

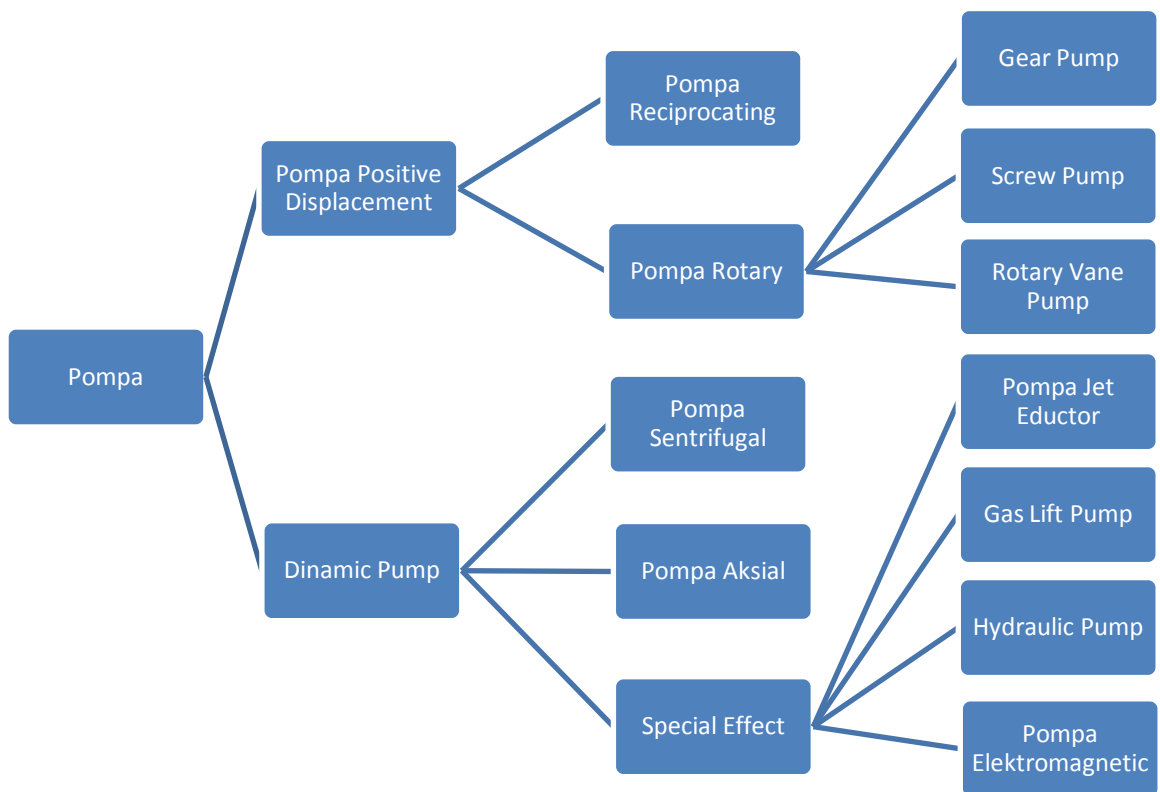
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pompa

Pompa adalah suatu peralatan mekanik yang digerakkan oleh suatu sumber tenaga yang digunakan untuk memindahkan cairan (fluida) dari suatu tempat ke tempat lain, dimana cairan tersebut hanya mengalir apabila terdapat perbedaan tekanan. Pompa juga dapat diartikan sebagai alat untuk memindahkan energi dari suatu pemutar atau penggerak ke cairan ke bejana yang bertekanan yang lebih tinggi. Selain dapat memindahkan cairan, pompa juga berfungsi untuk meningkatkan kecepatan, tekanan, dan ketinggian cairan.

2.2. Klasifikasi Pompa



Gambar 2.1. Klasifikasi Pompa

Secara umum pompa dibedakan menjadi dua kelompok besar, yaitu :

1. Pompa *Positive Displacement*

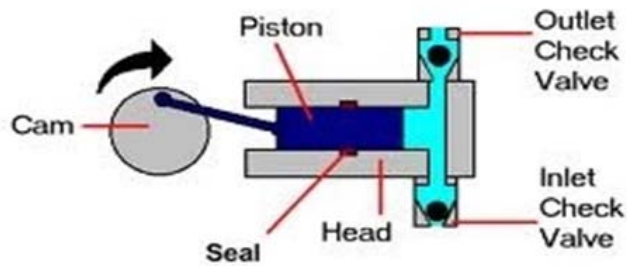
Pompa *Positive Displacement* bekerja dengan cara memberikan gaya tertentu pada volume *fluida* tetap dari sisi *inlet* menuju sisi *outlet* pompa. Kelebihan dari penggunaan pompa jenis ini adalah dapat menghasilkan *power density* (gaya per satuan berat) yang lebih berat. Dan juga memberikan perpindahan *fluida* yang tetap atau stabil di setiap putarannya.

Macam-macam pompa *Positive Displacement* yaitu :

1. Pompa *Reciprocating*

Pada pompa jenis ini, sejumlah volume *fluida* masuk kedalam silinder melalui *valve inlet* pada saat langkah masuk dan selanjutnya dipompa keluar dibawah tekanan positif melalui *valve outlet* pada langkah maju.

- Kelebihan Pompa *Reciprocating*
 - Mempunyai tekanan yang tinggi, sehingga bisa dioperasikan pada sistem dengan *head* yang tinggi.
- Kekurangan Pompa *Reciprocating*
 - Aliran tidak kontinyu (berpulsa).
 - Aliran tidak *steady*.
 - Apabila perpindahan dilakukan oleh maju mundurnya jarum piston, pompa ini hanya digunakan untuk pemompaan cairan kental dan sumur minyak.



Sumber: <http://onnyapriyahanda.com>

Gambar 2.2. Pompa *Reciprocating*

2. Pompa *Rotary*

Pompa *rotary* adalah pompa yang menggerakkan *fluida* dengan menggunakan prinsip rotasi. Vakum terbentuk oleh rotasi dari pompa dan selanjutnya menghisap *fluida* masuk.

Pompa *rotary* dapat diklasifikasikan kembali menjadi beberapa tipe, yaitu :

1. *Gear Pumps*

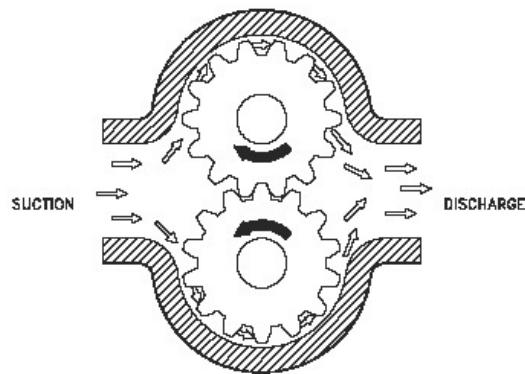
Sebuah pompa *rotary* yang simpel dimana *fluida* ditekan dengan menggunakan dua roda gigi. Prinsip kerjanya saat antar roda gigi bertemu terjadi penghisapan *fluida* kemudian berputar dan diakhiri saat roda gigi akan pisah sehingga *fluida* terlempar keluar.

➤ Keuntungan *Gear Pumps*

- *Self priming* (menghisap sendiri).
- Kapasitas konstan pada putaran tertentu.
- Aliran hampir kontinyu.
- Arah pemompaan dapat dibalik.
- Ringan, menghemat tempat.
- Dapat memompa cairan yang mengandung uap dan gas.

➤ Kekurangan *Gear Pumps*

- Cairan harus relatif bersih.
- Poros harus diberi seal.
- Clearance antar bagian-bagian yang berputar harus sekecil-kecilnya.
- Tidak diijinkan fluida benda padat.



Sumber: <http://onnyapriyahanda.com>

Gambar 2.3. Prinsip *Gear Pump*

2. *Screw Pumps*

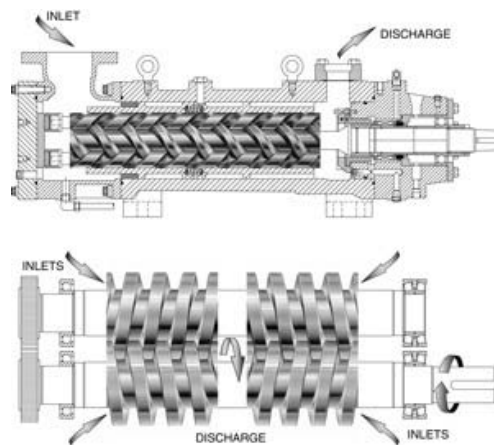
Pompa ini menggunakan dua ulir yang bertemu dan berputar untuk menghasilkan aliran *fluida* sesuai dengan yang diinginkan. Pompa *screw* ini digunakan untuk menangani cairan yang mempunyai viskositas tinggi, heterogen, sensitif terhadap geseran dan cairan yang mudah berbusa. Cara kerja *screw pumps* adalah zat cair masuk pada lubang isap, kemudian akan ditekan di ulir yang mempunyai bentuk khusus. Dengan bentuk ulir tersebut, zat cair akan masuk ke ruang antara ulir-ulir, ketika ulir berputar, zat cair terdorong ke arah lubang pengeluaran.

➤ Keuntungan *Screw Pumps*

- Efisiensi total tinggi.
- Kemampuan hisap tinggi.
- Aliran konstan dan lancar.
- Desain sederhana.
- Pompa dapat beroperasi tanpa *valve*.

➤ Kekurangan *Screw Pumps*

- Harga relative lebih mahal.
- Untuk tekanan tinggi, memerlukan elemen pompa yang panjang.
- Desain dilengkapi dengan sebuah *screw* pemaksa dan gurdi (bor).
- Dilengkapi dengan *hopper* dengan panjang hingga 3 meter.



Sumber: <http://onnyapriyahanda.com>

Gambar 2.4. Prinsip *Screw Pumps*

3. *Rotary Vane Pumps*

Memiliki prinsip yang sama dengan kompresor scroll, yang menggunakan rotor silindrik yang berputar secar harmonis menghasilkan

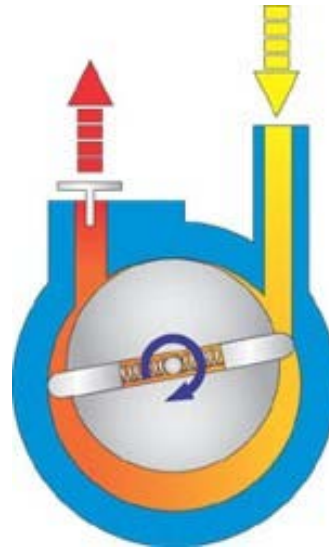
tekanan *fluida* tertentu. Prinsip kerjanya baling-baling menekan lubang rumah pompa oleh gaya sentrifugal bila motor diputar. Fluida yang terjebak diantara dua bolang-baling dibawa berputar dan dipaksa keluar dari sisi buang pompa.

➤ Keutungan *Rotary Vane Pumps*

- Mengkompensasi keausan melalui perpanjangan baling-baling.

➤ Kerugian *Rotary Vane Pumps*

- Tidak cocok untuk *fluida* dengan viskositas tinggi.
- Tidak cocok untuk tekanan yang tinggi.



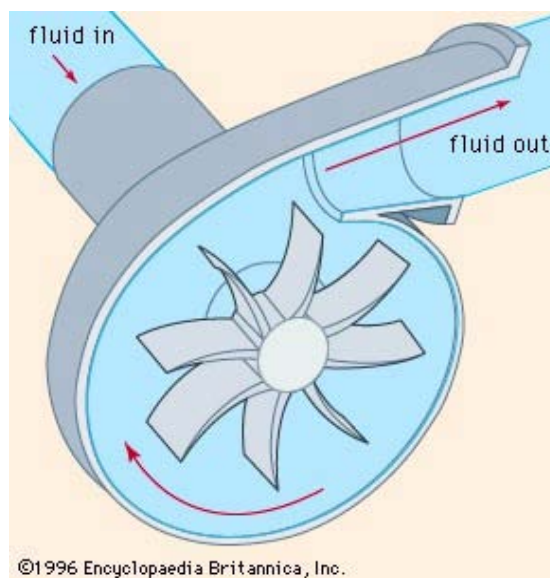
Sumber: <https://www.pelauts.com>

Gambar 2.5. Prinsip *Rotary Vane Pump*

2. *Dynamic Pump*

1) *Pompa Sentrifugal* (pompa rotor-dinamik)

Pompa sentrifugal merupakan peralatan dengan komponen yang paling sederhana pada pembangkit. Tujuannya adalah mengubah energi penggerak utama (motor listrik atau turbin) menjadi kecepatan atau energi kinetik dan kemudian energi tekan pada fluida yang sedang dipompakan. Perubahan energi terjadi karena dua bagian utama pompa, *impeller* dan *volute* atau *difuser*. *Impeller* adalah bagian berputar yang mengubah energi dari penggerak menjadi energi kinetik. *Volute* atau difuser adalah bagian tak bergerak yang mengubah energi kinetik menjadi energi tekan.



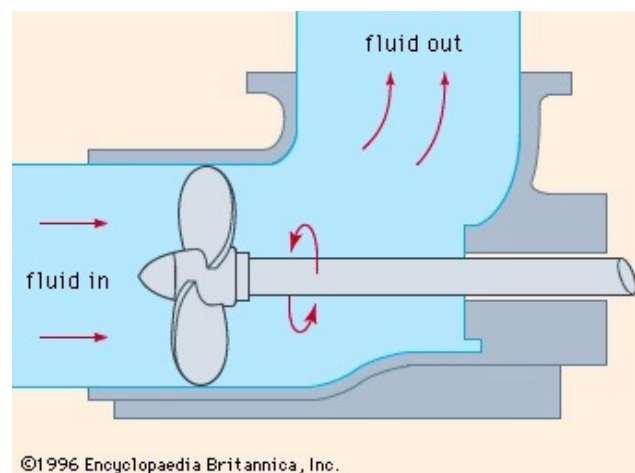
Sumber: <http://onnyapriyahanda.com>

Gambar 2.6. Pompa Sentrifugal

2) *Pompa Aksial*

Pompa aksial adalah salah satu pompa yang berfungsi untuk mengalirkan fluida dari potensial rendah ke potensial yang lebih tinggi dengan menggunakan gerak putaran dari *blades* dan mempunyai arah aliran yang sejajar dengan sumbu porosnya. Prinsip kerja pompa aksial adalah energi

mekanik yang dihasilkan oleh sumber penggerak ditransmisikan melalui poros *impeller* untuk menggerakkan *impeller* pompa. Putaran *impeller* memberikan gaya aksial yang mendorong fluida sehingga menghasilkan energi kinetik pada fluida kerja tersebut.



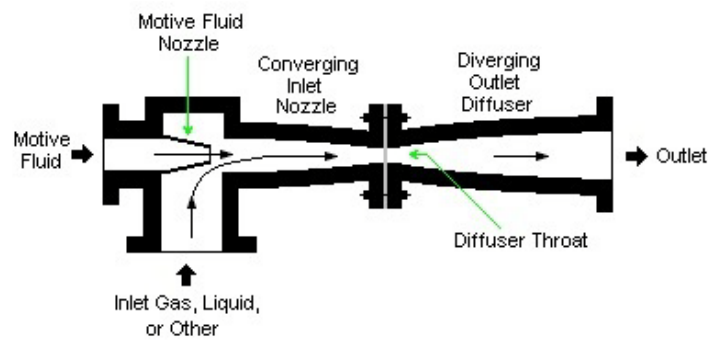
Sumber: <http://onnyapriyahanda.com>

Gambar 2.7. Pompa Aksial

3) *Special-Effect Pump*

a. *Pompa Jet-Eductor (injector)*

Pompa Jet-Eductor (injector) adalah sebuah pompa yang menggunakan efek venturi dan *nozzle* konvergen-divergen untuk mengkonversi energi tekanan dari fluida bergerak menjadi energi gerak sehingga menciptakan area bertekanan rendah, dan dapat menghisap *fluida* di sisi *suction*. Prinsip kerja pompa *Jet-Eductor* menggunakan *nozzel* yang bekerja sesuai efek venturi sehingga mengkonversi energi tekan pada fluida menjadi energi gerak dan sisi *suction* (hisap) bertekanan rendah dan sehingga fluida dapat mengalir.



Sumber: <http://onnyapriyahanda.com>

Gambar 2.8. Pompa Injektor

b. *Gas Lift Pump*

Gas Lift Pump adalah salah satu bentuk sistem pengangkatan buatan yang lazim digunakan untuk mengangkat fluida dari sumur-sumur minyak bumi. Sistem ini bekerja dengan cara menginjeksikan gas bertekanan tinggi ke dalam anulus (ruang antara *tubing* dan *casing*), dan kemudian ke dalam tubing produksi sehingga terjadi proses aerasi (*aeration*) yang mengakibatkan berkurangnya berat kolom fluida dan tubing. Sehingga tekanan *recervoir* mampu mengalirkan fluida dari lubang sumur menuju fasilitas produksi dipermukaan.

➤ *Kelebihan Gas Lift Pump*

- Umur peralatan lebih lama.
- Biaya operasi lebih kecil.
- *Gas Lift* tidak dipengaruhi oleh desain sumur.

➤ *Kekurangan Gas Lift Pump*

- Gas harus tersedia
- Sentralisasi kompresor sulit untuk sumur-sumur dengan jarak jauh.

- Gas injeksi yang tersedia sangat korosif, kecuali diolah sebelum digunakan.

c. Pompa *Hydraulic Ram*

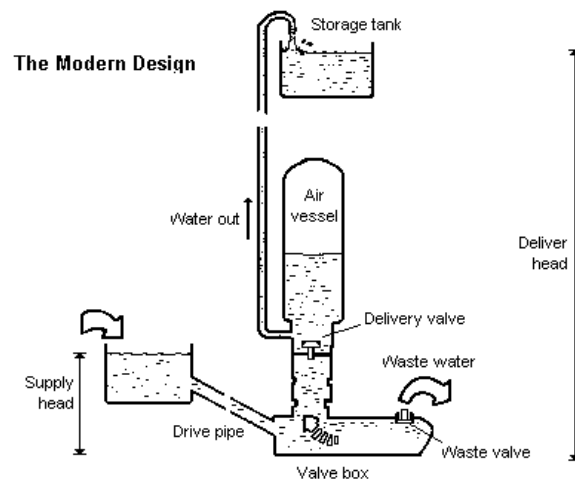
Pompa *Hydraulic Ram* adalah pompa air siklik dengan menggunakan tenaga hidro (*hydropower*). Prinsip kerja dari *Hydraulic Ram* adalah dengan menggunakan energi kinetik dari cairan dan energi tersebut diubah menjadi energi tekan dengan memberikan tekanan dengan tiba-tiba.

➤ Kelebihan pompa *Hydraulic Ram*

- Bisa beroperasi tanpa bantuan energi listrik atau BBM.

➤ Kekurangan pompa *Hydraulic Ram*

- Klep pembuangan membuka karena beban klep terlalu ringan
- Klep pembuangan menutup karena beban klep berlebihan.
- Perawatan harus rutin.
- Masih tergantung dari keadaan alam yang berubah-ubah.



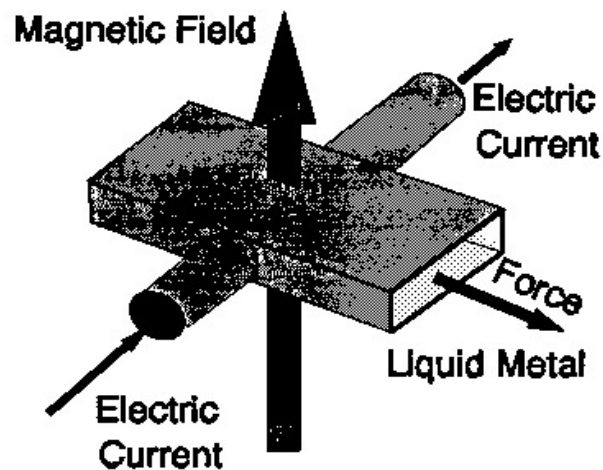
Sumber: http://www.lifewater.ca/tshydro_modern.gif

Gambar 2.9. Pompa *Hydraulic Ram*

d. Pompa Elektromagnetik

Pompa elektromagnetik adalah pompa yang menggerakkan *fluida* logam dengan jalan menggunakan gaya elektromagnetik. Prinsip kerjanya menggerakkan fluida dengan gaya elektromagnetik yang disebabkan medan magnetik yang dialirkan.

- Keuntungan pompa elektromagnetik
 - Tidak memiliki bagian yang bergerak, ventilasi, seal dan lainnya.
 - Tidak bersuara dan bergetar.
 - Kinerjanya tidak habis dimakan waktu.
 - Menghasilkan *output* yang besar dengan *input* yang kecil.
- Kekurangan pompa elektromagnetik
 - Membutuhkan persyaratan yang tinggi.



Sumber: <http://onnyapriyahanda.com>

Gambar 2.10. Prinsip Pompa Elektromagnetik

2.3. Pompa Sentrifugal

Sebuah pompa sentrifugal tersusun atas sebuah *impeller* dan saluran *inlet* ditengah-tengahnya. Dengan desain ini maka pada saat *impeller* berputar, *fluida* mengalir menuju casing disekitar *impeller* sebagai akibat dari gaya sentrifugal. *Casing* ini berfungsi untuk menurunkan kecepatan aliran *fluida* sementara kecepatan putar *impeller* tetap tinggi. Kecepatan *fluida* dikonversikan menjadi tekanan oleh *casing* sehingga *fluida* dapat menuju titik *outlet* nya.

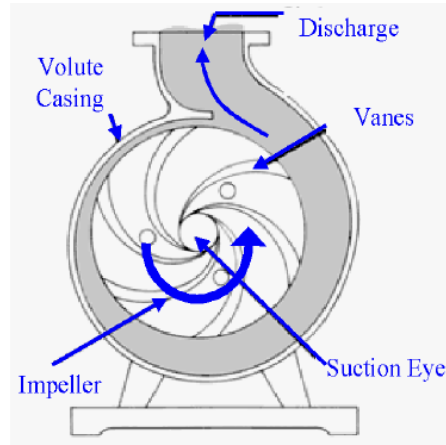
A. Terciptanya Gaya Sentrifugal :

Cairan proses memasuki nosel sisi masuk menuju titik tengah *impeller* yang berputar. Ketika berputar, *impeller* akan memutar cairan yang ada dan mendorongnya keluar antara dua siripnya, serta menciptakan percepatan sentrifugal. Ketika cairan meninggalkan titik tengah *impeller*, menciptakan daerah bertekanan rendah sehingga cairan dibelakangnya mengalir ke arah sisi masuk. Karena sirip *impeller* berbentuk kurva, cairan akan terdorong ke arah tangensial dan radial oleh gaya sentrifugal. Gaya ini terjadi di dalam pompa seperti halnya yang dialami air dalam ember yang diputar diujung seutas tali.

Intinya adalah bahwa energi yang diciptakan oleh gaya sentrifugal adalah energi kinetik. Jumlah energi yang diberikan ke cairan sebanding dengan kecepatan pada piringan luar *impeller*. Semakin cepat *impeller* berputar atau semakin besar energi diberikan kepada cairan.

Energi kinetik cairan yang keluar dari *impeller* tertahan dengan penciptaan terhadap aliran. Tahanan pertama diciptakan oleh rumah pompa (*volute*) yang menangkap cairan dan memperlambatnya. Pada nosel keluar, cairan makin

diperlambat dan kecepatannya diubah menjadi tekanan sesuai dengan prinsip bernoulli.

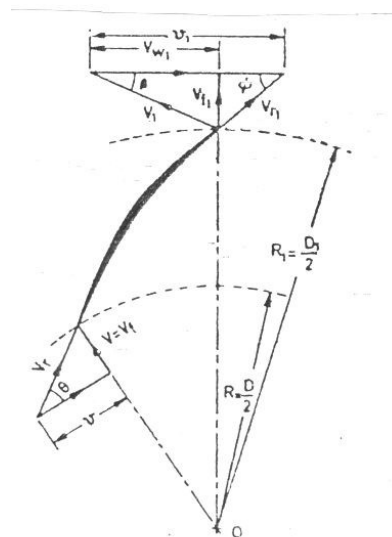


Sumber: <http://pompakita.blogspot.com>

Gambar 2.11. Lintasan cairan di dalam pompa sentrifugal

B. Kerja Pompa Sentrifugal

Kerja yang dilakukan atau daya yang diperlukan oleh pompa, dapat diketahui dengan cara menggambar segitiga kecepatan pada sisi masuk dan pada sisi keluar sudu pompa. Untuk jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.12. Segitiga kecepatan pada sisi masuk dan sisi keluar pompa

Keterangan :

V	= Kecepatan absolut/mutlak air masuk sudu
D	= Diameter sudu pada sisi masuk
v	= Kecepatan tangensial sudu pada sisi masuk
V_r	= Kecepatan relatif air terhadap roda sudu pada sisi masuk
V_f	= Kecepatan aliran pada sisi masuk
$V_1, D_1, v_1, V_{r1}, V_{f1}$	= Besaran yang berlaku pada sisi keluar
N	= Kecepatan sudu dalam rpm
θ	= Sudut sudu pada sisi masuk
β	= Sudut pada saat air meninggalkan sudu
\emptyset	= sudut sudu pada sisi keluar

C. Kecepatan Spesifik Pompa

Kecepatan spesifik dinyatakan dalam persamaan:

$$n_s = n \frac{Q^{0.5}}{H^{0.75}}$$

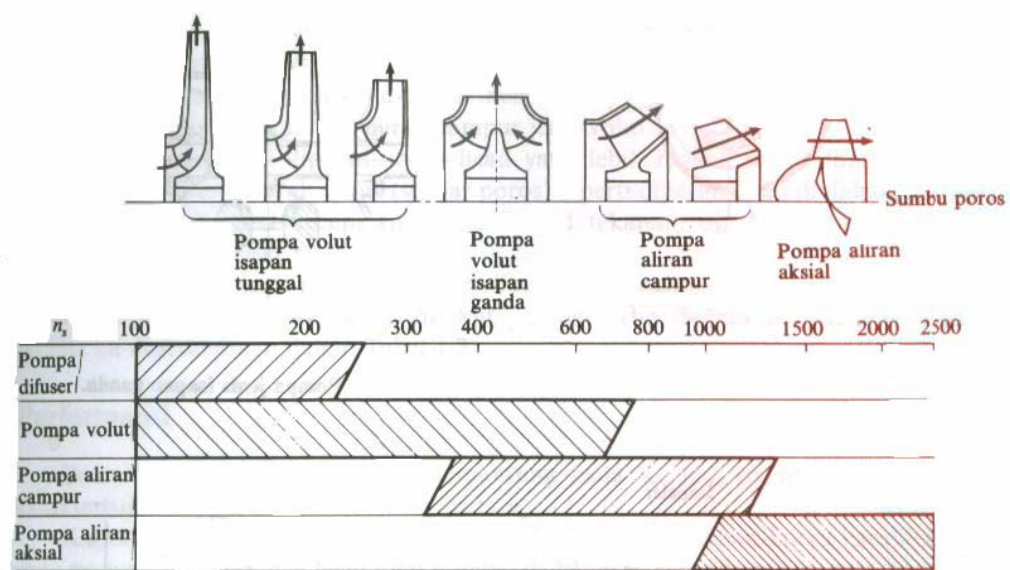
Dimana harga n , Q dan H adalah harga pada titik efisiensi maksimum pompa. Harga n_s dapat dipakai sebagai parameter untuk menyatakan jenis pompa. Jika n_s sudah ditentukan maka bentuk *impeller* pompa tersebut sudah tertentu pula. Gambar berikut menunjukkan harga n_s dalam hubungan dengan bentuk *impeller*.

Kecepatan spesifik yang didefinisikan dalam persamaan tersebut di atas adalah sama untuk pompa-pompa yang sebangun (atau sama bentuk *impeller* nya), meskipun ukuran dan putarannya berbeda. Dengan lain perkataan, harga n

dapat dipakai sebagai parameter untuk menyatakan jenis pompa. Jadi jika n_s suatu pompa sudah ditentukan maka bentuk *impeller* pompa tersebut sudah tertentu pula.

Dalam menghitung n_s untuk pompa sentrifugal jenis isapan ganda (*double suction*) harus dipakai harga $Q/2$ sebagai ganti Q . Karena kapasitas aliran yang melalui sebela *impeller* adalah setengah dari kapasitas aliran seluruhnya. Adapun untuk pompa bertingkat banyak, *head* H yang dipakai dalam perhitungan n_s adalah *head* per tingkat dari pompa tersebut.

Perlu diperhatikan bahwa n_s adalah bukan bilangan tak berdimensi. Jadi untuk bentuk *impeller* yang sama, besarnya angka n_s dapat berbeda tergantung pada satuan yang dipakai untuk menyatakan n , Q , dan H .



Gambar 2.13. n_s dan bentuk impeller

D. Klasifikasi Pompa Sentrifugal

Pompa Sentrifugal dapat diklasifikasikan berdasarkan :

1. Kapasitas
 - Kapasitas rendah : $< 20 \text{ m}^3/\text{jam}$
 - Kapasitas menengah : $20 - 60 \text{ m}^3/\text{jam}$
 - Kapasitas tinggi : $> 60 \text{ m}^3/\text{jam}$
2. Tekanan *Discharge*
 - Tekanan rendah : $< 5 \text{ kg/cm}^2$
 - Tekanan menengah : $5-50 \text{ kg/cm}^2$
 - Tekanan tinggi : $>50 \text{ kg/cm}^2$
3. Jumlah / Susunan *Impeller* dan Tingkat
 - *Single stage* : Terdiri dari satu *impeller* dan satu casing.
 - *Multi stage* : Terdiri dari beberapa *impeller* yang tersusun seri dalam satu casing
 - *Multi impeller* : Terdiri dari beberapa *impeller* yang tersusun paralel dalam satu casing.
 - *Multi impeller dan multi stage* : Kombinasi multi *impeller* dan *multi stage*.
4. Posisi Poros
 - Poros tegak
 - Poros mendatar
5. Jumlah *Suction*
 - *Single suction*

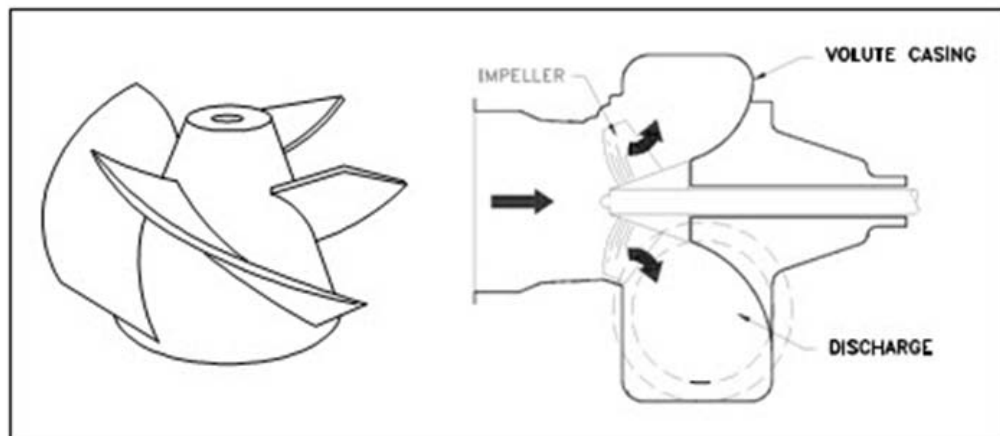
- *Double suction*

6. Arah Aliran Keluar *impeller*

- *Radial flow*
- *Axial flow*
- *Mixed flow*

2.4. *Mixed Flow Pump* (Pompa Aliran Campur)

Mixed Flow Pump merupakan gabungan antara pompa sentrifugal dan aksial. *Impeller* pada *Mixed Flow Pump* cenderung dibuat sedemikian rupa sehingga dapat mendorong cairan dikedua arah radial dan aksial. Rotor pada *Mixed Flow Pump* biasanya dipasang pada tabung yang mirip pada pompa aksial, atau dipasang pada casing mirip dengan pompa sentrifugal. Pompa aliran campur berfungsi untuk menambah tekanan menjadi lebih tinggi dari pompa aliran aksial dan juga menghasilkan discharge yang lebih tinggi dari pompa aliran radial. Pompa aliran campur dirancang untuk menghasilkan aliran tinggi dan *head* sedang.



Gambar 2.14. Pompa Sentrifugal Aliran Campur

Keuntungan dari pompa sentrifugal aliran campur:

- Konstruksi kokoh
- Desain yang sederhana

- c. Beroperasi pada head konstan pada jangka waktu lama
- d. Temperatur fluida sampai dengan 120°C

2.5. *Sea Water Booster Pump* unit 10 PLTU 1 Jawa Tengah Rembang

PLTU 1 Jawa Tengah Rembang merupakan PLTU yang memiliki 2 buah unit pembangkit yaitu unit 10 dan unit 20 yang menghasilkan daya 2 x 315 MW. Pada unit 10 terdapat beberapa jenis pompa, salah satunya adalah *Sea Water Booster Pump*. *Sea Water Booster Pump* pada PLTU 1 Jawa Tengah Rembang merupakan jenis pompa sentrifugal dan bertipe *Mixing-flow pump*. Adapun spesifikasi *Sea Water Booster Pump* unit 10 PLTU 1 Jawa Tengah Rembang adalah sebagai berikut :

➤ Spesifikasi *Sea Water Booster Pump* :

- Model : 650HW-8
- Type : *Mixing-flow pump*
- Flow : 3150 m³/h
- *Delivered head* : 8 m
- *Manufacture* : Wuxi Rili Pump Manufacture
CO, LTD

➤ Spesifikasi *Sea Water Booster Pump Driving Motor* :

- Model : Y2-355L1-12TH
- Power : 110 KW
- *Power efficient* : 0.803
- Voltage : 380 V
- *Rotate speed* : 490 rpm

- *Manufacture* : Shanghai Motor



Sumber: PLTU 1 Jawa Tengah Rembang

Gambar 2.15. *Sea Water Booster Pump*

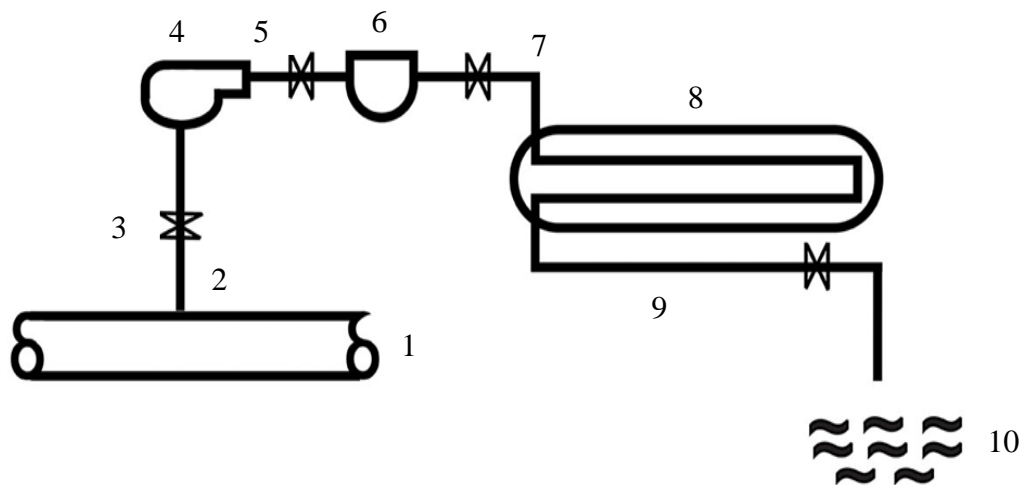
Sea Water Booster Pump pada unit 10 PLTU 1 Jawa Tengah Rembang menggunakan air laut sebagai fluida yang mengalir di dalamnya. *Sea Water Booster Pump* berfungsi untuk mengalirkan air laut ke *heat exchanger* untuk mendinginkan air pendingin bantu yang telah mengalami kenaikan *temperature* setelah menyerap panas dari minyak pelumas, sisi hisap pompa didapat dari *line discharge circulating water*, sistem ini menggunakan sirkulasi terbuka, air laut akan langsung keluar ke *outfall*.

2.6. Sistem pada *Sea Water Booster Pump* unit 10 PLTU 1 Jawa Tengah Rembang

Siklus yang terjadi pada sistem air pendingin yang didorong oleh *Sea Water Booster Pump* merupakan siklus terbuka, dimana air laut akan kembali ke laut. Sebagian air laut yang sebelumnya telah dihisap oleh *Circulating Water Pump* (CWP) selanjutnya akan di alirkan menuju *Closed Cooling Water Heat Exchanger*

dengan bantuan *Sea Water Booster Pump*. Fungsi dari air laut ini adalah untuk membantu mendinginkan air demineralisasi yang sebelumnya telah mendinginkan minyak pelumas yang berada pada peralatan berputar pada unit Turbin dan *Boiler*, proses perdinginan terjadi pada *Closed Cooling Water Heat Exchanger*.

Gambar dibawah ini merupakan letak sistem pada pompa *Sea Water Booster Pump* di unit 10 PLTU 1 Jawa Tengah Rembang :



Gambar 2.16. Skema sederhana pada *Sea Water Booster Pump*

Keterangan :

- 1 = *Circulating Water System*
- 2 = Pipa dengan : $l = 18 \text{ m}$
 $D = 0,72 \text{ m}$
 $ha = 6 \text{ m}$
- 3 = Katup kupu-kupu
- 4 = *Sea Water Booster Pump*
- 5 = Pipa dengan : $l = 10 \text{ m}$
 $D = 0,72 \text{ m}$

- 6 = *Strainer*
- 7 = Pipa dengan : $l = 11 \text{ m}$
 $D = 0,72 \text{ m}$
- 8 = *Closed Cooling Water Heat Exchanger*
- 9 = Pipa dengan : $l = 44 \text{ m}$
 $D = 0,72 \text{ m}$
- 10 = *Sea*

2.7. Istilah Efisiensi

Karakteristik sesungguhnya atau sering disebut sebagai *head discharge characteristic* adalah karakteristik yang menggambarkan hubungan *head* (H), dan daya (N), dan efisiensi (η) sebagai fungsi kapasitas (Q) yang variable pada putaran (n) konstan. Karakteristik ini diperoleh dengan suatu model pompa dengan mengatur *discharge valve*, sehingga diperoleh titik operasi yang terbaik yaitu pada efisiensi yang tertinggi. Apabila setiap variable telah diketahui, maka akan diperoleh efisiensi pompa secara keseluruhan, efisiensi menyeluruh ini dapat melalui persamaan berikut :

1) Kecepatan Rata-rata Aliran (v)

Kecepatan aliran adalah jarak yang mampu ditempuh oleh partikel zat cair dalam satuan waktu tertentu. Untuk mencari nilai kecepatan rata-rata aliran dapat menggunakan persamaan berikut¹ :

¹ Ir. Sularso, Pompa dan Kompresor, cetakan ke 9, PT Pradnya Paramita, jakarta, 1983, hal. 5

$$V = \frac{Q}{\pi/4 \times D^2} \dots\dots\dots (2-1)$$

Dimana :

V : Kecepatan rata-rata aliran (m/s)

Q : Kapasitas (m³/s)

D : Diameter pipa (m)

2) Bilangan Reynold

Bilangan Reynold adalah bilangan tidak berdimensi yang menyatakan perbandingan gaya-gaya inersia terhadap gaya-gaya kekentalan (viskos) pada pipa bulat dengan aliran penuh. Sedangkan Viskositas (kekentalan) sendiri adalah sifat fluida yang mendasari diberikannya tahanan terhadap tegangan geser oleh fluida tersebut. Viskositas dinyatakan dalam dua bentuk :

1. Viskositas Dinamik

Viskositas dinamik adalah perbandingan tegangan geser dengan laju perubahan, besarnya nilai viskositas dinamik dipengaruhi oleh temperatur, konsentrasi larutan, bentuk partikel dan sebagainya, untuk viskositas dinamik air pada temperatur standar lingkungan (27°C) adalah $8,6 \times 10^{-4}$ kg/m.s

2. Viskositas Kinematik

Viskositas kinematik merupakan perbandingan viskositas dinamik terhadap kerapatan (densitas) massa jenis dari fluida tersebut. viskositas kinematik ini terdapat dalam beberapa penerapan antara lain dalam

bilangan Reynold yang merupakan bilangan tak berdimensi. Nilai viskositas kinematik air pada temperatur standar (27°C) adalah $8,7 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$.

Untuk menentukan jenis aliran, apakah turbulen atau laminar. Dapat menggunakan perhitungan sebagai berikut² :

$$\text{Re} = \frac{V.D}{\nu} \quad \dots\dots\dots (2-2)$$

Dimana :

Re : Bilangan Reynold

V : Kecepatan aliran fluida (m/s)

D : Diameter pipa (m)

ν : Viskositas cairan (m^2/s)

Keterangan

Pada Re < 2000 aliran bersifat laminar.

Pada Re > 4000 aliran bersifat turbulen.

Pada Re 2000 - 4000 aliran bersifat transisi.

3) Perbedaan Tekanan (Δh_p)

Perbedaan tekanan merupakan perbandingan atau selisih antara tekanan sisi masuk dan keluar pompa. Untuk mencari nilai perbedaan tekanan dapat menggunakan persamaan berikut³ :

$$\Delta h_p = \frac{P_2 - P_1}{\rho \times g} \quad \dots\dots\dots (2-3)$$

² ibid, 1983, hal. 28

³ ibid, 1983, hal. 26

Dimana :

Δh_p : Perbedaan tekanan (m)

P_1 : *Pressure suction* (kg/cm²)

P_2 : *Pressure discharge* (kg/cm²)

ρ : Massa jenis fluida (kg/cm³)

g : percepatan gravitasi (m/s²)

4) **Head Kerugian ($h_{f_{total}}$)**

Head kerugian (yaitu *head* yang mengatasi kerugian-kerugian) terdiri atas *head* kerugian gesek didalam pipa atau kerugian akibat pipa lurus, *head* kerugian di dalam belokan-belokan, *reduser*, katup-katup, dll. Berikut ini adalah beberapa kerugian yang terdapat sepanjang jalur perpipaan *Sea Water Booster Pump* :

A. **Kerugian Gesek Akibat Pipa Lurus (h_{f_1})**

Kerugian gesek akibat pipa lurus merupakan kerugian fluida karena bergesekan langsung dengan permukaan pipa. Semakin panjang pipa tersebut, akan semakin besar pula kerugian karena gesekan. Untuk mencari nilai kerugian gesek akibat pipa lurus dapat menggunakan persamaan berikut⁴ :

$$h_{f_1} = \frac{10,666 \times Q^{1,85}}{C^{1,85} \times D^{4,85}} \times L \quad \dots\dots\dots (2-4)$$

⁴ Ir. Sularso, Pompa dan Kompresor, cetakan ke 9, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1983, hal. 31

Dimana :

Hf_1 : Kerugian gesek karena pipa lurus (m)

Q : Kapasitas (m^3/s)

C : Harga kondisi pipa

D : Diameter pipa (m)

L : Panjang pipa (m)

Tabel 2.1. Kondisi Pipa dan Harga C

Jenis pipa	C
Pipa besi cor baru	130
Pipa besi cor tua	100
Pipa baja baru	120 – 130
Pipa baja tua	80 – 100
Pipa dengan lapisan semen	130 – 140
Pipa dengan lapisan ter arang batu	140

Sumber: Ir. Sularso, 1983, hal. 30

B. Kerugian Gesek Karena belokan 90° (hf_2)

Kerugian gesek karena belokan 90° adalah kehilangan tekanan akibat gesekan yang terjadi karena belokan 90° pada instalasi perpipaan. Untuk mencari nilai kerugian gesek karena belokan 90° dapat menggunakan persamaan berikut⁵ :

$$hf_2 = f \times \frac{v^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (2-5)$$

Dimana :

hf_2 : Kerugian gesek karena belokan 90° (m)

f : Koefisien gesek pipa

⁵ ibid, hal. 32

V : Kecepatan rata-rata aliran (m/s)

g : Percepatan gravitasi (m/s²)

Tabel 2.2. Koefisien Kerugian Belokan Pipa

θ°		5	10	15	22.5	30	45	60	90
f	Halus	0.016	0.034	0.042	0.066	0.130	0.236	0.471	1.129
	kasar	0.024	0.44	0.062	0.154	0.165	0.320	0.684	1.628

Sumber: Ir. Sularso, 1983, hal. 34

C. Kerugian Gesek Karena Katup (hf_3)

a. Katup Kupu-kupu ($hf_{3.1}$)

Kerugian gesek karena katup kupu-kupu adalah kehilangan tekanan akibat gesekan yang terjadi karena adanya katup kupu-kupu pada instalasi perpipaan. Untuk mencari nilai kerugian gesek karena katup kupu-kupu dapat menggunakan persamaan berikut⁶ :

$$hf_{3-1} = f \times \frac{V^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (2-6)$$

Dimana :

Hf_{3-1} : Kerugian gesek karena katup kupu-kupu (m)

f : Koefisien gesek pipa

V : Kecepatan rata-rata aliran (m/s)

g : Percepatan gravitasi (m/s²)

b. Katup Bola ($hf_{3.2}$)

⁶ ibid, hal. 36

Kerugian gesek karena katup bola adalah kehilangan tekanan akibat gesekan yang terjadi karena adanya katup bola pada instalasi perpipaan. Untuk mencari nilai kerugian gesek karena katup bola dapat menggunakan persamaan berikut⁷ :

$$hf_{3-2} = f \times \frac{V^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (2-7)$$

Dimana :

Hf_{3-2} : Kerugian gesek karena katup bola (m)

f : Koefisien gesek pipa

V : Kecepatan rata-rata aliran (m/s)

g : Percepatan gravitasi (m/s^2)

$$hf_3 = hf_{3-1} + hf_{3-2} \quad \dots\dots\dots (2-8)$$

Tabel 2.3. Koefisien Kerugian Pada Katup

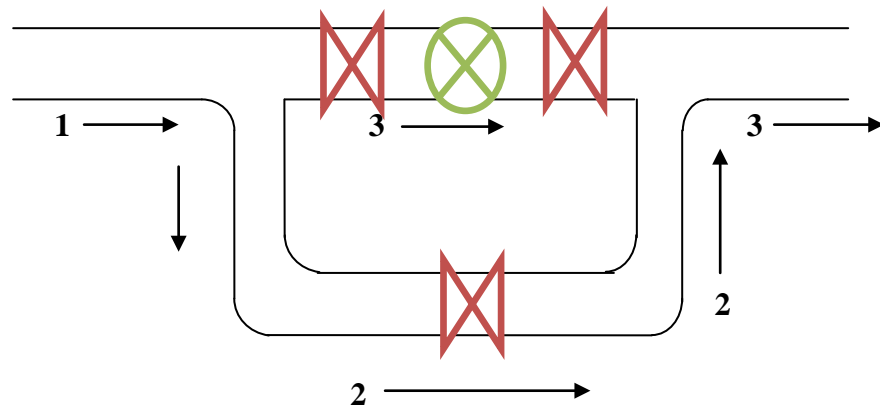
Diameter(mm)							
	100	150	200	250	300	400	500
Jenis katup							
Katup sorong	0.14	0.12	0.10	0.09	0.07	0	0
Katup kupu-kupu	0.6 – 0.16						
Katup putar	0.09 – 0.026						
Katup cegah jenis ayun			1.2	1.15	1.1	1.0	0.98
Katup cegah tutup jenis takanan			1.2	1.15	1.1	0.9	0.8
Katup cegah jenis angkat bebas	1.44	1.39	1.34	1.3	1.2		
Katup cegah tutup cepat jenis pegas	7.3	6.6	5.9	5.3	4.6		
Katup isap dengan saringan	1.97	1.91	1.84	1.78	1.72		

Sumber: Ir. Sularso, 1983, hal. 39

⁷ ibid, hal. 36

D. Kerugian Gesek Karena *By Pass* (hf_4)

Kerugian gesek karena by pass adalah kehilangan tekanan akibat gesekan yang terjadi karena adanya by pass pada instalasi perpipaan. Untuk mencari nilai kerugian gesek karena by pass dapat menggunakan persamaan berikut :



➤ Percabangan pertama

$$Q'_3 = \frac{Q_{\text{total}}}{2} \quad \dots\dots\dots (2-9)$$

Dimana :

Q'_3 : Permisalan kapasitas air yang masuk pada percabangan pertama (m^3/s)

$$V'_3 = \frac{Q'_3}{A_3} \quad \dots\dots\dots (2-10)$$

Dimana :

V'_3 : Permisalan kecepatan aliran pada percabangan pertama (m/s)

Q'_3 : Permisalan kapasitas air yang masuk pada percabangan pertama (m^3/s)

A_3 : Luas penampang pipa pada percabangan pertama (m^2)

$$R'_3 = \frac{V'_3 \times D_3}{v} \dots\dots\dots (2-11)$$

Dimana :

R'_3 : Permisalan bilangan renould pada percabangan pertama

D_3 : Diameter Penampang pipa pada percabangan pertama (m)

- Pipa III

$$\frac{e_3}{D_3} \dots\dots\dots (2-12)$$

Dimana :

e_3 : Nilai kekasaran dari material pipa

Maka nilai dari F'_3 akan bisa ditemukan dengan cara mencari pada diagram moody⁸.

$$hf'_3 = F'_3 \times \frac{L_3}{D_3} \times \frac{(V'_3)^2}{2g} \dots\dots\dots (2-13)$$

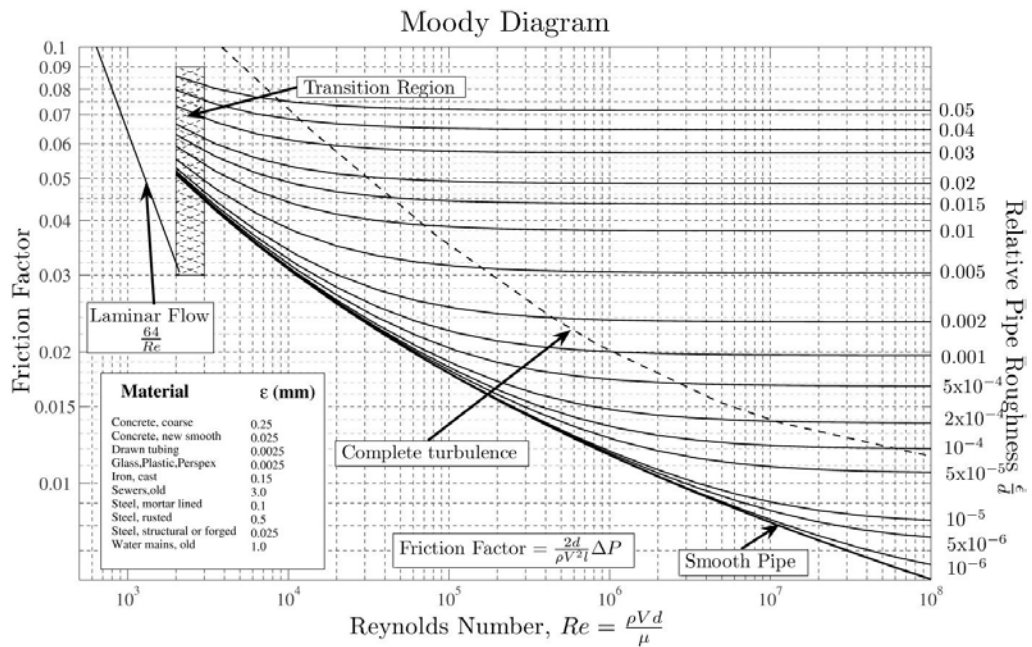
Dimana :

hf'_3 : Permisalan kerugian gesek karena pipa lurus

⁸ Priyono Arko, Mekanika Fluida, cetakan ke 8, Erlangga, jakarta, 1995, hal. 401

L_3 : Panjang pipa pada percabangan pertama (m)

F'_3 : Permisalan faktor gesekan pipa pada percabangan pertama



Gambar 2.17. Diagram *Moody*

➤ Percabangan kedua

- Pipa II

$$\frac{e_2}{D_2} \dots\dots\dots (2-14)$$

Dimana :

e_2 : Nilai kekasaran dari material pipa

D_2 : Diameter penampang pipa pada percabangan kedua (m)

Maka nilai dari F'_2 akan bisa ditemukan dengan cara mencari pada diagram moody.

$$hf'_2 = F'_2 \times \frac{L_2}{D_2} \times \frac{(V'_2)^2}{2g} \dots\dots\dots (2-15)$$

atau

$$V'_2 = \sqrt{\frac{hf'_2 \times D_2 \times 2g}{F'_2 \times L_2}} \dots\dots\dots (2-16)$$

Dimana :

hf'_2 : Permisalan kerugian gesek karena pipa lurus (m)

F'_2 : Permisalan faktor gesekan pipa pada percabangan kedua

L_2 : Panjang pipa pada percabangan kedua (m)

V'_2 : Permisalan kecepatan aliran pada percabangan kedua
(m/s)

$$R'_2 = \frac{V'_2 \times D_2}{\nu} \dots\dots\dots (2-17)$$

Dimana :

R'_2 : Permisalan bilangan reynould pada percabangan kedua

Q'_2 : Permisalan kapasitas air yang masuk pada percabangan
kedua (m³/s)

$$hf_2 = F_2 \times \frac{L_2}{D_2} \times \frac{(V_2)^2}{2g} \dots\dots\dots (2-18)$$

atau

$$V_2 = \sqrt{\frac{hf_2 \times D_2 \times 2g}{F_2 \times L_2}} \dots\dots\dots (2-19)$$

Dimana :

hf_2 : Kerugian gesek karena pipa lurus

F_2 : Nilai faktor gesekan pipa pada percabangan kedua

V_2 : Kecepatan aliran pada percabangan kedua (m/s)

$$Q'_2 = V_2 \times A_2 \quad \dots\dots\dots (2-20)$$

Dimana :

Q'_2 : Permisalan kapasitas air yang masuk pada percabangan kedua (m³/s)

$$\Sigma Q' = Q'_3 + Q'_2 \quad \dots\dots\dots (2-21)$$

Dimana :

$\Sigma Q'$: Jumlah permisalan kapasitas air pada kedua percabangan (m³/s)

Maka⁹ :

$$Q_3 = \frac{Q'_3}{\Sigma Q'} \times Q \quad \dots\dots\dots (2-22)$$

lalu

$$Q_2 = \frac{Q'_2}{\Sigma Q'} \times Q \quad \dots\dots\dots (2-23)$$

Dimana :

Q_3 : Kapasitas air pada percabangan pertama (m³/s)

Q_2 : Kapasitas air pada percabangan kedua (m³/s)

⁹ Ibid, hal. 407

- Koefisien gesek pipa pada percabangan pipa
 - f_1 (koefisien gesek pipa) bisa didapat dari melihat tabel koefisien untuk percabangan dan pertemuan pipa, yang sebelumnya menghitung nilai dari $\frac{Q_2}{Q_{total}}$ terlebih dahulu.
 - f_2 (koefisien gesek pipa) bisa didapat dari melihat tabel koefisien untuk percabangan dan pertemuan pipa, yang sebelumnya menghitung nilai dari $\frac{Q_2}{Q_{total}}$ terlebih dahulu.

- Koefisien gesek pipa pada pertemuan pipa
 - f_1 (koefisien gesek pipa) bisa didapat dari melihat tabel koefisien untuk percabangan dan pertemuan pipa, yang sebelumnya menghitung nilai dari $\frac{Q_3}{Q_{total}}$ terlebih dahulu.
 - f_2 (koefisien gesek pipa) bisa didapat dari melihat tabel koefisien untuk percabangan dan pertemuan pipa, yang sebelumnya menghitung nilai dari $\frac{Q_3}{Q_{total}}$ terlebih dahulu.

Tabel 2.4. Koefisien Percabangan dan pertemuan Pipa, f_1 dan f_2

F1 dan f2 untuk permukaan dalam yang halus dari pipa dan sudut antara pipa R= o			Rumus percabangan						Rumus pertemuan					
			Q1\Q2						Q2\Q3					
			0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
D1= D3 dan D1 = D2	θ 90	F1	0.05	-0.08	-0.05	0.07	0.21	0.35	0.04	0.18	0.30	0.40	0.50	0.60
		F2	0.96	0.88	0.89	0.96	1.10	1.29	-1.01	-0.41	0.08	0.46	0.72	0.91
	θ 60	F1	0.05	-0.05	-0.02	0.07	0.20	0.34	0.04	0.24	0.31	0.24	0.10	-0.18
		F2	0.98	0.80	0.64	0.57	0.60	0.75	-0.93	-0.30	0.13	0.40	0.57	0.66
	θ 45	F1	0.04	-0.07	-0.04	0.06	0.20	0.33	0.04	0.17	0.18	0.06	-0.17	-0.54
		F2	0.89	0.67	0.50	0.37	0.33	0.47	-0.91	-0.37	0	0.22	0.37	0.37

Sumber: Ir. Sularso, 1983, hal. 38

- Kerugian gesek akibat percabangan pipa

- ✓ Dari pipa 1 ke pipa 3

$$hf_a = f_1 \times \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2-24)$$

- ✓ Dari pipa 1 ke pipa 2

$$hf_b = f_2 \times \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2-25)$$

- Kerugian gesek akibat pertemuan pipa

- ✓ Dari pipa 1 ke pipa 3

$$hf_c = f_1 \times \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2-26)$$

- ✓ Dari pipa 2 ke pipa 3

$$hf_d = f_2 \times \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2-27)$$

$$hf_4 = hf_a + hf_b + hf_c + hf_d \quad \dots\dots\dots (2-28)$$

Dimana :

Hf_4 : Kerugian gesek karena *by pass* (m)

5) Head Total Pompa (H)

Head adalah energi per satuan berat yang dinyatakan dalam satuan meter. Sedangkan *head* total pompa yang harus disediakan untuk mengalirkan sejumlah air seperti yang direncanakan dapat ditentukan dari kondisi instalasi yang akan dilayani oleh pompa. Untuk menghitung total head dari suatu pompa dapat ditentukan dari rumus Bernoulli berikut¹⁰ :

$$Z_a + \frac{P_a}{\rho} + \frac{V_a^2}{2g} + H = Z_b + \frac{P_b}{\rho} + \frac{V_b^2}{2g} + (H_{ld} + H_{ls})$$

$$H = (Z_b - Z_a) + \frac{P_b - P_a}{\rho} + \frac{V_b^2 - V_a^2}{2g} + (H_{ld} + H_{ls})$$

Atau

$$H = h_a + \Delta h_p + (hf_1 + hf_2 + hf_3 + hf_4) + \frac{V^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (2-29)$$

Dimana :

h_a : *Head* statis pompa (m)

Δh_p : Perbedaan tekanan pada kedua permukaan (m)

hf_1 : Kerugian akibat pipa lurus (m)

hf_2 : Kerugian gesek karena belokan 90° (m)

hf_3 : Kerugian gesek karena katup (m)

¹⁰ Ir. Sularso, Pompa dan Kompresor, cetakan ke 9, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1983, hal. 26

hf_4 : Kerugian gesek karena *by pass* (m)

v : Kecepatan rata-rata aliran (m/s^2)

g : Kecepatan gravitasi (m/s^2)

6) Daya Air (Pw)

Daya air adalah daya yang dimiliki oleh cairan yang mengalir dari sistem pemompaan per satuan waktu. Daya ini dinyatakan dalam rumus¹¹ :

$$P_w = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}{1000} \quad \dots\dots\dots (2-30)$$

Dimana :

P_w : Daya Air (Kw)

ρ : Massa jenis *fluida* (kg/m^3)

g : Percepatan Gravitasi (m/s^2)

H : Total *head* (m)

Q : Kapasitas (m^3/s)

7) Daya Poros (Pp)

Daya poros adalah daya yang digunakan untuk menjalankan pompa atau daya untuk memindahkan zat cair yang ditambahkan dengan daya untuk mengatasi friksi di dalam pompa. Untuk mencari nilai daya poros dapat menggunakan persamaan berikut¹² :

$$P_p = \eta \text{ motor} \times P \quad \dots\dots\dots (2-31)$$

¹¹ *ibid*, hal. 53

¹² *ibid*, hal. 53

Dimana

P_p : Daya poros (Kw)

η motor : Efisiensi optimum/maksimal motor (%)

P : Daya Motor (Kw)

8) Efisiensi Pompa (η)

Efisiensi merupakan suatu ukuran keberhasilan yang dinilai dari segi besarnya sumber/biaya untuk mencapai hasil dari kegiatan yang dijalankan. Sedangkan efisiensi pompa adalah perbandingan antara daya hidrolik dengan daya poros pompa. Untuk mencari nilai efisiensi pompa dapat menggunakan persamaan berikut¹³ :

$$\eta = \frac{P_w}{P_p} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots (2-32)$$

Dimana :

η : Efisiensi pompa (%)

P_w : Daya hidrolik (Kw)

P_p : Daya Poros (Kw)

9) Kapasitas Ideal

Ideal merupakan kapasitas maksimal 100% yang seharusnya dicapai oleh pompa, pengukuran ini menganggap keadaan sempurna tanpa adanya loses yang terjadi di sepanjang sistem. Untuk mencari nilai dari kapasitas ideal dapat menggunakan persamaan berikut:

¹³ ibid, hal. 53

$$Q = \pi \cdot D \cdot b \cdot V_f = \pi \cdot D_1 \cdot b_1 \cdot V_{f1} \quad \dots\dots\dots (2-34)$$

Dimana:

D = Diameter ssudu pada sisi masuk

V_f = Kecepatan aliran pada sisi masuk

b = Lebar sudu pada sisi masuk

D_1, b_1, V_{f1} = Besaran yang berlaku pada sisi keluar