaliknya, aliran fluida dianggap turbulen jika setiap partikel



fluida mengikuti lintasan yang acak di sepanjang pipa, dengan hanya gerakan rata-rata yang sejajar dengan sumbu pipa. Aliran ini biasanya terjadi ketika kecepatan fluida tinggi dan viskositasnya rendah (Kreith, F. (Ed.). (1999).

Kekentalan (viskositas) memiliki pengaruh besar dalam meredam gangguan dimana dapat menyebabkan aliran berubah menjadi kacau. Ketika viskositas berkurang laju pergerakan fluida meningkat, kemampuan untuk meredam gangguan juga bakal menurun, di mana suatu titik spesifik dapat mengakibatkan peralihan perubahan aliran dari aliran teratur ke aliran kacau.

Faktor yang menggambarkan hambatan gesekan antara fluida dan permukaan pada saluran berbentuk silindris dapat dihitung menggunakan Bilangan Reynold (Re). Untuk mengetahui jenis aliran, apakah laminar atau turbulen, dapat digunakan rumus berikut:

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{U}$$

Dimana :

Re = Bilangan Reynolds

P = Massa jenis ( $\text{kg/m}^3$ )

V = Laju aliran fluida (m/s)

D = Diameter internal pipa (m)

U = Viskositas kinematik fluida ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

Jika aliran dalam pipa:

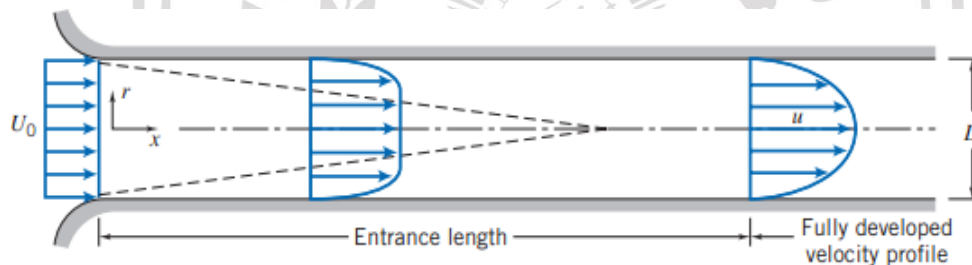
- $Re \leq 2300$ , aliran yang teratur dan halus
- Pada rentang 2300 hingga 4000, aliran berada pada fase transisi
- Jika Re lebih besar atau sama dengan 4000, aliran menjadi turbulen



Pergerakan fluida peralihan adalah keadaan di mana aliran bisa berupa aliran bisa bersifat laminar atau turbulen, bergantung pada keadaan saluran serta karakteristik alirannya.

### Aliran *Internal*

Pergerakan di dalam merupakan pergerakan di mana zat cair bergerak terhalang oleh batas serupa dengan objek padat, seperti pergerakan aliran yang terjadi dalam saluran. Sementara itu, aliran zat eksternal merupakan pergerakan dimana aliran tersebut tidak ada terhalang oleh permukaan material lain yang dimana melewati sebuah objek, berupa lempeng. Pembatas volume pengendali yang umumnya dipakai mencakup fluida yang mengalir melalui benda solid (padat) ((Kreith, F. (Ed.). (1999))).



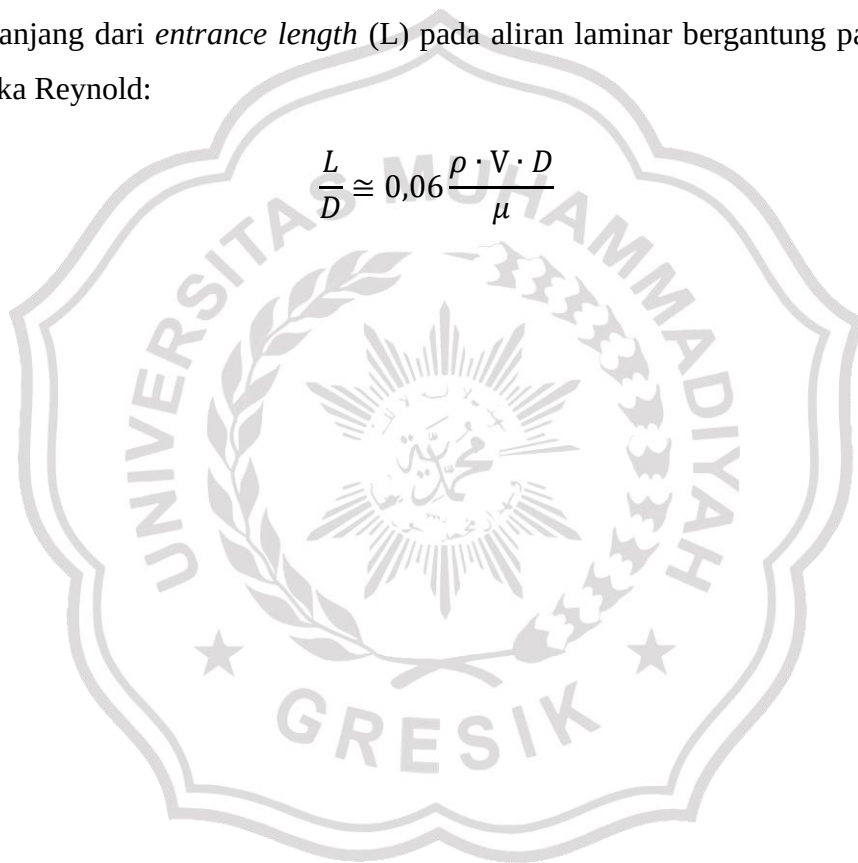
**Gambar 2.10** ilustrasi profil kecepatan aliran saat memasuki pipa

Fluida yang mengalir ke dalam sistem saluran merupakan Aliran seragam dengan kecepatan  $U_0$ . Sebab ini adalah aliran dengan sifat kental, di dinding pipa terbentuk lapisan batas (boundary layer). Dalam lapisan batas ini, pengaruh viskositas cukup signifikan, sehingga profil kecepatannya tidak uniform sesuai yang terlihat dalam ilustrasi 2.10.

Variasi dalam bentuk profil kecepatan didalam arus tersebut terdapat ambang spesifik. Jika lapisan batas ketika bertemu di suatu titik, bentuk profil kecepatan akan stabil. Arus yang sepenuhnya arus yang mengalami perkembangan ini disebut arus yang sepenuhnya berkembang. Jarak dari arus pertama kali memasuki sistem hingga menjadi sepenuhnya berkembang dikenal sebagai Entrance panjang. Kecepatan rata-rata dari aliran yang terjadi.

Nilai  $V$  ini harus sama dengan  $U_0$ , sehingga  $V = U_0 = \text{konstan}$ , dengan dimensi berupa panjang dari *entrance length* ( $L$ ) pada aliran laminar bergantung pada fungsi dari Angka Reynold:

$$\frac{L}{D} \cong 0,06 \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$$



Di mana:

$V = Q/A$  merupakan kecepatan rata-rata.

Dengan debit aliran (*flow rate*)

$Q = A.V = A.U_0$ , di mana  $v$  sama dengan  $= U_0$ .

Pada aliran laminar dalam pipa dengan  $Re < 2300$ , panjang dari *entrance length* ( $L$ )

dapat diperoleh sebagai:

$L$  kira-kira sama dengan  $0,06 Re \cdot D$ , dengan batas maksimum  $(0,06 \times 2300)D = 138D$

Sementara itu, pada aliran yang kacau atau tidak teratur, disebabkan oleh lapisan batas terbentuk dengan kecepatan yang lebih tinggi, jarak panjang *entrance length* menjadi lebih singkat yakni sekitar dua puluh lima hingga empat puluh kali ukuran diameter pipa.

### Aliran Inkompressibel

Arus tak termampatkan merupakan arus yang melalui suatu materi solid, di mana variasi suhu tidak mempengaruhi signifikan terhadap densitas (densitas,  $\rho$ ). Dalam kondisi tersebut, perubahan densitas dapat tidak diperhitungkan, misalnya pada cairan ( $P_1 = P_2$ ). Sebagai pembeda antara arus kompresibel dan inkompresibel, perhitungan dapat dilakukan menggunakan persamaan bilangan Mach ( $M$ ) ((Kreith, F. (Ed.). (1999)).

$$M = \frac{V}{c}$$

Di mana:

M = mewakili angka Mach.

V = adalah kecepatan rata-rata dari arus.

C = menunjukkan kecepatan suara pada lokasi tertentu.

Dengan demikian, jika bilangan Mach kurang dari 0,3, aliran dianggap inkompresibel, sedangkan jika bilangan Mach lebih dari 0,3, aliran dikategorikan sebagai kompresibel.

### Tinggi – Tekan (*Head*)

Tekanan kepala atau elevasi tekanan merujuk pada tinggi kolom cairan yang diperlukan agar menghasilkan total energi yang setara menggunakan energi sebagai dimiliki melalui satuan berat fluida serupa (ROHMAN, NUZULUR. 2018).

Tekanan terdiri dari 3 jenis, yakni:

#### 1. Head Potensial

Jenis ini berkaitan dengan tinggi fluida di atas permukaan sejajar. Sebuah kolom cair dengan tinggi satu meter memiliki tenaga berdasarkan posisinya, sehingga dianggap memiliki head setara dengan dua meter kolom air.

#### 2. Head Kecepatan/Kinetik

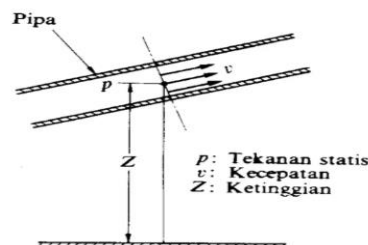
Ini menggambarkan energi kinetik yang dimiliki oleh ukuran berat zat cair akibat kecepatannya, dan dapat dinyatakan dengan rumus.

$$K = \frac{1}{2}mv^2$$

#### 3. Head Tekanan

Ini merujuk pada energi yang terdapat dalam fluida yang dihasilkan oleh tekanannya, yang diungkapkan sebagai dengan rumus  $\frac{p}{\gamma}$ .

Energi mekanik total merupakan jumlah energi yang dimiliki fluida yang dapat dimanfaatkan untuk melakukan suatu pekerjaan. Tinggi (Z) aliran diukur dari permukaan permukaan telah ditetapkan. Menjadi menggambarkan benda pada arus tersebut:



**Gambar 2.11** Menunjukkan cara pengukuran head

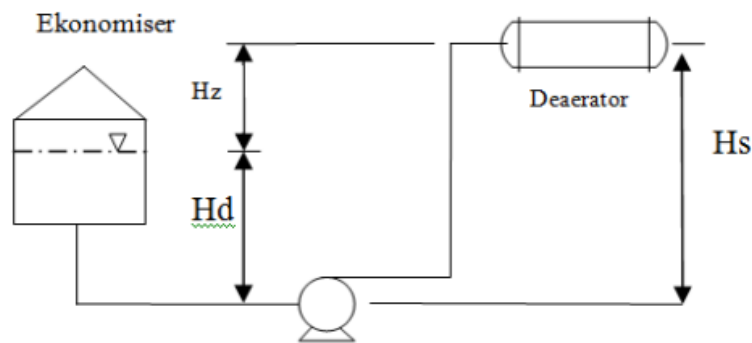
(Sumber: Sularso Tahara Haruo, pompa dan kompressor: pemeliharaan dan penggunaan (edisi awal)

*Head Effektiv pompa*

Ini adalah total ketinggian yang merupakan perlu dihasilkan oleh pompa dari semua unsur yang ada, yang meliputi perbedaan tekanan dan hal, dan kerugian (termasuk kerugian mekanis, volumetrik, dinamis, dan kehilangan listrik (Kreith, F. (Ed.). (1999)).

.Persamaan *head* seperti berikut:

$$H_{eff} = \sum H_{st} + \sum H_{din}$$
$$H_{eff} = \left( \left( \frac{P_2 - P_1}{\gamma} \right) + (H_d - H_s) \right) + \left( \left( \frac{V_d^2 - V_s^2}{2 \cdot g} \right) + \sum H_{LT} \right)$$



**Gambar 2.12** Head Effektiv

## Head Statis

Merupakan selisih tinggi permukaan cairan antara area hisap dan area tekan. Statistik kepala bukan mempengaruhi karena aliran, melainkan cuma oleh perbedaan teka-teki.

$$\sum H_{st} = \left( \frac{P_2 - P_1}{\gamma} \right) + (H_d - H_s)$$

Di mana:

H<sub>st</sub> = Ketinggian Total Statis (m)

P<sub>1</sub> = Tekanan dalam keadaan hisap (Pa)

P<sub>2</sub> = Tekanan dalam kondisi tekan (Pa)

γ = Densitas gaya berat cairan (N/m<sup>3</sup>)

H<sub>d</sub> = rentang/tinggi sisi tekan (m)

H<sub>s</sub> = rentang/tinggi sisi hisap (m)

➤ Head Statis mencakup:

### 1. Head Tekanan (*Pressure Head*)

Adalah energi yang memiliki terkandung ada pada cairan disebabkan oleh perbedaan tekanan antara reservoir aliran keluar serta reservoir hisap.

$$H_P = \frac{P_2 - P_1}{\gamma}$$

Dimana:

H<sub>p</sub> merupakan total head statis yang dinyatakan dalam meter (m).

P<sub>1</sub> adalah tekanan pada sisi suction yang dinyatakan dalam pascal (Pa)

P<sub>2</sub> adalah tekanan pada sisi discharge yang juga dinyatakan dalam pascal (Pa)

γ mengacu pada massa jenis fluida  $\left( \frac{N}{m^3} \right)$



### *Head Ketinggian (Elevation Head)*

Adalah selisih elevasi antara permukaan cairan di area keluaran reservoir dan area hisap reservoir referensi pada garis poros tengah pompa (ROHMAN NUZULUR. 2018).

$$H_Z = H_d - H_s$$

Di mana:

$H_Z$  adalah elevasi head yang dinyatakan dalam meter (m)

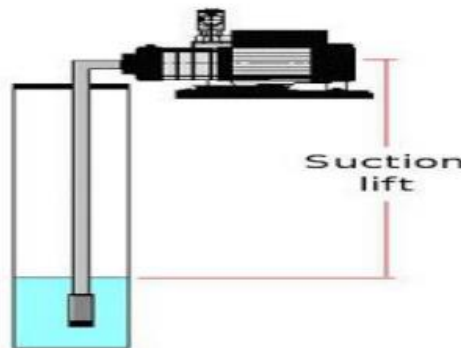
$H_d$  adalah distansi atau tinggi di bagian keluaran yang dinyatakan dalam meter (m).

$H_s$  adalah distansi atau tinggi di bagian hisap yang juga dinyatakan dalam meter (m)

Ada dua jenis tinggi head, yakni:

a. ***Suction Lift***

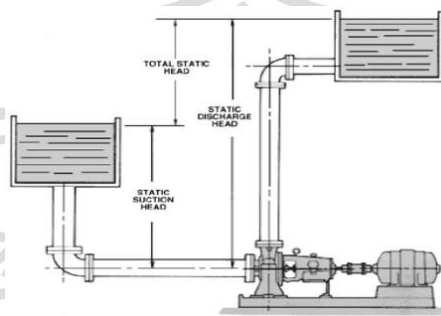
Ketinggian hisap merupakan ketinggian secara sejajar dengan garis tegak, diukur menggunakan satuan kaki sebagai alternatif meter, berasal dari level cairan yang mana akan dijalankan menuju poros tengah pompa. Hisap angkat didapatkan melalui sumber sumbu pusat pompa hingga level cairan pada sumber pasokan (tangki hisap). Contoh penerapan *suction lift* dapat dilihat pada Gambar 2.3. Nilai ( $H_d - H_s$ ) bersifat positif (+), karena permukaan cairan di sisi suction lebih rendah dibandingkan dengan garis sumbu tengah pompa.



**GAMBAR 2.13** *Suction Lift*

b. ***Suction Head***

Suction head adalah ketinggian vertikal, yang diukur dalam *feet* atau meter, dari sumbu tengah pompa hingga ketinggian fluida yang akan dinyalurkan oleh pompa. Suction head berasal dari level sumber (tangki hisap) yang terletak berada di atas sumbu poros pompa. Contoh Suction head ditunjukkan pada ilustrasi 2.4. Nilai ( $H_d - H_s$ ) bersifat negatif (-), disebabkan oleh permukaan cairan di sisi suction lebih tinggi dibandingkan dengan garis sumbu tengah pompa (Permana, D. S. (2017)).



**Gambar 2.14 Suction Head**

***Head Dinamis***

Tekanan dinamis merujuk pada komponen tekanan yang dihasilkan mencakup tekanan kecepatan serta kerugian tekanan (Muhammad, Z. H., & Anggara, F. (2019)).

Untuk penjelasan lebih lanjut, dapat merujuk pada persamaan berikut:

$$\sum H_{din} = \left( \frac{V_d^2 - V_s^2}{2 \cdot g} \right) + \sum H_{LT}$$

Dimana:

$\sum H_{din}$  = Head dinamis (m)

$\sum H_{LT}$  = Kerugian tekanan (m)

$V_d$  = Kecepatan aliran di sisi discharge (m/s)

$V_s$  = Kecepatan aliran di sisi suction (m/s)

$g$  = Percepatan gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

Head dinamis terdiri dari:

a. **Velocity Head**

Merupakan head yang diakibatkan oleh selisih kecepatan antara aliran yang keluar dari sisi *suction reservoir* serta yang memasuki sisi *discharge reservoir*. Tekanan kecepatan ini dapat dihitung melalui rumus:

$$H_v = \frac{V_d^2 - V_s^2}{2 \cdot g}$$

Sebagai berikut:

$V_d$  = Kecepatan aliran fluida di sisi keluaran (m/s)

$V_s$  = Kecepatan aliran fluida di sisi hisap (m/s)

$G$  = Percepatan gravitasi bumi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

b. **Total Kerugian Tinggi-Tekan (*Head Loss Total*)**

Total kehilangan tekanan adalah keseluruhan kehilangan yang dialami oleh aliran fluida selama sirkulasi, yang bergantung dalam bentuk penampang serta faktor-faktor cairan dan arus tersebut. Kehilangan tekanan (kerugian tekanan) bisa diklarifikasikan menjadi kehilangan di dalam saluran pipa (kerugian utama) serta kehilangan akibat modifikasi bentuk (kehilangan kecil) ((Kreith, F. (Ed.). (1999)).

Rumus untuk total kerugian tekanan adalah:

$$\sum H_{LT} = H_1 + \sum H_{lm}$$
$$\sum H_{LT} = \left( f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \right) + \left( K \cdot \frac{V^2}{2g} \right)$$

2.a) ***Head Loss Utama***

Kehilangan energi pada arus cairan yang diakibatkan akibat interaksi gesekan di antara cairan dan permukaan saluran, serta variasi kecepatan yang terjadi pada aliran cairan (kerugian kecil) (Kreit, F. (Ed)1999).

Kerugian head yang disebabkan oleh gesekan dapat ditentukan menggunakan satu diantaranya formula berikut:

**Rumus Darcy-Weisbach**

$$H_1 = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

Sebagai berikut:

- $H_1$  = Kehilangan tekanan akibat gesekan (m)
- $F$  = koefisien gesekan
- $D$  = Diameter saluran pipa (m)
- $V$  = Kecepatan fluida di dalam pipa (m/s)
- $G$  = Percepatan gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

Dalam aliran laminar, faktor gesekan dapat bernilai dihitung menggunakan formula:

$$f = \frac{64}{Re}$$

Pada aliran turbulen, koefisien gesekan dikategorikan sebagai berikut:

a. Pada saluran yang halus, terdapat keterkaitan dengan angka Reynold dan

Koefisien hambatan gesekan: *Blasius* :  $f = \frac{0,316}{Re^{0,25}}$

untuk  $3000 \leq Re \leq 100000$

a. Untuk pipa kasar dan halus, hubungan antara bilangan Reynolds dan faktor gesekan dapat dinyatakan dengan:

***Colebrook-White:***

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left( \frac{e/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right)$$

(Persamaan 8.37, menurut Fox dan McDonald, Pengantar Mekanika Fluida, Edisi Kedelapan)

Untuk menerapkan rumus ini, diperlukan proses iterasi agar nilai  $f$  menjadi lebih tepat.

## 2.b) ***Head Loss Minor***

Di luar kehilangan tekanan utama, terdapat termasuk yang diakibatkan oleh lengkungan pada saluran, seperti elbow, sambungan, valve, serta

lainnya, yang mana digolongkan sebagai kehilangan minor (head loss kecil) ((Kreit, F. (Ed.). (1999)).

Jumlah kerugian minor adalah:

$$\sum H_{lm} = K \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Sebagai berikut:

- V = Laju aliran fluida di dalam saluran pipa (m/s)
- G = Percepatan grafitasi bumi (9,81 m/s<sup>2</sup>)
- K = Faktor dampak negatif (kerugian kecil) pada saluran

Besaran K bisa diperoleh melalui penerapan rumus:

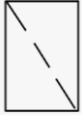
$$K = F \cdot \frac{L_e}{D}$$

Besaran K bisa ditentukan melalui penerapan rumus:

$$\sum H_{lm} = K \cdot \frac{V^2}{2g}$$

**Tabel 2.1** Nilai koefisien (k) untuk berbagai jenis *fitting*

(Sumber: Pipe Flow expert)

| No | Jenis <i>Fitting</i> | Simbol / gambar                                                                     | Jumlah | Koefisien per satuan jumlah | Total |
|----|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------------------------|-------|
| 1  | Check Valve          |  | 2      | 3,5                         | 7     |
| 2  | Elbow 90°            |  | 3      | 0,39                        | 1,17  |
| 3  | Stainer              |  | 2      | 2,75                        | 5,5   |
| 4  | Gate Valve           |  | 4      | 0,17                        | 0,68  |

|   |                 |                                                                                   |    |      |      |
|---|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----|------|------|
| 5 | Normally Closed |  | 16 | -    | -    |
| 6 | Normally Opened |  | 8  | 0,17 | 1,36 |

### 2.c Daya pompa / Daya Fluida (WHP)

Energi fluida merupakan daya yang di transfer ke cairan oleh mesin pompa, menyebabkan transformasi energi tekanan, yang dapat ditentukan melalui rumus:

$$WHP = \frac{Q \times H \times P \times G}{1000}$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

- WHP = Daya pompa (watt)
- Q = Debit cairan (L/menit)
- H = Head pompa (m)
- P = Densitas fluida (kg/L)
- g = Konstanta gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

Pompa Sirkulasi Boiler Tekanan Rendah (LP BCP)

#### Low Pressure Boiler Circulating Pump

Pompa Sirkulasi Boiler (BCP) merupakan komponen penting yang mendukung keandlaan operasional di PLTGU. Saat ini, setiap boiler dilengkapi dengan unit BCP. Fungsinya adalah untuk mengalirkan air yang telah dipisahkan dari uap di steam drum, kemudian air tersebut disalurkan ke *waterwall* melalui *Funnance Low Header* untuk dipanaskan kembali hingga menjadi uap (Fadhi, Haddin, and Nugroho 2020).

Fungsi *Boiler Circulator Pump*:

- BCP berfungsi untuk mengalirkan air melalui pipa-pipa boiler, memastikan aliran air yang stabil dan terkontrol.

- BCP juga memastikan suhu air yang dengan tepat sehingga uap yang dihasilkan memenuhi spesifikasi.

Klasifikasi *Boiler Circulator Pump*:

- BCP dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis fluida yang mengalir dalam pipa, seperti ketel pipa api (*fire tube boiler*) dan ketel pipa air (*water tube boiler*).

Penggunaan *Boiler Circulator Pump*:

- BCP digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), pabrik kimia, dan industri lainnya.

Pemeliharaan *Boiler Circulator Pump*:

- Pemeliharaan BCP mencakup penggantian pipa yang rusak, pembersihan pipa dari partikel yang mengendap, serta pengendalian korosi dengan menggunakan bahan kimia yang sesuai.

#### Sistem Perpipaan

Pipa berperan sebagai saluran guna mengalirkan cairan dari satu tempat ke tempat lain. Dalam sistem perpipaan, setiap pipa memiliki peran dan sistem yang berbeda, tergantung pada sifat cairan yang bergerak, seperti tekanan suhu, dan laju aliran. Oleh karena itu, bahan pipa dipilih berdasarkan karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan (Nainggolan, A.A., Arbaningrum, R., Nadesya, A., Harliyanti, D.J., Syaddad, M.A. (2019)).

#### Material pipa

Berikut ini adalah beberapa jenis pipa yang digunakan:

##### a. Pipa Baja Tahan Karat

Pipa baja tahan karat memiliki berbagai aplikasi yang luas karena material ini sangat tahan terhadap korosi. Ketahanan korosinya berasal dari lapisan oksida yang stabil (terutama krom), yang berfungsi melindungi baja dari



ekosistem tempat memiliki bersifat korosif. Di antara penggunaannya adalah untuk mengalirkan air bersih.

b. Pipa Besi Cor

Pipa ini digunakan untuk mengalirkan air, uap, dan gas yang berada pada tekanan di bawah 250 psi dan suhu maksimum 450°C. Saluran pipa besi cor cenderung lebih ringan, tahan lama, dan disambungkan melalui proses penyambungan dengan las.

c. Pipa Baja Karbon

Pipa ini digunakan untuk mengalirkan air dan mampu bertahan pada suhu hingga 850°. Pipa ini juga tergolong lebih ringan, kokoh, dan mampu disambungkan melalui penyambungan logam.

d. Pipa Baja Paduan

Pipa ini digunakan di sektor industri karena memiliki berat yang cukup beratnya rendah, kokoh, dan bisa disatukan melalui penyambungan logam. Namun, ketahanan terhadap korosinya biasanya lebih rendah dan sering dibuat tanpa sambungan.

## Kode dan Standar Pipa

Sistem pengenalan serta Industri adalah referensi teknik pada yang dikeluarkan oleh sebuah institusi atau organisasi global serta dimanfaatkan secara global. Terkait dengan sistem perpipaan, peraturan dan standart internasional yang mana diterapkan di antaranya:

- ANSI (Institut Standar Nasional Amerika)
- API (Institut Perminyakan Amerika)
- ASME (Masyarakat Insinyur Mekanik Amerika)
- ASTM (Masyarakat Amerika untuk Pengujian dan Material)

- MSS (Masyarakat Standarisasi Produsen)
- JIS (Standar industri Jepang)

Sementara itu, untuk standar dan kode nasional adalah

- SNI (Standar Nasional Indonesia)

### Boiler Circulating Pump

Pompa Sirkulasi Boiler (BCP) adalah komponen yang sangat penting untuk memastikan keandalan operasional di PLTGU. Saat ini, setiap boiler dilengkapi dengan dua unit BCP. Fungsinya adalah untuk mengalirkan air yang dihasilkan dari pemisahan uap di steam drum, yang kemudian dialirkan ke *Waterwall* melalui *Furnace Low Header* untuk dipanaskan kembali hingga menjadi uap. (Fadhi, Haddin, and Nugroho 2020).

Fungsi Pompa Sirkulasi Boiler:

- BCP berfungsi untuk mengalirkan air melalui pipa-pipa boiler, memastikan aliran air yang stabil dan terkontrol.
- BCP juga bertugas untuk mempertahankan suhu air yang tepat agar uap yang dihasilkan memenuhi spesifikasi yang diperlukan.

Klasifikasi Pompa Sirkulasi Boiler:

- BCP dapat dikategorikan berdasarkan jenis fluida yang mengalir dalam pipa, seperti ketel pipa api (*fire tube boiler*) dan ketel pipa air (*water tube boiler*).

Penggunaan Pompa Sirkulasi Boiler:

- BCP digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), pabrik kimia, dan industri lainnya.

Pemeliharaan Pompa Sirkulasi Boiler:

- Pemeliharaan BCP mencakup penggantian pipa yang rusak, pembersihan pipa dari partikel yang mengendap, serta pengendalian korosi dengan menggunakan bahan kimia yang tepat.

### Heat Recovery Steam Generator (HRSG)

Generator gas air Pemulihan suhu tinggi HRSG (Generator uap Pemulihan Panas) adalah elemen inti dalam sumber energi listrik yang menerapkan dasar Siklus Gabungan, digunakan dalam pembangkit listrik tenaga gas dan uap (PLTGU). HRSG dilengkapi dengan dua turbin, yaitu turbin gas sebagai turbin utama dan turbin uap. Salah satu masalah yang sering terjadi adalah kegagalan pada HRSG, yang dapat berdampak pada kinerjanya dan berpotensi menyebabkan kerusakan pada komponen lainnya (Fauzi, A.R. (2018)).

### Komponen Utama Generator Uap Pemulihan Panas (HRSG)

Komponen HRSG yang tersebut berfungsi untuk memproduksi uap bertekanan tinggi (HP) adalah seperti yang dijelaskan di bawah ini:

#### 1. HP *Steam Drum*

Kegunaan sebagai tempat penampung uap pada tekanan tinggi dan udara, yang selanjutnya akan dialirkan ke sistem berikutnya.

#### 2. Pompa Sirkulasi Boiler HP

Memompa udara dari tabung HP menuju evaporator bertekanan tinggi.

#### 3. HP *Economizer*

Meningkatkan suhu udara bertekanan tinggi yang masuk, terdiri dari ekonomizer primer HP dan ekonomizer sekunder HP.

#### 4. HP Evaporator

Mengubah udara bertekanan tinggi yang masuk menjadi uap tanpa kandungan air.

#### 5. *Primary Super Heater*

Meningkatkan suhu uap dari HP Evaporator menjadi uap dengan suhu sangat tinggi.

## 6. *Secondary Super Heater*

Memiliki fungsi serupa melalui *Super Heater Primer*. Uap yang dihasilkan dari *Super Heater Primer* dialihkan ke pemanas lanjutan sekunder, serta uap yang sangat panas ini kemudian diteruskan ke HP *Steam Turbine*.

Komponen HRSG untuk menghasilkan uap bertekanan rendah (LP):

### 1. *LP Steam Drum*

Menyimpan uap dengan tekanan rendah dan udara, yang selanjutnya dikirimkan ke sistem selanjutnya.

### 2. *LP Boiler Circulating Pump*

Memindahkan udara dari LP Drum menuju LP Evaporator.

### 3. *LP Economizer*

Meningkatkan suhu udara bertekanan rendah sebelum masuk menuju LP Drum.

### 4. *LP Evaporator*

Mengubah udara bertekanan rendah menjadi uap kering, yang kemudian mengalirkan ke LP Drum guna memisahkan udara beserta uap. Uap yang dihasilkan kemudian disalurkan ke LP *Steam Turbine*.

Komponen HRSG lainnya adalah sebagai berikut:

### 1. *Pre Heater*

Menaikkan suhu air kondensat yang masuk dari kondensor yang dipompa oleh *condenser extraction pump* (CEP). Air kondensat yang keluar dari preheater mencapai suhu pada suhu sekitar 125°C. Jika turbin gas yang mengandalkan bahan bakar minyak, air kondensat tidak melalui pemanas awal karena kandungan sulfur yang tinggi dapat menyebabkan endapan.

### 2. *Exhaust Damper*

Memiliki peran untuk mengatur aliran gas sisa dari gas turbin mengalir ke pembuangan alternatif agar siklus terbuka atau menuju HRSG guna siklus gabungan.

