

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Sejarah Pompa Hidram

Pompa merupakan salah satu jenis alat yang berfungsi untuk memindahkan zat cair dari suatu tempat ke tempat yang diinginkan. Zat cair tersebut contohnya adalah air, oli serta fluida lainnya yang tak mampu mampat. Pompa hidram atau singkatan dari *hydraulic ram* yang berasal dari *hydram*(air) dan *ram* (hantaman atau pukulan) sehingga dapat diartikan dalam menjadi pukulan air, pompa hidram adalah pompa yang bekerja tanpa menggunakan energi listrik namun dengan memanfaatkan energi dari aliran air untuk mengangkat sebagian air dari suatu sumber ke tempat penampungan air yang tempatnya lebih tinggi (Jenning 1996). Energi aliran air yang dimaksud adalah energi potensial dari ketinggian tertentu yang dikonversikan menjadi energi kinetik yang berupa kecepatan air kemudian dikuatkan dengan terjadinya efek palu air atau *water hammer*. Bagian kunci dari Hidram adalah dua buah klep, yaitu: klep pembuangan dan klep penghisap. Air masuk dari terjunan melalui pipa A, klep pembuangan terbuka sedangkan klep penghisap tertutup. Air yang masuk memenuhi rumah pompa mendorong ke atas klep pembuangan hingga menutup. Dengan tertutupnya klep pembuangan mengakibatkan seluruh dorongan air menekan dan membuka klep penghisap dan air masuk memenuhi ruang dalam tabung kompresi di atas klep penghisap. Pada volume tertentu pengisian air dalam tabung kompresi optimal, massa air dan udara dalam tabung kompresi akan menekan klep penghisap untuk menutup kembali, pada saat yang bersamaan sebagian air keluar melalui pipa B. Dengan tertutupnya kedua klep, maka aliran air dalam rumah pompa berbalik berlawanan dengan aliran air masuk, diikuti dengan turunnya klep pembuangan

karena arah tekanan air tidak lagi ke klep pembuangan tetapi berbalik ke arah pipa input A. Di sinilah Hantaman -ram- palu air (*water hammer*) itu terjadi, dimana air dengan tenaga gravitasi dari terjunan menghantam arus balik tadi, 2/3 debit keluar lubang pembuangan, sementara yang 1/3 debit mendorong klep penghisap masuk ke dalam tabung pompa sekaligus mendorong air yang ada dalam tabung pompa untuk keluar melalui pipa output B. Energi hantaman yang berulang-ulang mengalirkan air ke tempat yang lebih tinggi.

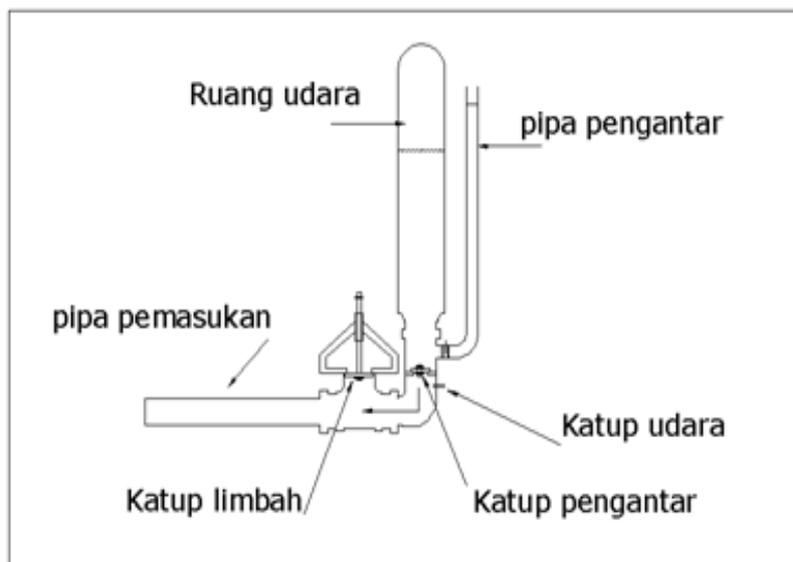
Pompa hidram pertama kali dibuat oleh Jhon Whitehurst seorang peneliti asal Inggris pada tahun 1775. Kesederhanaan dan kemudahan dalam pemeliharaan membuat pompa hidram sukses secara komersial, terutama di Eropa sebelum digunakan secara luas tenaga listrik dan mesin pompa . Pompa hidram buatan Whitehurst masih berupa hidram manual, dimana akatub limbah masih digerakkan manual. Pompa ini pertama kali digunakan untuk menaikkan air sampai ketinggian 4,9 m (16 kaki). Pada tahun 1783, whitehurst memasang pompa sejenis ini di Irlandia untuk keperluan air bersih sehari – hari. Pompa hidram otomatis pertama kali dibuat oleh seorang ilmuwan Perancis bernama Joseph Michel Montgolfier pada tahun 1796. Desain pompa buatan Montgolfier sudah menggunakan 2 buah katub (*waste valve* dan *delivery valve*) yang bergerak secara bergantian. Pompa ini kemudian digunakan untuk menaikkan air untuk sebuah pabrik kertas di daerah Voiron. Satu tahun kemudian, Matus Boulton, memperoleh hak paten atas pompa tersebut di Inggris. Pada tahun 1820, melalui Easton's firma yang mengkhususkan usahanya dibidang air dan sistem drainase Josiah Easton mengembangkan *hydram* hingga menjadi usaha ram terbaik dalam penyediaan air bersih untuk keperluan rumah tangga, peternakan dan masyarakat desa. Pada tahun 1929 usaha Easton ini dibeli oleh Green and Carter yang kemudian meneruskan manufaktur *ram* tersebut.

J. J. Carneau dan S.S. Hallet mematenkan penemuan pompa *hydramnya* di amerika serikat pada tahun 1890. Pada tahun 1840, pemerintah amerika tertarik untuk menggunakan *hydram*, sehingga *hydram* menjadi semakin dikenal, dan pada tahun-tahun berikutnya *hydram* mulai diproduksi secara massal dan dijual bebas. Menjelang akhir abad ke -19 ketertarikan pada pompa hidram mulai menurun karena ditemukannya pompa elektrik. Di Amerika pompa hidram terbesar pernah dibuat dengan diameter 30 mm mampu mamompa 1700 liter/menit sampai ketinggian 43 meter. Namun karena perkembangan teknologi yang pesat dan meningkatnya ketergantungan pada bahan bakar fosil, maka pompa hidram diabaikan. Akir-akhir ini meningkatnya perhatian pada peralatan-peralatan untuk energi terbarukan dan kesadaran kebutuhan teknologi di negara berkembang, pompa hidram mulai dipakai kembali. Di awal abad ke 20 ini ketertarikan pada pompa *hidram* ini muncul kembali dengan adanya isu-isu mengenai penghematan energi dan pengembangan teknologi ramah lingkungan. Contoh menarik adalah pengembang pompa hidram yang baik adalah AID *Foundation* di filiphina yang berhasil memperoleh Ashden Award karena mengembangkan Pompa *hidram* dan digunakan untuk desa-desa terpencil. Pompa air pertama kali ditemukan oleh seorang ilmuwan bernama Al-Jazari pada abad ke-12 di Mesopotamia. Tahun 1174, Al-Jazari bekerja sebagai teknisi ahli untuk Dinasti Bani Artuq, yang ketika itu menjadi penguasa wilayah Mesopotamia. Al-Jazari merupakan ilmuwan yang sangat berprestasi di Mesopotamia, bahkan berkat berbagai keahlian yang dimilikinya, ia mendapat beberapa gelar, seperti Rais al-A'mal yang menunjukkan dirinya adalah pemimpin insinyur pada masa Dinasti Bani Artuq. Kondisi geografis Mesopotamia yang kering dan tandus dengan kapasitas curah hujan yang kecil terkadang menyulitkan masyarakat untuk mendapatkan air. Walaupun di sana mengalir sungai yang cukup besar, namun tidak mudah dicapai oleh masyarakat

yang tinggal jauh dari sana. Hal tersebut memicu Al-Jazari untuk membuat sebuah mesin yang dapat mengalirkan air dari sungai ke pemukiman warga yang cukup jauh. Masyarakat Mesopotamia ketika itu sebenarnya sudah mengenal peralatan seperti pompa air yang disebut dengan shaduf dan shaqiya. Alat tersebut banyak digunakan oleh masyarakat peradaban Assyria dan Mesir Kuno. Shaduf terdiri dari balok panjang yang ditopang dengan dua pilar kayu. Sementara shaqiya merupakan sebuah mesin bertenaga hewan yang bergerak dengan menggunakan dua roda gigi. Al-Jazari kemudian berhasil mengembangkan kedua alat tersebut menjadi sebuah mesin yang dapat memasok air dalam jumlah banyak. Ia pun berhasil memaksimalkan penggunaan balok kayu dan tenaga binatang yang dipakai untuk menggerakkan dua alat sebelumnya. Cara kerja mesin buatannya menggunakan roda gigi yang dapat menggerakkan balok naik turun secara teratur. Pembuatan mesin ini mengombinasikan bahan-bahan yang terbuat dari besi, yang dihubungkan dengan baut. Perputaran roda mesin sebelumnya harus digerakan oleh tenaga manusia secara manual. Tetapi berkat kemampuan Al-Jazari, roda mesin dapat berputar terus menerus secara konstan. Penemuannya itu dianggap sebagai penemuan penting dalam peralatan mekanik oleh ilmuwan-ilmuwan dunia barat, karena metodenya tersebut menjadi dasar pembuatan mesin-mesin modern. Di Eropa sendiri, penemuan mesin semacam ini baru terjadi pada abad ke-15. Al-Jazari berhasil menyelesaikan 50 lebih penemuan di bidang mekanika. Untuk menjelaskan hasil-hasil karyanya itu, pada 1206, ia membuat sebuah buku yang berjudul *al-Jami Bain al-Ilm Wal 'Aml al-Nafi Fi Sinat 'at al-Hiyal*. Buku tersebut berisikan teori dan praktik dari metode-metode mekanika yang pernah dibuat oleh Al-Jazira.

2.2 Komponen Utama Pompa *Hidram*

Pompa *hydram* terdiri dari beberapa komponen utama yang membentuk suatu sistem. Komponen pompa hidram adalah alat inti dalam pompa tersebut sehingga tidak bisa di ubah-ubah atau diganti yang tidak termasuk dikomponen pompa hidram tersebut, komponen tersebut terbagi menjadi beberapa bagian, di bawah akan saya gambarkan jenis-jenis komponen pompa hidram dan fungsinya sebagai berikut :



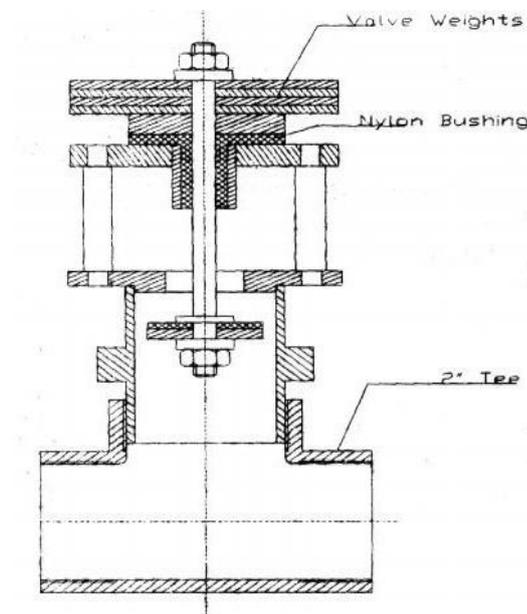
Gambar 2.1 : Instalasi Pompa Hidram

Keterangan :

A. Katup Limbah (waste valve)

Katub Limbah merupakan salah satu bagian penting dari pompa hidram, dan harus dirancang dengan baik sehingga berat dan gerakanya dapat disesuaikan. Katup limbah dengan tegangan yang berat dan jarak antara lubang katup dengan karet katup cukup jauh, memungkinkan kecepatan aliran air dalam pipa pemasukan lebih besar, sehingga pada saat katup buang menutup terjadi energi tekanan yang besar dan menimbulkan efek palu air (water hammer effect).

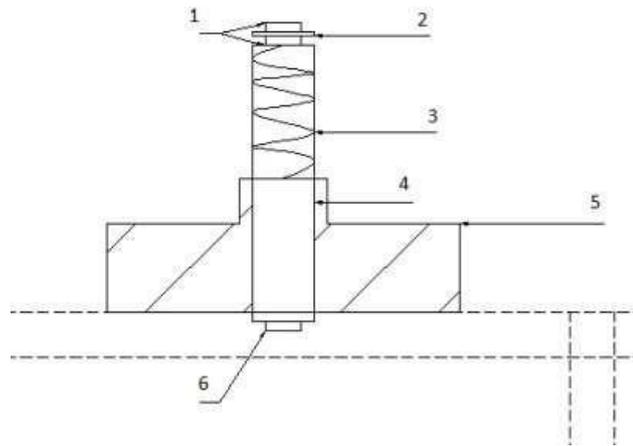
Katup limbah yang ringan dan gerakannya pendek akan memberikan pukulan atau denyutan yang lebih cepat dan menyebabkan hasil pemompaan lebih besar pada tinggi pemompaan rendah. Penelitian mengenai bentuk dari katup buang masih kurang, tetapi pada saat ini jenis katup kerdam sederhana kelihatanya bekerja cukup baik. Beberapa model hidram komersil telah menggunakan jenis katup kerdam yang dilengkapi dengan per tetapi belum diketahui apakah hal tersebut dapat meningkatkan efisiensi ram, yang jelas jenis ini menghindari pemakaian “sliding bearing” yang harus diganti apabila aus.



Gambar 2.2 : Katub limbah dan komponen yang menyusunnya

B. Katup Pengantar (*Delivery Valve*)

Katup pengantar harus mempunyai lubang yang besar, sehingga memungkinkan air yang dipompa memasuki ruang udara tanpa hambatan pada aliran. Katup ini dapat dibuat dengan bentuk yang sederhana yang dinamakan katup searah(*non return*).



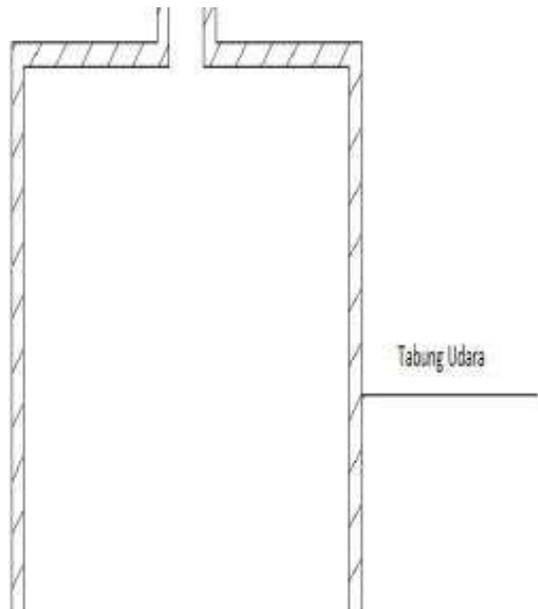
Gambar 2.3 Katub Penghantar Dan Bagian-bagiannya

Keterangan gambar :

1. Mur penjepit atas
2. Ring Atas
3. Pegas katub hisap
4. As katup hisab
5. Mur penjepit bawah

C. Ruang Udara (*Air Chamber*)

Ruang udara harus dibuat sebear mungkin untuk memanfaatkan udara dan menahan tegangan tekanan (*pressure pulse*) dari siklus ram, memungkinkan aliran air secara tetap melalui pipa pengantar dan kehilangan tenaga karena gesekan diperkecil. Jika ruang udara penuh air, ram akan bergetar keras dan dapat mengakibatkan ruang udara pecah. Jika hal ini terjadi ram harus dihentikan segera.



Gambar 2.4 Ruang Udara

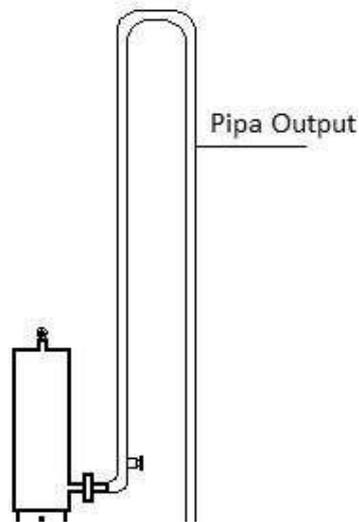
D. Katup Udara (*Air Valve*)

Udara yang tersimpan dalam ruang udara diisap perlahan-lahan oleh turbulensi air yang masuk melalui katup pengantar dan hilang ke dalam pipa pengantar. Udara ini harus diganti dengan udara baru melalui katup udara. Katup udara harus disesuaikan, sehingga mengeluarkan semprot-an air yang kecil setiap terjadinya denyutan kompresi.

Jika katup udara terbuka terlalu besar, maka ruang udara terisi dengan udara dan ram akan memompa udara. Jika katup kurang terbuka, sehingga tidak memungkinkan masuknya udara yang cukup maka ram akan bergetar. Keadaan ini harus diperbaiki dengan memperhatikan besar lubang udara.

E. Pipa Pengantar (*Delivery Pipe*)

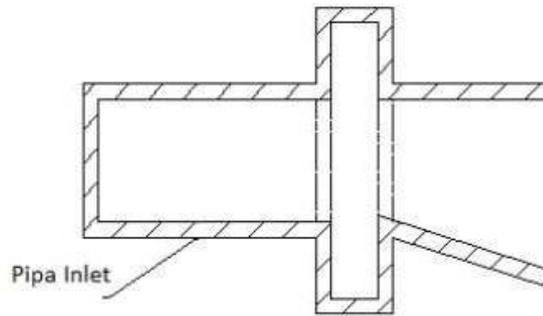
Hidram dapat memompa air pada ketinggian yang cukup tinggi. Dengan menggunakan pipa penghantar yang panjang akan menyebabkan harus mengatasi gesekan antara air dengan dinding pipa. Pipa pengantar dapat dibuat dari bahan apapun termasuk pipa plastik tetapi dengan syarat bahan tersebut dapat menahan tekanan air.



Gambar 2.5 Pipa Pengantar

F. Pipa Pemasukan

Pipa masuk adalah bagian yang sangat penting dari sebuah pompa hidram. Dimensi pipa masuk harus di perhitungkan dengan cermat, karena sebuah pipa masuk harus dapat menahan tekan tinggi yang disebabkan oleh menutupnya katub pembuang secara tiba-tiba.



Gambar 2.6 Pipa Masuk

2.3 Prinsip Kerja Pompa *Hidram*

Prinsip kerja pompa hidram adalah proses perubahan energi kinetis aliran air menjadi tekanan dinamik dengan cara air dari bak penampung sumber air akan dialirkan menuju badan pompa hidram kemudian air terdorong menuju katup pembuangan dan mengakibatkan efek palu air (*water Hammer*) yang mengakibatkan terjadi tekanan pada pompa hidram yang membuat air terdorong balik menuju katup satu arah dan katup terbuka sehingga air masuk memenuhi sebagian tabung udara. Setelah air masuk ke tabung udara maka katup satu arah tertutup kembali dan udara ditabung akan mendesak air untuk masuk melalui pipa keluar dan mampu mengangkat air ke atas. Dengan mengusahakan supaya katub pembuang dan katub air keluar terbuka dan tertutup secara bergantian, maka tekanan dinamik diteruskan sehingga tekanan inesia yang terjadi yang terjadi pada pipa pemasukan memaksa air naik ke pipa penghisab. Adapun gejala dalam palu air yang terjadi dalam pipa dengan kecepatan (V_1) secara tiba-tiba dihentikan kan menyebabkan terhentinya aliran air sehingga kecepatan (V_2) menjadi nol maka timbul gaya “F” sebesar :

$$f = m \times a = m \times \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Karena kecepatan berkurang menjadi nol maka

$$F \cdot m \cdot v$$

Tanda negative berarti arah gaya berlawanan dengan arah aliran. Bila panjang kolom air yang terhenti adalah L dengan luas penampang A dan massa jenis air P , panjang kolom air yang terhenti selama waktu Δt maka :

$$p = \frac{F}{A} + \frac{A \times L \times P \times V}{A \times \Delta t} + \frac{L \times P \times V}{\Delta t}$$

Selanjutnya hitung ukuran dasar ini dengan menggunakan rumus :

Q (output)/hari =

(tinggi jatuh vertikal x aliran sumber ($L/dtk \times 0,6^*$)) / Daya angkat vertikal

Kita dapat memperkirakan jumlah air yang dikeluarkan per hari. Bandingkanlah bilangan ini dengan jumlah air yang dibutuhkan perhari (45 liter per orang per hari dianggap mencukupi untuk pemakaian setempat di desa pegunungan di Indonesia). Jika pengeluaran pompa dihitung terlalu kecil, maka penggunaan sebuah hidram tidaklah menguntungkan. Jika air tersedia dengan cukup, maka hitunglah kebutuhan air desa yang bersangkutan dengan memperhitungkan penggunaan air setempat, pemakaian air oleh ternak, dan walaupun ada pemakaian air untuk Irigasi pada skala yang kecil untuk pohon-pohon buah dan kebun sayuran.

Jadikanlah angka yang dihasilkan tersebut jumlah air yang diinginkan dan kemudian hitunglah aliran pemasukan yang dibutuhkan dengan rumus sebagai berikut :

Q(alliran pemasukan =

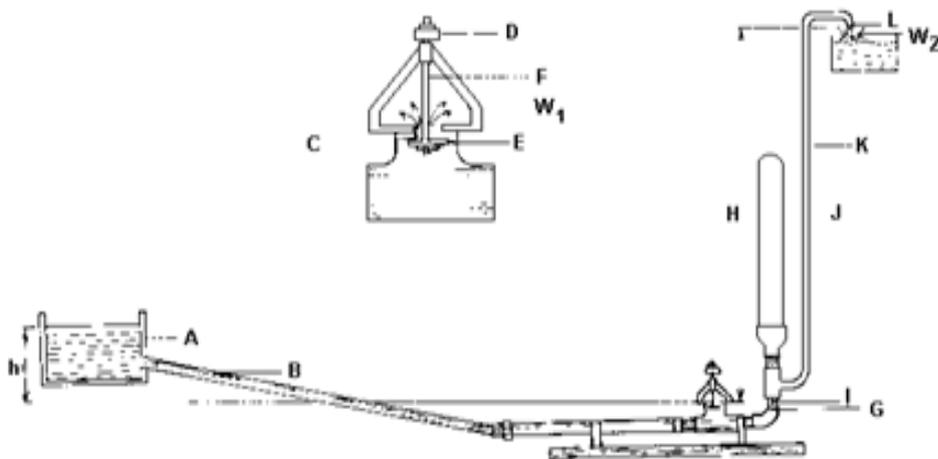
(daya angkat vertikal x Q (pengeluaran) / Tinggi jatuh vertikal X 0,6

Dengan memperbesar tinggi jatuh vertikal, pengeluaran akan bertambah besar secara proporsional. Salah satu cara untuk memperbesar tinggi jatuh vertikal jika terlalu pendek, adalah dengan cara mengalirkan air dari sumber melalui pipa (atau saluran) ke sebuah tempat yang lebih rendah dari pada perbedaan ketinggian dengan pompa lebih besar. Untuk pipa pemasukan pertama dapat dipergunakan pipa HDP (*High Density Polythylene*), tetapi pipa yang berhubungan dengan pompa haruslah pipa GI (*Galvanized Iron* = besi yang digalvanisir) atau pipa baja. Sambungan kedua pipa itu dapat merupakan pipa berdiri (*stand pipe*) yang terbuka, jika pipa HDP yang bersangkutan lebih besar satu ukuran dari pipa pemasukan, atau dapat dibuat sebuah tangki kecil yang mempunyai pipa pemasukan, pengeluaran, pembuangan dan pelimpah.

Tangki perantara ini sangat berguna khususnya jika air mengandung banyak bahan endapan. Kegunaan sebuah pipa berdiri yang terbuka atau sebuah tangki pelimpahan adalah untuk menjamin bahwa sama sekali tidak terdapat udara dalam pipa pemasukan. Penggunaan pipa berdiri yang terbuka adalah terutama untuk instalasi-instalasi di mana tangki pemasukan dan lokasi hidram dibatasi oleh topografi disekitarnya, yang dapat mencegah dibuatnya pipa pemasukan yang lurus atau diperlukannya pipa pemasukan yang terlalu panjang atau tidak cukup curam. Pada penggunaan pipa berdiri yang terbuka panjang dan sudut pipanya pemasukan ditentukan oleh lokasi pipa berdiri tersebut.

Tangki pemasukan akan bervariasi sesuai dengan tempatnya, tetapi terdapat perbedaan-perbedaan dasar menurut sifat sumber air yang bersangkutan. Mata air, sungai-sungai, saluran-saluran, sistem air gravitasi yang berpipa, dan sumber-sumber air

artesis masing-masing memiliki tuntutannya sendiri. Teknik-teknik dan disain tangki pemasukan dan cara konstruksinya dapat ditemukan dalam buku-buku lain, namun beberapa perinsip dasar harus diingat. Jika sumber air akan dipakai untuk air minum maka pencemaran harus dihindarkan. Disain sumber saluran dan sungai harus memperhitungkan masalah pengairan, pusanan air dan erosi. Karena air umumnya mengandung bahan endapan sebaiknya tangki perantara ini mempunyai saluran pembuangan, hal ini juga memudahkan pemeliharanya.

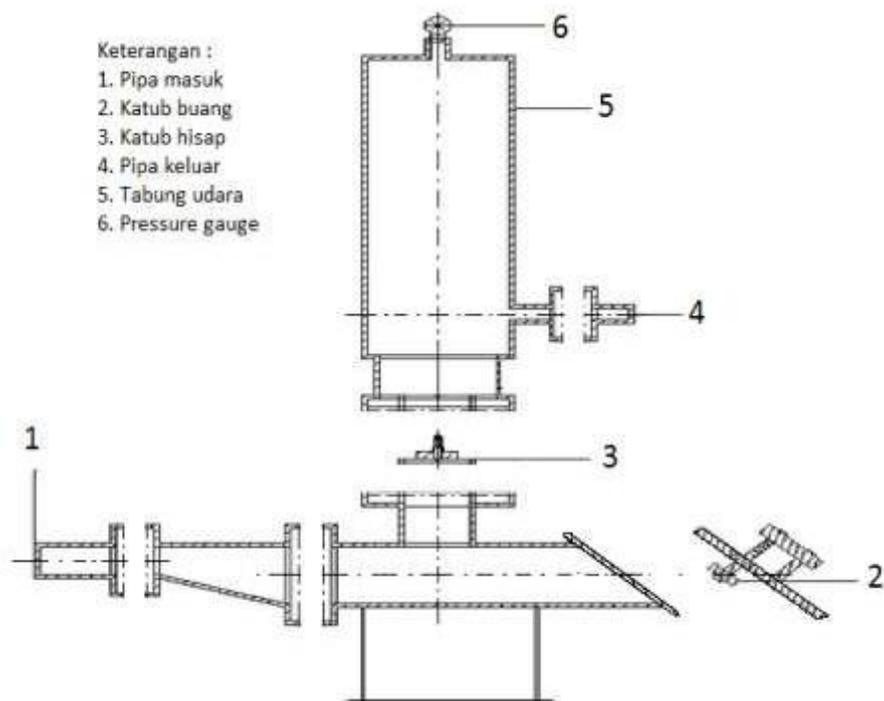


Gambar 2.7 Rangkaian pompa hidram

Keteranagn :

- A. Tangki Pemasukan
- B. Pipa Pemasukan
- C. Lubang Katup Limbah
- D. Pemberat Katup Limbah
- E. Katup Limbah

- F. Tangkai katup Limbah
- G. Katup Udara
- H. Tinggi vertikal antara katup limbah dengan lubang pengeluaran pipa penghantar
- I. Katup Penghantar
- J. Ruang Udara
- K. Pipa penghantar
- L. Lubang pengeluaran pipa penghantar.



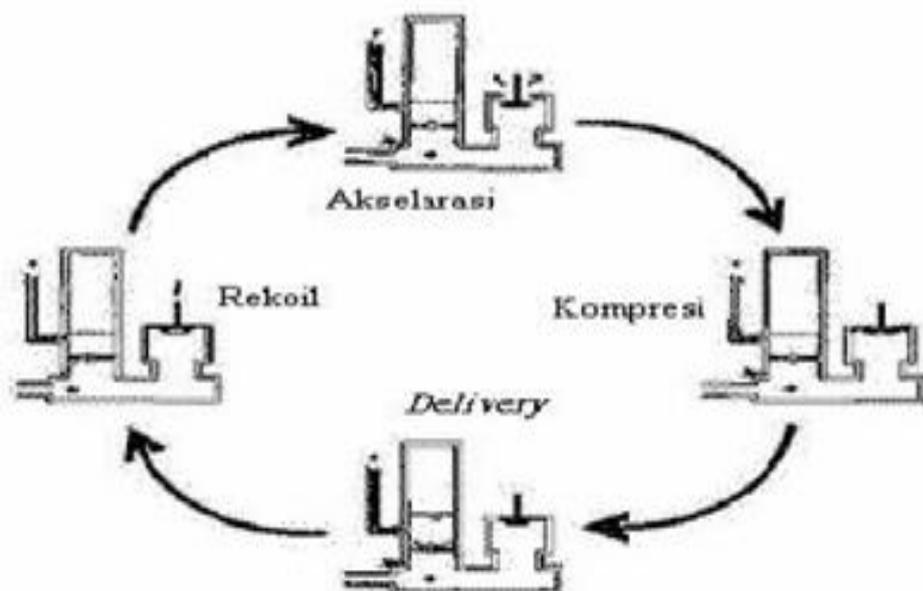
Gambar 2.8 Detainya Pompa Hidram

Tertutup dan terbukanya kedua klep secara bergantian menimbulkan suara, dengan tertutupnya klep penghisap yang membentur rumah klep, sementara tertutupnya klep pembuangan yang juga membentur rumah klep. Hingga masyarakat sekitar sering menyebut Hidram dengan sebutan pompa. Selain dua syarat utama tadi, pembuatan pompa Hidram perlu memperhatikan perbandingan tinggi terjunan dan tinggi terjunan dan tinggi pemompaan air yaitu 1:5. Tia beda tinggi terjunan 1 meter akan mampu memompa air setinggi 5 meter dari rimah pompa ketandon air. Jadi bukan hal yang mustahil ketika beda tinggi terjunan air

12 meter di perkebunan teh mampu memompa air sehingga ketinggian lebih dari 50 meter dengan jarak lebih dari 500 meter. Sedangkan beberapa permasalahan yang mungkin timbul dalam pengoperasian pompa hidram antara lain adalah sebagai berikut :

1. Klep pembuangan tidak dapat naik atau menutup, disebabkan beban klep terlalu berat atau debit air yang masuk pompa kurang. Dapat diatasi dengan mengurangi beban atau memperpendek as klep pembuangan.
2. Klep pembuangan tidak mau turun atau membuka, karena beban klep terlalu ringan jadi bisa diatasi dengan menambah beban klep atau memperpanjang as klep pembuangan,
3. Tinggi pemompaan dibawah rasio rumus, yaitu setiap terjunan 1 meter dapat menaikkan seinggi 5 meter. Penyebab pertama adalah terjadinya kebocoran atau tidak rapatnya klep. Penyebab kedua rasio diameter pipa input dibanding pipa output lebih besar dari 1 berbanding 0,5. Dapat diatasi dengan memeriksa dan memperbaiki klep atau mengurangi diameter pipa output. Penyebab ketiga adalah terlalu banyaknya hambatan pada pipa output menuju bak tandon, berupa banyaknya belokan pipa. Agar hal tersebut tidak terjadi, pada saat instalasi pipa sedapat mungkin dikurangi lakukan atau belokan pipa menuju tandon.

Cara kerja pompa *hydram* berdasarkan posisi klep buang dan variasi kecepatan fluida terhadap waktu dapat dibagi menjadi 4 periode seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.9 Prinsip kerja pompa hydram

Gambar 2.9 menjelaskan tentang cara kerja pompa *hydram* yang terbagi ke dalam 4 tahap, diantaranya:

2.3.1 Akselerasi

Pada tahap ini klep buang terbuka dan air mulai mengalir dari sumber air melalui pipa masuk memenuhi badan *hydram* dan keluar melalui klep buang. Akibat pengaruh ketinggian sumber air, maka air yang mengalir tersebut mengalami percepatan sampai kecepatannya mencapai nol, posisi klep tekan masih tertutup. Pada kondisi awal seperti ini tidak ada tekanan dalam tabung udara dan belum ada air yang keluar melalui pipa penyalur.

2.3.2 Kompresi

Saat kompresi, air memenuhi badan pompa, klep buang terus menutup dan akhirnya tertutup penuh. Pada saat itu air bergerak sangat cepat dan tiba-tiba kesegalah arah yang kemudian mengumpulkan energi gerak yang berubah menjadi energi tekan. Pada pompa *hydram* yang baik, proses menutupnya klep buang terjadi sangat cepat.

2.3.3 Penghantar

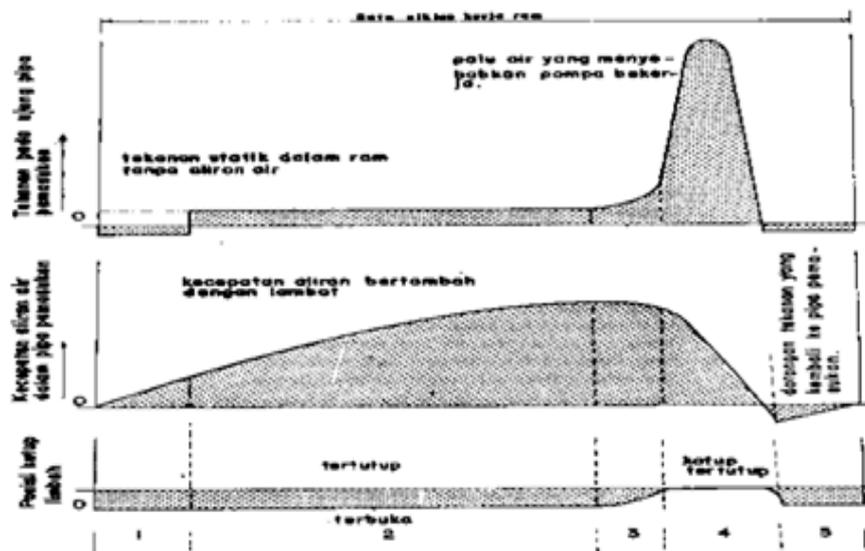
Pada tahapan yang ketiga ini keadaan klep buang masih tetap tertutup. Penutupan klep yang secara tiba-tiba tersebut menciptakan tekanan yang sangat besar dan melebihi tekanan statis yang terjadi pada pipa masuk, kemudian dengan cepat klep tekan terbuka sehingga sebagian air terpompa masuk ke tabung udara. Udara yang ada pada tabung udara mulai mengembang untuk menyeimbangkan tekanan dan mendorong air keluar melalui pipa penyalur.

2.3.4 Rekoil

Klep tekan tertutup dan tekanan di dekat klep tekan masih lebih besar dari pada tekanan statis di pipa masuk sehingga aliran berbalik arah dari badan *hydram*

menuju sumber air. Rekoil menyebabkan terjadinya kevakuman pada *hydram* yang mengakibatkan sejumlah udara dari luar masuk ke pompa. Tekanan di sisi bawah klep buang berkurang dan karena berat klep buang itu sendiri, maka klep buang kembali terbuka. Tekanan air pada pipa kembali ke tekanan statis sebelum siklus berikutnya terjadi.

Bentuk ideal dari tekanan dan kecepatan aliran pada ujung pipa pemasukan dan kedudukan klep buang selama satu siklus kerja *hydram*, diperlihatkan dengan sangat sederhana dalam sebuah grafik yang dapat dilihat pada Gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2.10 Diagram satu siklus kerja pompa hidram

2.4 Persamaan Yang Digunakan

1. Kapasitas aliran (Q) untuk fluida yang incompressible, menurut yaitu,

$$Q = A.v \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

Q = Laju aliran fluida (m^3/s)

A = Luas penampang aliran (m^2)

v = Kecepatan rata-rata aliran fluida (m/s)

2. Tekanan pada fluida

Tekanan didefinisikan sebagai gaya persatuan luas, dimana gaya F dipahami bekerja tegak lurus terhadap permukaan A :

$$\text{Tekanan} = P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

P = Tekanan (Pa)

F = Gaya (N)

A = Luas Permukaan (m^2)

3. Gerak Fluida dan Laju aliran

Dua jenis aliran utama pada fluida yang lurus atau laminar dan aliran turbulen. Untuk menentukan jenis aliran ditentukan terlebih dahulu bilangan Reynoldnya dengan persamaan :

$$Re = \frac{\rho dv}{\mu} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

P = Massa jenis fluida (kg/m^3)

d = Diameter dalam pipa (m)

v = Kecepatan aliran rata-rata fluida (m/s)

μ = Viskositas dinamik fluida (Pa.s)

Aliran akan laminar jika bilangan $Re < 2300$ dan akan turbulen jika bilangan Reynold lebih besar dari 4000. Jika bilangan Reynold terletak antara 2300 -4000 maka disebut aliran transisi.

4. Kerugian Head (Head Losses)

a. Mayor losses

Dihitung menggunakan dengan salah satu dari dua rumus persamaan

Darcy – Weisbach, yaitu :

$$H_f = f \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana :

H_f = kerugian head karena gesekan (m)

f = Faktor gesekan

d = Diameter dalam pipa (m)

L = Panjang pipa (m)

V = Kecepatan aliran rata-rata fluida dalam pipa (m/s)

g = Percepatan grafitasi (m/s^2)

b. Minor losses

Besarnya kerugian minor akibat adanya kelengkapan pipa, dirumuskan

sebagai :

$$H_m = \sum n. k. \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (5)$$

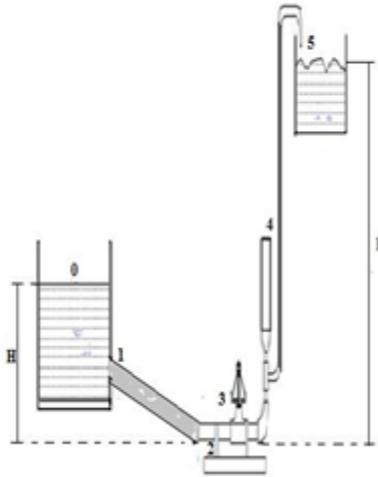
Dimana :

n = Jumlah kelengkapan pipa

k = koefisien kerugian (dari lampiran koefisien minor losses peralatan pipa)

v = kecepatan aliran fluida dalam pipa.

2.5 Energi Yang Dibangkitkan Oleh Pompa Hidram Dengan Persamaan Bemoulli.



Gambar 2.11 Skema instalasi Pompa Hidram

Dengan :

P_0 = Tekanan pada titik N/m²

P_3 = Tekanan pada katub buang N/m²

V_0 = Kecepatan aliran air pada titik 0 pada bak pemasok

V_3 = Kecepatan aliran air pada katub buang [=0] karena aliran air terhenti seiring menutupnya katub limbah m/s

Z_0 = Ketinggian titik 0 dari datum (m)

Z_3 = Ketinggian pada katub buang (0) karena diasumsikan segaris datum (m)

H_L = Head losses (m)

P = Massa jenis fluida, untuk air = 1000, kg/m³

g = Percepatan gravitasi (= 9,81) m/s²

2.6 Peningkatan Tekanan Pompa Hidram Akibat Peristiwa Palu Air

Besarnya kenaikan head tekanan dapat dihitung dengan persamaan seperti dibawah ini :

$$\Delta H_p = \frac{c(v_1 - v_2)}{g} \dots \dots \dots (7)$$

Dengan:

ΔH_p = Kenaikan head tekanan (m)

C = Kecepatan gelombang suara dalam air (m/s)

V_1 = Kecepatan air sebelum valve menutup (m/s)

V_2 = Kecepatan air sesudah valve menutup (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s)

2.7 Efisiensi Pompa Hidram

Ada dua metode dalam perhitungan para ahli efisiensi pompa hidram yaitu :

$$\eta = x = \frac{Q_s \cdot H_s}{(Q_s \cdot Q_w) \cdot H_d} 100\%$$

Dimana:

η = Efisiensi pompa Hidram

Q_s = Kapasitas air pemompaan (m³/s)

Q_w = Kapasitas air pembuangan (m³/s)

H_s = Ketinggian air pemompaan (m)

H_d = Ketinggian air ke hidram (m)

1. Menurut D'Aubuisson

$$\eta_A = \frac{q \cdot h}{(Q + q) H} \dots\dots\dots(8)$$

Dengan :

η_A = Efisiensi hidram menurut D'Aubuisson

q = Debit hasil (m/s)

Q = Debit limbah (m/s)

h = Head keluar (m)

H = Head masuk (m)

2. Menurut Rankine

$$\eta_R = \frac{q(h-H)}{(Q+q) \cdot H} \dots\dots\dots(9)$$

Dengan :

η_R = Efisiensi hidram menurut Rankine

q = Debit hasil (m³/s)

Q = Debit limbah (m³/s)

h = Head keluar (m)

H = Head masuk (m)

2.8 Adapun gejala palu air yang terjadi aliran dalam pipa timbul gaya “F” tumbukan :

a. $f = m \times a = m \times \frac{\Delta v}{\Delta t}$

Karena kecepatan berkurang menjadi nol maka :

$$F = m \cdot v$$

Dimana :

F = Gaya tumbukan atau gesekan dalam pipa (N)

m = Massa air (m^3)

v = Percepatan (m/s^2)

Terbagi ke dalam 5 periode, yaitu:

a. Periode 1

Akhir siklus yang sebelumnya, kecepatan air melalui *ram* bertambah, air melalui klep buang yang sedang terbuka menimbulkan tekanan negatif yang kecil dalam *hydram*.

b. Periode 2

Aliran bertambah sampai maksimum melalui klep buang yang terbuka dan tekanan dalam pipa pemasukan juga bertambah secara bertahap.

c. Periode 3

Klep buang mulai menutup dengan demikian menyebabkan naiknya tekanan dalam *hydram*, kecepatan aliran dalam pipa pemasukan telah mencapai maksimum.

d. Periode 4

Klep buang tertutup, menyebabkan terjadinya palu air (*water hammer*) yang mendorong air melalui klep tekan. Kecepatan aliran pipa pemasukan berkurang dengan cepat.

e. Periode 5

Denyut tekanan terpukul ke dalam pipa pemasukan, menyebabkan timbulnya hisapan kecil dalam *hydram*. Klep buang terbuka karena hisapan tersebut dan juga karena beratnya sendiri. Air mulai mengalir lagi melalui klep buang dan siklus *hydram* terulang kembali. (Suroso, hal: 273).