

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Daniel Ortega Panjitan dkk (2012) menganalisa variasi tinggi tabung tabung udara dan panjang pipa pemasukan. Pada penelitian yang dilakukan Daniel bertujuan untuk mengukur kinerja pompa hidram dengan variasi tinggi tabung dan panjang pipa pemasukan menggunakan analisa secara mekanika fluida yang diantaranya menghitung kapasitas airan pada pompa, *head loss* dan efisiensi. Dari hasil perhitungan dengan variasi tinggi tabung 40 cm dan 60 cm dan panjang pipa pemasukan 8 m, 10 m dan 12 m didapatkan kapasitas pompa maksimum $0,0000346666 \text{ m}^3/\text{s}$ dan efisiensi maksimum popa hidram sebesar 29,55% pada tinggi tabung 60 cm dan panjang pipa pemasukan 10 m.

Charles Sila dkk (2014) menganalisa pengaruh diameter tabung udara dan jarak lubang pipa tekan. Pada penelitian yang dilakukan Charles bertujuan untuk melihat pengaruh diameter tabung udara dan jarak lubang pipa tekan dengan katup hantar terhadap efisinesi pompa hiram, metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah eksperimen. Hasil yang didapatkan yaitu efisiensi tertinggi terjadi pada konfigurasi tabung dengan diameter 2 inchi dan jarak lubang pipa tekan 22,5 dengan besar efisinesi 35,30% sedangkan efisiensi terendah terjadi pada konfigurasi tabung dengan diameter 2,5 inchi dengan jarak lubang pipa tekan 25 cm dan nilai efisiensinya sebesar 19,57%..

Aris Eko Setyawan (2015) menganalisa pengaruh berat katub limbah dan ketinggian *discharge*. Pada penelitian yang dilakukan Aris bertujuan untuk melihat pengaruh berat katup limbah dan ketinggian *discharge* terhadap kinerja pompa hidram, variabel katub limbah yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 200, 250, 300, 350, 400, 450 gram yang difaisikan dengan pipa *inlet* diameter 1¹/₄ inchi dan panjang 400 cm, diameter pipa *discharge*, 0,5 inchi dengan ketinggian 300, 350, 400 cm dan diameter rumah pompa 1¹/₄ inchi. Metode yang dipakai adalah eksperimen dengan hasil yang didapatkan yaitu kapasitas terbaik terjadi pada katup limbah 200 gram dengan nilai 7,75 L/min pada discharge 300 cm, efisiensi volumetris sebesar 53,961% dan efisiensi pompa sebesar 60,623%.

Nurchayati dkk (2017) menganalisa pengaruh variasi tinggi terjunan dan dimensi tabung kompresor. Penelitian yang dilakukan Nurchayati bertujuan untuk mengetahui pengaruh tinggi terjunan dan dimensi tabung kompresor terhadap kinerja pompa hidram, variasi tinggi terjunan yaitu 2, 3, 4, 5 m serta variasi rasio d/h pada tabung kompresor dengan volume konstan 2650 cm³. Hasil yang didapatkan dari penelitian Nurchayati adalah setiap kenaikan 1 m tinggi terjunan maka debit *output* akan mengalami kenaikan rata-rata 36,6% dan head maksimum meningkat sebesar 5 – 6 m. Variasi rasio d/h pada tubung kompresor beroengaruh terhadap debit *output* namun tidak berpengaruh terhadap head pompa, sedangkan efisiensi tertinggi yang didapat adalah sebesar 33,98% pada tinggi terjunan 2 m dan rasio d/h tabung kompresor 0,198.

Kahar menganalisa pengaruh jumlah katup hisap dan buang. Pada penelitian yang dilakukan Kahar bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah katup hisap dan katup buang terhadap kinerja pompa hidram. Metode yang dipakai adalah eksperimen, variasi jumlah katub yaitu 1 katup, 2 katup dan 3 katup. Hasil yang didapatkan pada jumlah 1 katup yaitu 6,0000725% untuk nilai efisiensi pompa, dan kapasitas pemompaan *discharge* sebesar $9,2083 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ dan $7,25 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ untuk kapisitas limbah , pada jumlah 2 katup nilai efisiensinya adalah 10,20% dengan kapasitas pemompaan *discharge* sebesar $1,25833 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ dan $9,41667 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ untuk kapasitas limbah serta pada jumlah katup 3 nilai efisiensi yang didapat sebesar 16,0003525% dan kapasitas pemompaan *discharge* sebesar $2,358416 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ dan $1,175 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ untuk kapasitas limbah. Jumlah katup berpengaruh terhadap kinerja pompa hidram baik dari segi efisiensi maupun kapisitas yang dihasilkan.

2.2. Pengertian Pompa

Pompa adalah suatu alat untuk memindahkan fuida dari tempat rendah menuju tempat yang lebih tinggi, pompa *hydram* memiliki fungsi sama seperti pompa pada umumnya. Pompa *hydram* atau *hydraulic ram pump* berasal dari kata *hydro* (cairan / air) dan *ram* (benturan, tekanan), merupakan sebuah pompa yang energi penggerak mula berasal dari benturan atau tekanan air yang masuk melalui pipa isap (*suction*) ke dalam pompa. Dengan menggunakan energi aliran air yang cukup besar di tempat rendah maka air

akan mengalir ke tempat yang lebih tinggi dengan jumlah air yang lebih sedikit, banyaknya air yang mengalir ke atas tergantung dari perbedaan tinggi antara pipa isap (*suction*) dengan pipa keluar (*discharge*) pompa. Dalam beroperasi pompa ini memerlukan aliran air secara terus menerus (*continuu*) dan tidak memerlukan motor listrik atau motor bakar. Pompa *hydram* cocok digunakan di perbukitan yang mengalir sumber air di lembah atau bawahnya.

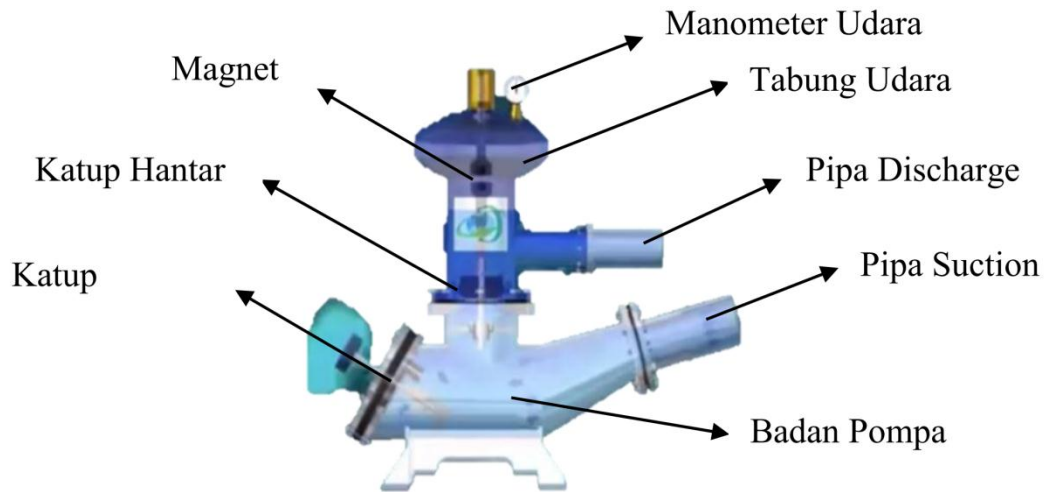
2.2.1. Kelebihan Pompa Hidram

1. Ukuran pompa kecil dan ringan.
2. Konstruksi dan perakitan sangat mudah.
3. Tidak memerlukan motor bakar dan motor listrik
4. Bebas polusi udara.
5. Beroperasi 24 jam.
6. Tekanannya sangat besar.
7. Efektif dan efisien digunakan di daerah perbukitan yang sulit air.

2.2.2. Kelemahan Pompa Hidram

1. Debit air yang keluar lebih kecil dari pada masuknya.
2. Besarnya debit masuk tergantung dari kapasitas bak penampung.
3. Aliran air pada pipa isap harus terus menerus jika tidak pompa akan berhenti beroperasi.
4. Ketinggian sumber air harus statis.

2.3. Bagian-Bagian Pompa Hidram



Gambar 2.1 Bagian-bagian Pompa Hidram

1. Badan Pompa

Badan pompa atau rumah pompa merupakan tempat terjadinya proses pemindahan aliran air. Bagian ini dilengkapi dengan kedudukan agar pompa dapat berdiri tegak dan kuat. Di dalamnya terdapat beberapa katub (katub hantar dan katub limbah) yang digunakan untuk membuka dan menutup saluran. Bagian ini harus kuat terbuat dari bahan yang keras dan tidak boleh ada kebocoran saat pompa beroperasi, karena akan menurunkan kinerja pompa.

2. Pipa Hisap

Pipa hisap berfungsi untuk saluran masuk aliran air dari artesis ke badan pompa, pada pipa ini terpasang *pressure gauge* untuk mengetahui tekanan yang dihasilkan dari artesis. Peneliti menggunakan pipa PVC (*Polivinil Korida*) dengan ukuran 1 inci. Panjang dan diameter pipa mempengaruhi periode langkah dari otomatis katub limbah (*waste valve*),

makin panjang pipa makin lama periode langkahnya. Ratio panjang dan ukuran pipa berdasarkan data empiris. Informasi dari universitas Georgia menyediakan persamaan Calvert (1958) yang menjabarkan *output* dan kestabilan dari ram pump berdasarkan ratio dari panjang pipa isap (L) dengan diameternya (D).

- Minimum $L/d = 150$
- Minimum $L/d = 1000$

Apabila keadaan nyata L/d kurang dari 150, maka diberi pemberat di katub limbah (*waste valve*) dengan cara *trial and error*.

3. Katup Limbah

Bagian *plate* yang bergerak naik – turun terbuat dari *plate aluminium alloy*, dan di atasnya dilapisi karet. Pada *shaftnya* dibuatkan ulir yang berguna untuk mengatur tinggi rendahnya langkah dan tempat penambahan beban apabila diperlukan (L/d kurang dari 150). Klep ini berfungsi memancing gerakan air yang berasal dari bak penampung, sehingga menimbulkan aliran air yang digunakan untuk mengoperasikan pompa *hydram*.

4. Katup Hantar

Katub ini berfungsi sebagai ruang untuk menghantarkan air dari pompa ke tabung udara serta menahan air yang telah masuk agar tidak kembali ke badan pompa.

5. Tabung Udara

Tabung Udara berfungsi sebagai tempat udara yang bertekanan yang terjadi akibat daya dorong dari tekanan balik dari air yang berada pipa keluar (*discharge*) dan tekanan air pada pipa hisap (*suction*) secara terus-menerus. Tabung juga berfungsi untuk melipatgandakan daya dorong, sehingga air yang masuk ke tabung udara dapat dipompa naik setelah keluar ke pipa keluar.

6. Pipa *Discharge*

Pipa ini berfungsi untuk menyalurkan air ke bak penampung yang lebih tinggi. Air yang keluar mempunyai tekanan sehingga perlu dipasang *pressure gauge* untuk mengetahui besarnya tekanan yang dihasilkan. Pipa yang digunakan dari bahan pvc dengan diameter ½ inchi.

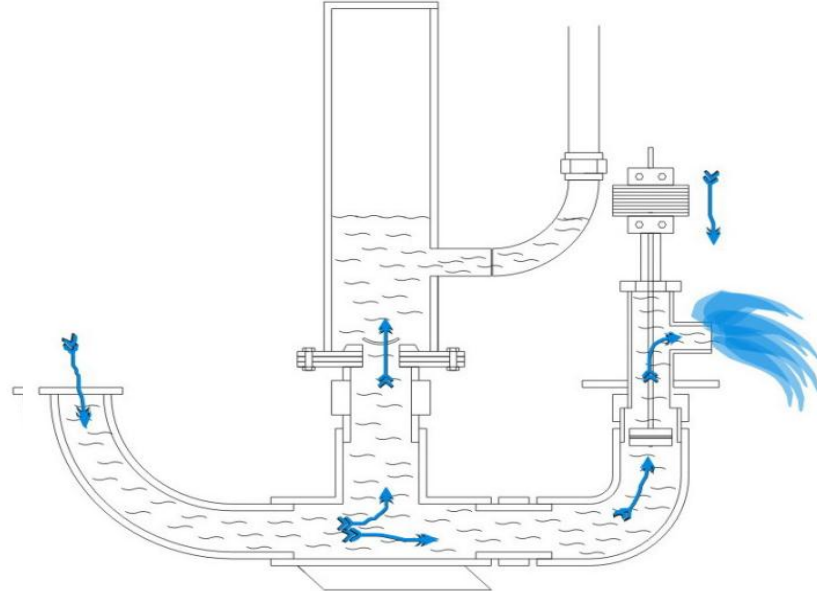
2.4. Prinsip Kerja Pompa Hidram

Secara umum kerja pompa hidram merupakan proses perubahan energi kinetik ‘gaya tekan’ air menjadi tekanan dinamik yang menimbulkan pukulan air (*water hammer*) dan menghasilkan tekanan air yang lebih tinggi. Perubahan tekanan ini mengakibatkan katup – katup pompa *hydram* terbuka dan tertutup.

1. Siklus 1 Pompa Hidram

Pada posisi awal, katub limbah dalam keadaan tertutup karena adanya tekanan air yang masuk melalui pipa *suction*. Dan katub hantar dalam keadaan tertutup karena adanya magnet yang terpasang diantara batang

penekan katub dan desakan air yang termampatkan oleh udara pada tabung udara.



Gambar 2.2 Siklus 1 Pompa Hidram

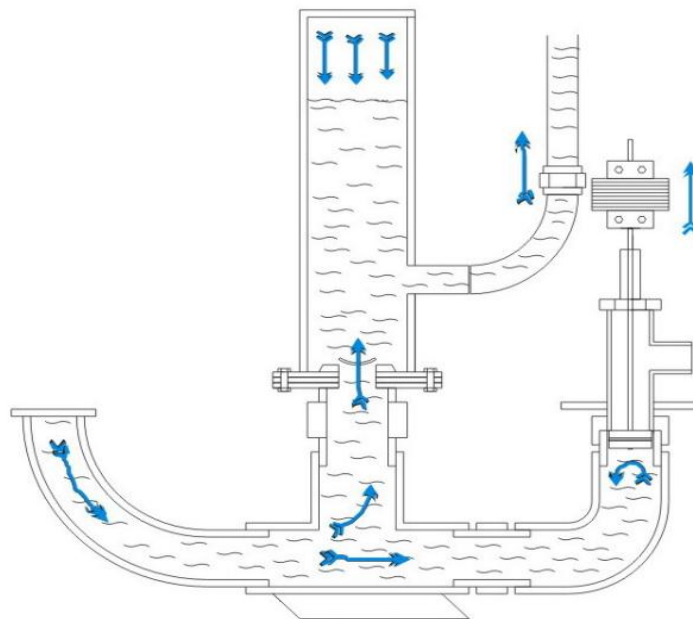
2. Siklus 2 Pompa Hidram

Gaya tekan air pada badan pompa bertambah, kemudian air akan mendesak katup hantar sehingga katup akan terbuka karena dayanya lebih kecil dari gaya tekan sumur artesis, air akan masuk kedalam tabung udara sehingga tekanan atau daya tekan udara pada tabung udara akan naik.

3. Siklus 3 Pompa Hidram

Pemberat pada katub limbah (*waste valve*) mengakibatkan katub limbah terbuka atau meletup, tekanan air berkurang pada badan pompa karena sebagian keluar melalui katup limbah. Daya tekan udara pada tabung udara yang naik mengakibatkan air memiliki daya tekan sehingga dapat menutup katub hantar. Secara bersamaan air yang bertekanan tersebut

akan terdesak dan mengalir dari tekanan tinggi menuju tekanan yang lebih rendah melalui pipa *discharge*. Maka air keluar melalui pipa *discharge* untuk ditampung pada penampung yang lebih tinggi kemudian air didistribusikan Pada pipa *discharge* dipasang *pressure gauge* untuk memantau tekanan air yang dihasilkan.



Gambar 2.3 Siklus 2 - 3 Pompa Hidram

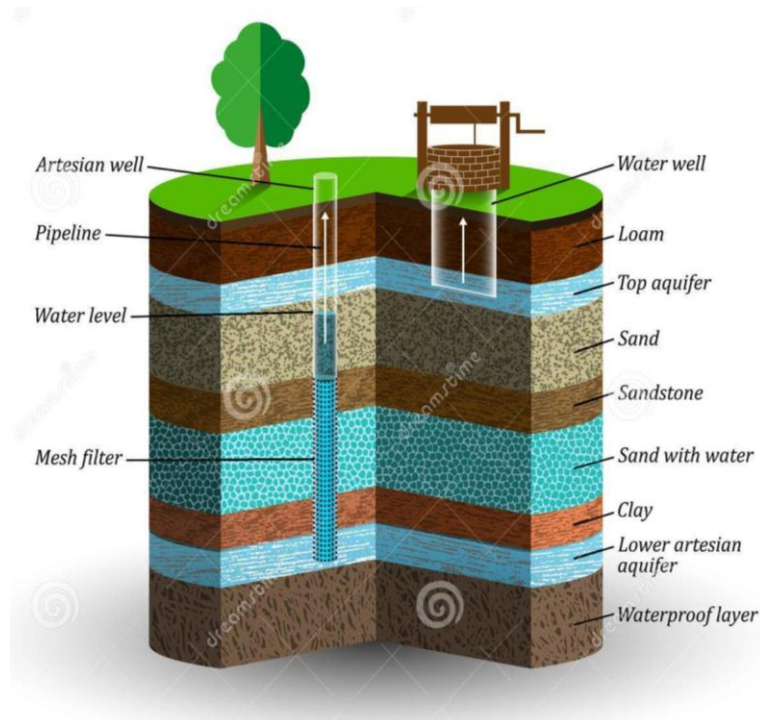
Proses tersebut akan berkelanjutan (*continuu*) selama tidak ada kebocoran pada instalasi pemipaan dan tekanan air pada sumur artesis tidak berkurang. Apabila keadaan nyata perbandingan panjang dan diameter pipa suction ($L/d < 150$), maka diberi pemberat di katub limbah (*waste valve*) dengan cara *trial and error*, mengingat tekanan sumur artesis yang akan berubah sewaktu – waktu.

2.5. Sumur Bor (Artesis)

Sebuah akuifer artesis adalah sebuah akuifer terbatas berisi air tanah yang akan mengalir ke atas melalui sebuah sumur yang disebut sumur artesis tanpa perlu dipompa. Air dapat mencapai permukaan tanah apabila tekanan alaminya cukup tinggi, dalam hal ini sumur itu disebut sumur artesis mengalir.

Sebuah akuifer adalah satu tingkatan batu halus, seperti batu kapur atau batu pasir yang menyerap air dari sebuah aliran air. Batu berpori-pori terletak di antara batu kedap air atau tanah liat. Ini mengakibatkan tekanan tinggi, sehingga ketika air menemukan jalur keluar, air tersebut melawan gravitasi dan mengalir ke atas daripada ke bawah. Pengisian akuifer terjadi ketika permukaan air di daerah pengisiannya berada pada ketinggian yang lebih tinggi daripada kepala sumur.

Akuifer air fosil juga bisa dianggap artesis bila mengalami tekanan yang cukup dari batu-batu sekitarnya. Hal ini sama dengan banyaknya sumur minyak yang diberi tekanan.



Gambar 2.4 Sumur Artesis

2.5.1. Kelebihan Sumur Artesis

1. Diamater pipa lebih kecil sehingga tidak butuh banyak tempat.
Lebih praktis dan sederhana.
2. Lebih efektif dan efisien, airnya lebih memiliki manfaat dibandingkan air PAM. Kadang air yang berasal dari perusahaan air seperti PDAM tidak cukup memenuhi kebutuhan sehari-hari. Selain itu air PAM airnya juga kadang tidak menentu keluaranya. Bahkan dalam waktu tertentu air dari sebuah perusahaan berbau dan kurang bersih. Hal ini dikarenakan kemungkinan proses penjernihan air yang kurang maksimal.
3. Air yang dihasilkan tidak mudah tercemar.
4. Resiko kecelakaan kerja jauh lebih kecil.

2.5.2. Kelemahan Sumur Artesis

1. Biaya pengeboran lebih mahal.
2. Sumur artesis banyak dikonsumsi perusahaan bukan konsumsi pribadi. Perusahaan yang menggunakan sumur dengan system tersebut biasanya seperti hotel yang memiliki jumlah kamar banyak sekitar 200 kamar. Selain itu usaha lainya yang memakai sumur ini juga digunakan oleh usaha skala besar, pabrik dan laundry skala besar.
3. Berbahaya untuk lingkungan jika pengeboran sumur dalam ini terlalu banyak digunakan oleh masyarakat luas. Hal ini di karenakan sumur yang memiliki tingkat kedalaman yang sangat dalam di atas 200 meter dan air tanahnya juga terlalu banyak diambil untuk konsumsi. Tanah di daerah tersebut dapat menurun ketinggiannya dan penurunan tanah tersebut sangatlah berbahaya bagi kondisi bangunan di daerah perkotaan.
4. Bila konsumsi air tanah yang berlebih dan tidak terkontrol dapat menyebabkan kemiringan pada gedung-gedung. Kemiringan dari gedung-gedung tersebut biasanya berada di sekitar tanah yang airnya di ambil tanpa batas dan tidak terkontrol. Tetapi juga tidak menutup kemungkinan akan berhimbas pada gedung-gedung yang lokasinya jauh dari pengambilan air tanah tersebut.

2.6. Sifat- Sifat Fluida

2.6.1. Dinamika Fluida

Fluida adalah zat yang berubah bentuk secara terus menerus (*continuu*) apabila terkena tegangan geser, meskipun tegangan kecil.

Berikut parameter yang berpengaruh dalam aliran fluida:

- Kekasaran internal bagian dalam pipa serta diameter, panjang dan faktor bentuk.
- Kecepatan aliran (V).
- Massa jenis fluida (ρ).
- Sifat mekanis fluida, aliran laminar, aliran transisi, aliran turbulen
- Viskositas fluida (μ).
- Laju aliran massa.
- Bilangan *Reynolds* cairan, Pelat *orifice*, tabung venturi dan nozel.

2.7. Aliran *Viscous* dan *Inviscid*

Aliran kental menyebabkan kehilangan energi (dan kemudian naiknya suhu) tetapi cairan ideal memiliki aliran *nonviscous* tanpa kehilangan energi.

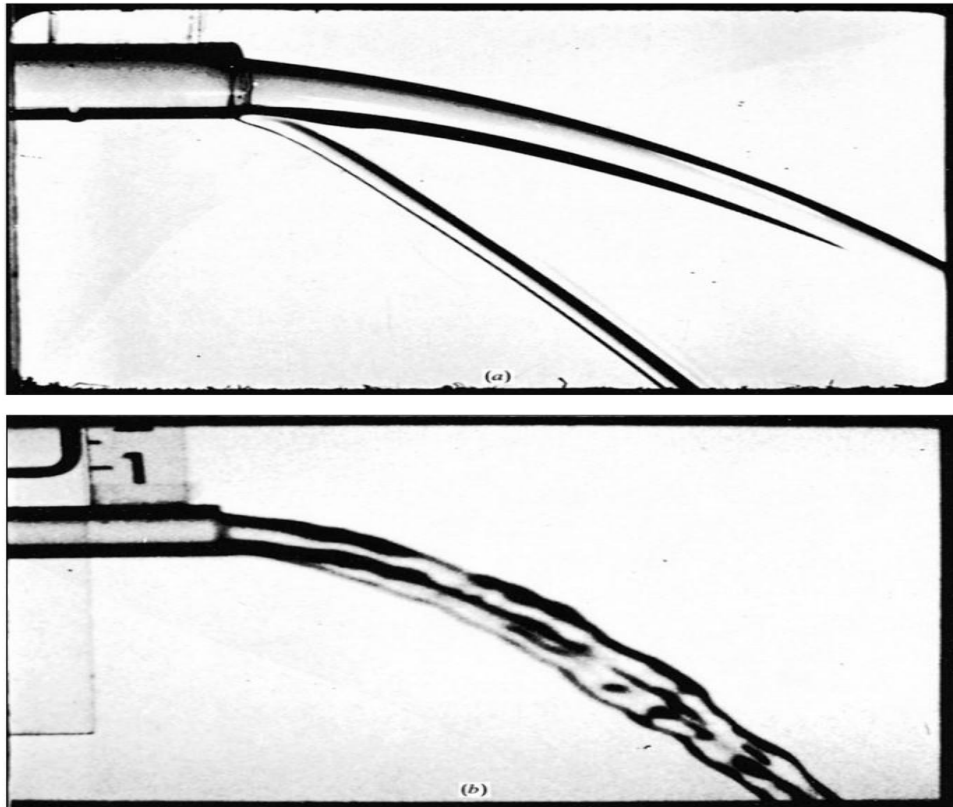
Aliran viscous adalah aliran fluida dimana kecepatan fluida tepat di atas suatu permukaan padat yang bergerak adalah nol atau tidak terjadi slip pada bidang yang dialirinya sampai pada ketebalan tertentu dari permukaan mengalirnya terjadi gradasi kecepatan sampai suatu titik tertentu dimana kecepatan sampai suatu titik tertentu dimana kecepatan disitu sama dengan

kecepatan aliran bebas. Tempat titik – titik yang mempunyai mempunyai kecepatan yang sama dengan kecepatan aliran bebas tersebut *boundary layer*. Untuk aliran *inviscid*, kecepatannya seragam disemua titik karena tidak mempunyai *viscousitas*. Aliran ini sebenarnya tidak pernah ada di dunia namun sering kali permasalahan mekanika fluida dapat diselesaikan dengan mengansumsikan yang bersangkutan adalah *inviscid* dengan hasil analisis yang cukup berarti.

Akibat adanya gradasi kecepatan di dalam *boundary layer* ini menyebabkan terjadinya tegangan geser pada bidang datar. Besarnya tegangan geser yang terjadi ini sebanding dengan laju gradasi kecepatan di dalam *boundary layer* itu sendiri. Aliran kental menyebabkan kehilangan energi (dan kemudian naiknya suhu) tetapi cairan ideal memiliki aliran *nonviscous* tanpa kehilangan energi.

2.8. Aliran Laminer dan Turbulen

Dalam aliran laminar, gerakan partikel sangat seragam / teratur dan menghasilkan garis lurus sejajar dengan dinding kandang dan sangat dapat diprediksi. Dengan aliran turbulen, gerakan acak dapat menghasilkan pusaran dan perilaku kurang dapat diprediksi lainnya. Campuran aliran laminar dan turbulen , yang disebut aliran transisi , terjadi dalam pipa dan selungkup lainnya dengan turbulensi di tengah-tengah kandang, dan aliran laminar di dekat tepi. Lebih banyak cairan kental cenderung memiliki aliran laminar dan bilangan *Reynolds* yang lebih rendah.



Gambar 2.5 Aliran Laminer Dan Turbulen

Aliran laminer adalah aliran dimana struktur alirannya terdiri dari gerakan partikel – partikel yang berlapis – lapis dan teratur. Sedangkan aliran turbulen gerakan partikel –partikel fluidanya dalam bentuk acak, olakan (*random*), tiga dimensi dan saling mengisi pada bagian aliran. Pada aliran laminer tidak terjadi pencampuran makroskopik pada lapisan – lapisan yang berdekatan.

Jenis aliran laminer atau turbulen sangat dipengaruhi oleh properti aliran itu sendiri, misalnya : kecepatan aliran, *density*, *viscousitas*, diameter saluran. Untuk menentukan apakah aliran di dalam pipa adalah laminer atau turbulen dapat ditentukan dengan menggunakan bilangan *Reynold*.

Bilangan *Reynolds* (*Re*) adalah nilai kecepatan tanpa dimensi yang digunakan untuk memprediksi pola aliran. Ini adalah fungsi dari gaya inersia ($\rho u L$), dan kekuatan viskos atau gesekan (μ).

Bilangan *Reynold* dapat dicari menggunakan persamaan berikut:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V D}{\nu} \quad (1)$$

Dimana:

ρ = *Density* (kg / m³)

V = Kecepatan aliran dalam pipa (m / s)

D = Diameter pipa (m)

μ = Viskositas aliran fluida (kg / m.s)

Bila harga $Re < 2300$ maka alirannya adalah laminar

$Re > 2300$ maka alirannya adalah turbulen

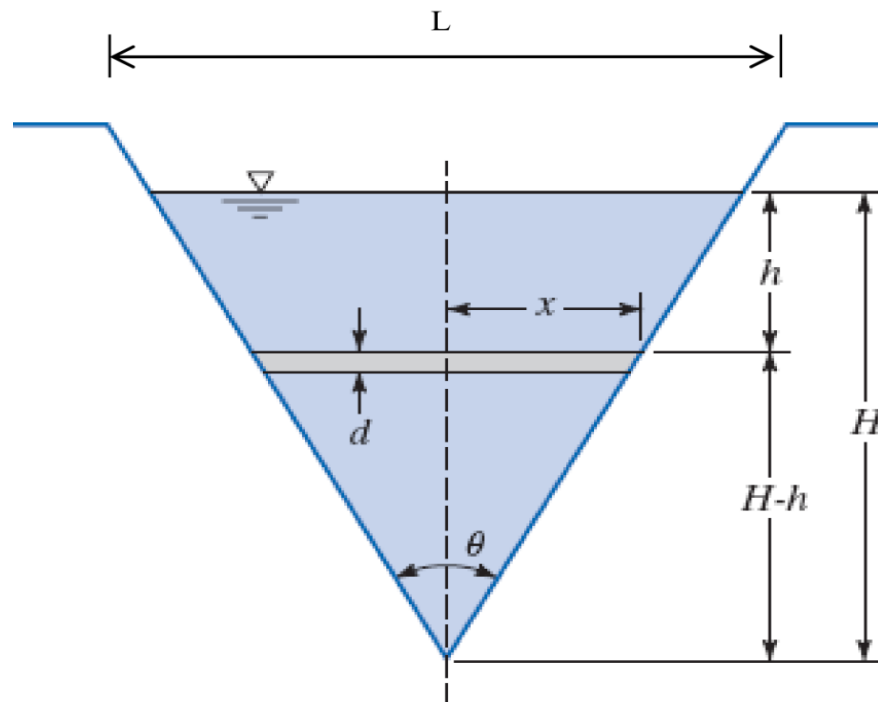
Dalam aliran laminar, gerakan partikel sangat seragam / teratur dan menghasilkan garis lurus sejajar dengan dinding kandang dan sangat dapat diprediksi. Dengan aliran turbulen, gerakan acak dapat menghasilkan pusaran dan perilaku kurang dapat diprediksi lainnya. Campuran aliran laminar dan turbulen , yang disebut aliran transisi , terjadi dalam pipa dan selungkup lainnya dengan turbulensi di tengah-tengah kandang, dan aliran laminar di dekat tepi. Lebih banyak cairan kental cenderung memiliki aliran laminar dan bilangan *Reynolds* yang lebih rendah.

2.9. Aliran *Compressible* dan *Incompressible*

Aliran *incompressible* adalah aliran dimana perubahan densitasnya sepanjang medan aliran relatif kecil. Bila perubahan densitasnya besar maka alirannya disebut *compressible*.

2.10. Kapasitas Aliran

Untuk menganalisa besarnya kapasitas aliran dengan *V – Notch* bisa menggunakan persamaan *Bernouli*.



Gambar 2.6 V – Notch

Dimana :

H = Tinggi cairan di atas puncak takikan

θ = Sudut takik

L = Lebar takik

Bendung triangular atau V - *Notch* adalah bendung tajam yang digunakan secara relatif arus kecil tetapi memiliki keuntungan bahwa mereka juga dapat berfungsi secara wajar arus besar juga.

$$Q = \frac{8}{15} Cd \sqrt{2g} \cdot \tan \frac{\theta}{2} H^{5/2} \quad (2)$$

Dimana :

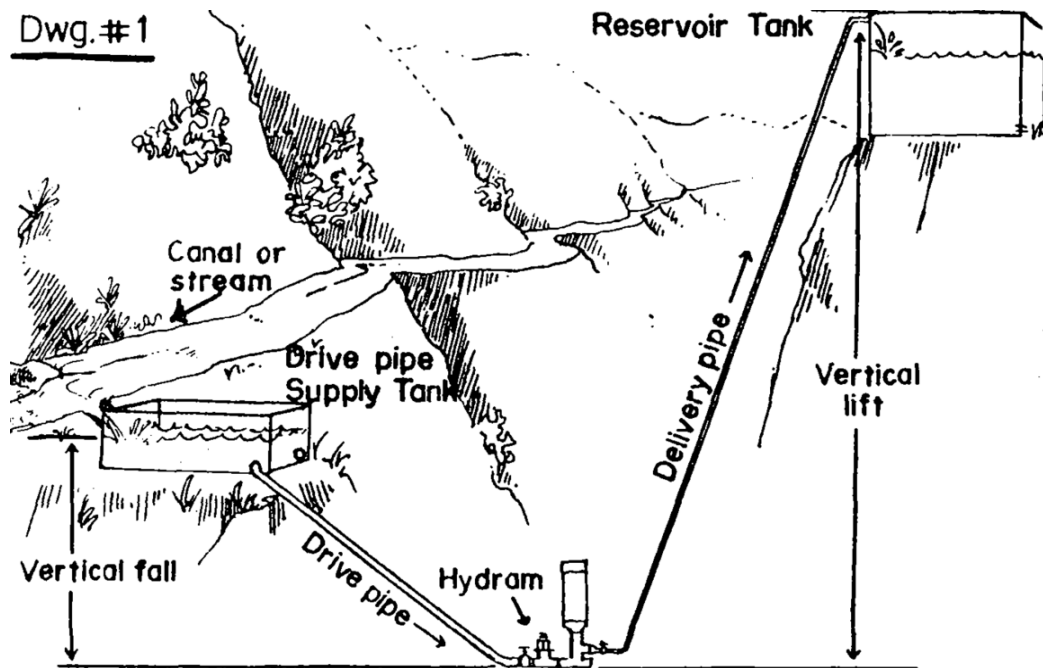
H = Ketinggian V - *Notch*

θ = Sudut teta dari V - *Notch*

g = Percepatan gravitasi

Cd = Koefisien V - *Notch*

= 0.58 (Nilai minimum untuk debit yang sangat kecil)



Gambar 2.7 Skema Pompa Hidram

Kapasitas Aliran Masuk Dapat dicari dengan rumus berikut:

$$Q(\text{intake})\text{Flow} = \frac{\text{Vertical Lift} \times (\text{output } Q)}{\text{Vertical Fall} \times 0.6} \quad (3)$$

2.11. Kecepatan Didalam Pipa

Besarnya kecepatan aliran dalam pipa tekan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{4}{\pi} \frac{Q}{D^2} \quad (4)$$

Dimana :

V = Kecepatan aliran pipa (m/s)

Q = Kapasitas pompa (m³/s)

A = Luas penampang pipa (m²)

D = Diameter pipa (m)

2.12. Head Loss Aliran Didalam Pompa

Head loss aliran dalam pompa secara umum terbagi dua yaitu *major losses* dan *minor losses*. Jika keduanya dijumlahkan diperoleh harga total *losses*

1. *Major Losses*

Major losses dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu bahan pipa, kekerasan pipa, diameter dan panjang pipa serta kecepatan aliran fluida. *Major losses* dapat dinyatakan sebagai hilangnya tekanan untuk aliran yang sepenuhnya dikembangkan melalui pipa horizontal area konstan. Karena head loss merupakan energi yang dikonversi oleh efek gesekan dari mekanik untuk energi termal, head *loss* untuk aliran yang dikembangkan sepenuhnya dalam area konstan saluran hanya bergantung pada rincian aliran melalui saluran.

- *Laminer Flow*

Dalam aliran laminar, dapat di melihat bahwa penurunan tekanan dapat dihitung untuk aliran sepenuhnya dikembangkan dalam pipa horizontal dengan persamaan berikut:

$$f_{Laminer} = \frac{64}{Re} \quad (5)$$

$$Hl = \left(\frac{64}{Re}\right) \frac{L}{D} \frac{V^2}{2} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (6)$$

Dimana :

h_l = Major losses (m)

f = Koefisien gesek (m)

L = Panjang pipa (m)

D = Diameter pipa (m)

μ = Viskositas absolut fluida (kg m/s)

V^2 = Kecepatan aliran dalam pipa (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

Selanjutnya, untuk aliran yang laminar dan yang turbulen terdapat rumus yang berbeda. Sebagai patokan apakah suatu aliran itu laminar atau turbulen, dipakai bilangan Reynold.

Pada $Re < 2300$, aliran bersifat laminar.

Pada $Re > 4000$, aliran bersifat turbulen.

Pada $Re = 2300 - 4000$, terdapat daerah transisi, aliran dapat bersifat laminar atau turbulen tergantung pada kondisi pipa dan aliran.

2. Minor Losses

Minor losses adalah kerugian energi yang disebabkan karena adanya belokan pipa (*elbow*), pembesaran atau pengecilan penampang pipa, sambungan dan juga karena adanya saringan atau katup.

$$H_{lm} = K \frac{V^2}{2} = f \frac{L_e}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (7)$$

h_{lm} = Minor losses (*m*)

K = Koefisien kerugian

f = Koefisien gesek (*m*)

L_e = Panjang pipa lurus yang setara (*m*)

V^2 = Kecepatan aliran dalam pipa (*m / s*)

g = Percepatan gravitasi (*m / s²*)

Harga koefisien gesek dapat diperoleh secara rinci dengan cara sebagai berikut :

- Kerugian Pada Belokan Pipa

Harga f untuk kerugian pada belokan pipa dapat ditunjukkan pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.1 Koefisien Kerugian Pada 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	0,044	0,062	0,154	0,165	0,320	0,684	1,265

Sumber : Dari Pompa Dan Kompresor, Pemilihan, Pemakaian Dan Pemeliharaan

Tabel 2.15, Halaman 34

- Nilai K untuk pengecilan Saluran

$$K = 0,42 \left(1 - \frac{d^2}{D^2} \right) \quad (8)$$

d = Diamater pipa kecil (m)

D = Diamater pipa Besar (m)

Total head loses dapat dicari dengan menjumlahkan harga *head loses major* dan *head loses minor* menggunakan rumus berikut ini

$$Hl_{Tot} = Hl + Hlm \quad (9)$$

Dimana:

$h_{l_{tot}}$ = *Head loses total* (m)

h_l = *Major loses* (m)

h_{lm} = *Minor loses* (m)

2.12. Kavitasi

Kavitasi adalah suatu gejala menguapnya zat cair yang sedang mengalir, karena tekanannya berkurang sampai dibawah tekanan uap jenuhnya. Misalnya, air pada tekanan 1 atmosfer akan mendidih dan menjadi uap jenuh pada temperatur 100°C. Tetapi jika tekanan direndahkan maka air akan mendidih pada temperatur yang lebih rendah. Jika tekanannya cukup rendah maka pada temperatur kamarpun air dapat mendidih. Apabila zat cair mendidih, maka akan timbul gelembung-gelembung uap zat cair. Hal ini dapat terjadi pada zat cair yang sedang mengalir di dalam pompa atau di dalam pipa, zat yang sedang mengalir melaluinya dapat mendidih dan menimbulkan uap air, hal ini karena

tekanan zat cair tersebut berkurang. Karena timbul gelembung – gelembung uap maka pada pompa akan mengalami kavitasi yang dapat menyebabkan suara berisik dan getaran, selain itu performa pompa akan menurun. Kavitasi akan timbul bila tekanan isap terlalu rendah.

Apabila pompa dioperasikan dengan terus menerus dalam keadaan kavitasi dalam jangka waktu yang lama, maka pada dindingnya menjadi berlubang, peristiwa ini disebut erosi kavitasi sebagai akibat dari tumbukan gelembung – gelembung uap yang pecah. Daerah yang rawan terjadi kavitasi adalah pada tempat – tempat yang bertekanan rendah dan atau berkecepatan tinggi di dalam aliran. Karena kavitasi merupakan hal yang merusak, maka perlu ada pencegahan dengan cara sebagai berikut:

Ketinggian letak pompa terhadap permukaan zat cair yang dihisap harus dibuat serendah mungkin. Pipa hisap dibuat serendah mungkin, dan jika terpaksa dipakai pipa hisap yang panjang. Sebaiknya dipakai pipa yang lebih berdiameter satu nomor lebih besar dari diameter semula.

2.13. *Head System*

Head sistem adalah *head* yang disebabkan oleh beda ketinggian statis dan *head loss* total sehingga:

$$H_s = H_{lt} + H_z \quad (10)$$

H_s = *Head* sistem (m)

H_{lt} = *Head loss* total (m)

H_z = Perbedaan tinggi air pada pipa *suction* dan pipa *discharge* (m)

2.14. Netto Positif Suction Head (NPSH)

NPSH dipakai sebagai ukuran keamanan pompa terhadap kavitasi. Kavitasi akan terjadi bila tekanan statis suatu aliran zat cair turun sampai dibawah tekanan uap jenuhnya. Terdapat dua macam NPSH, yaitu NPSH yang tersedia pada sistem (instalasi) dan NPSH yang diperlukan dalam pompa.

2.14.1. NPSH Yang Tersedia Pada Sistem

NPSH yang tersedia pada sistem adalah *head* yang dimiliki oleh zat cair pada sisi hisap pompa dikurangi dengan tekanan uap jenuh zat cair ditempat tersebut. Secara umum besarnya NPSH yang tersedia pada instalasi dapat ditentukan menggunakan persamaan:

$$H_{SV} = \frac{(P_a - P_v)}{\gamma} \pm H_s - H_{LS} \quad (11)$$

h_{sv} = NPSH yang tersedia (m)

P_a = Tekanan atmosfer ($\frac{N}{m^2}$)

P_v = Tekanan uap jenuh (N/m^2)

γ = Berat jenis zat cair per satuan volume (N/m^2)

h_s = *Head* hisap statis (m)

(+) jika pompa terletak diatas permukaan zat cair yang dihisap

(-) jika pompa terletak dibawah permukaan zat cair yang dihisap

2.15. Head Pompa

Head pompa dapat kita cari dengan persamaan dibawah ini:

$$H_p = \left(\frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + z \right)_D + \left(\frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + z \right)_S \quad (12)$$

H_p = Head Pompa (m)

P = Tekanan (N/m²)

z = Head (m)

V = Kecepatan (m/s)

2.16. Daya Fluida

Energi yang secara efektif diterima oleh air dari pompa per satuan waktu disebut daya air dapat dihitung dengan rumus:

$$P = \rho Q g H \quad (13)$$

$$P = \rho Q g H_p \quad (14)$$

P = Daya Fluida (W)

ρ = Densitas air (Kg/m³)

g = Percepatan grafitasi (m/s²)

H = Head (m)

H_p = Head Pump (m)

Q = Kapasitas air (m³/s)

2.17. Efisiensi

Efisiensi volumetris pompa hkidram menurut *D' Aubuisson* sebagai berikut:

$$\eta_V = \frac{Q_d \cdot h}{(Q_d + Q_{Limbah}) \cdot H} \times 100\% \quad (15)$$

η = Effisiensi pompa hidram (%)

Q_d = Kapasitas aktual pompa (m³/s)

Q_L = Kapasitas air yang terbuang dari katup limbah (m³/s)

H = Tinggi permukaan air pada artesis ke pompa hidram (m)

h = Tinggi permukaan air pada reservoir *discharge* (m)

Effisiensi pompa sendiri adalah perbandingan antara daya fluida yang dikeluarkan pompa dibagi dengan daya fluida yang masuk ke pompa.

Effisiensi pompa dapat dicari dengan rumus berikut:

$$\eta = \frac{P_{owD}}{P_{owS}} = \frac{\rho Q g H_D}{\rho Q g H_S} = \frac{Q_D}{Q_S} \times \frac{H_D}{H_S} = Q^* \cdot H^* \quad (16)$$

Dimana : H^* adalah head rasio dan Q^* adalah rasio kapasitas

$$H^* = \frac{H_D}{H_S} \quad (17)$$

$$Q^* = \frac{Q_D}{Q_S} \approx 1 - \frac{Q_W}{Q_S} \quad (18)$$

Q_w = Kapasitas aliran limbah (m³/s)

Q_D = Kapasitas aliran *discharge* (m³/s)

Q_S = Kapasitas aliran *suction* (m³/s)

H_D = Head *discharge* (m)

H_S = Head *suction* (m)